

Heinz Heinzmann

# Nova Philosophia Naturalis

Der Begriff  
der Wirklichkeit

Zu diesem Buch gibt es eine Fortsetzung:

*Die Struktur der Wirklichkeit*

Eine korrigierte und erweiterte Version meiner Sicht der Gravitation findet sich in meiner Arbeit

*Gegen Dunkle Materie - Eine neue Theorie der Gravitation*

Der *Ursprung des Seienden* ist selbst kein Seiendes. Er ist *das einzig Unbedingte*.

*Für uns* ist er der fundamentale Prozess, der fortwährend die Wirklichkeit hervorbringt.

## Inhalt:

Vorrede.....	11
<i>Kleines Vorspiel</i> .....	20
Einleitung.....	22
1. Ist ein neues Naturverständnis notwendig?.....	22
2. Ankündigungen.....	34
<b>Erster Teil: Korrekturen und Neuinterpretationen</b> .....	<b>41</b>
1. Lokale Auflösung des EPR-Paradoxons.....	42
1.1. Vorbemerkungen.....	42
1.2. Das 2-Photonen Szenario; Ableitung der Bellschen Ungleichung.....	43
1.3. Die lokale Alternative, demonstriert an einem einfachen Beispiel.....	47
1.4. Das 2-Photonen Szenario – Lokale Rekonstruktion der QM-Voraussagen.....	50
1.5. Ergänzende Bemerkungen.....	55
1.6. Warum ist hier die Bellsche Ungleichung nicht anwendbar?.....	56
1.7. Zusammenfassung, Schluss.....	59
<i>Doppelte Wunder</i> .....	62
2. Neue Interpretation und Erklärung der Speziellen Relativität.....	63
2.1. Einleitung.....	63
2.2. Warum gehorcht die Natur den durch Licht bestimmten Raum-Zeit-Verhältnissen?.....	64
2.3. Einsteins Szenario.....	65
2.4. Das zweite Szenario.....	69
2.5. Die Antwort.....	73
2.6. Der kurze Weg zur Materie.....	75
2.7. Relativitätstheorie ohne Relativität.....	77
2.8. Ableitung der Lorentz-Transformation.....	83
2.9. Ergänzungen.....	86
2.10. Was wurde erreicht?.....	88
2.11. Naturphilosophische Anmerkungen.....	90
Die Problematik des Verhältnisses der Konzepte Existenz und Zeit in der Physik.....	90

Was ist Zeit?.....	91
Substanz oder Form?.....	92
2.12. Was bleibt offen?.....	92
2.13. Michelson-Morley: Die übersehene Möglichkeit.....	94
3. Lokale und objektive Interpretation der Quantentheorie.....	95
3.1. Vorbemerkung.....	95
3.2. Einleitung: zwei Beispiele.....	95
Paradoxon der zwei Wege.....	95
Doppelspalt-Experiment.....	99
3.3. Zurück zu den Anfängen.....	101
3.4. Der Lichtelektrische Effekt.....	102
3.5. Der Compton-Effekt.....	110
3.6. Die Reduktion der Wellenfunktion: Was wirklich geschieht.....	116
3.7. Die Reduktion der Wellenfunktion: Verallgemeinerung.....	125
3.8. Die zentrale Annahme der lokalen und objektiven Interpretation.....	129
3.9. Einwände.....	130
3.10. Erklärung der Unschärfe; Interpretation des Formalismus.....	135
3.11. Anwendungen.....	142
Elektron in der Schachtel.....	142
Schrödingers Katze.....	143
EPR-Paradoxon.....	143
Computersimulation.....	150
Bemerkungen.....	152
Paradoxon der zwei Wege.....	155
Wechselwirkungsfreie Quantenmessungen.....	157
3.12. Geschichtlicher Kommentar.....	161
3.13. Schlussbetrachtung.....	162
<i>Alles wird gut!</i> .....	166
4. Abschließende Bemerkungen.....	169
4.1. Kurze Zusammenfassung.....	169
4.2. Der Widerspruch zum Standardmodell.....	171
4.3. Verborgene Ontologie.....	174
4.4. Ausblick.....	176
Epilog.....	180

<i>Offener Brief zur Lage der globalen Kultur</i> .....	182
<b>Zweiter Teil: Physik aus Metaphysik; Der elementare Begriff der Wirklichkeit</b> .....	184
<i>Einstimmung</i> .....	185
1. Der Urgrund der Wirklichkeit.....	186
1.1. Ankündigungen.....	186
1.2. Kritik an Baukasten-Universen.....	188
1.3. Warum Etwas ist und nicht Nichts; Der Ursprung des Seienden.....	191
Vorbereitung: Der Unterschied zwischen Wirklichkeit und Beschreibung.....	191
Die Frage nach dem Ursprung.....	193
Erläuterungen, Ergänzungen.....	195
Minimale positive Metaphysik.....	198
Der Zusammenhang mit dem ersten Teil.....	200
1.4. Was ist das, was ist? – Der erste Satz; Die erste Gleichung.....	200
1.5. Wellen.....	206
1.6. Bemerkungen.....	209
Kurzwiederholung.....	209
Relativität.....	210
Die Rolle der Mathematik.....	213
Maß und Bewegung.....	214
Über das erste Gesetz.....	214
2. Gravitation.....	216
2.1. Das metrisch-dynamische Bild der Newtonschen Näherung.....	216
2.2. Der exakte Blick von außen; Einige einfache Berechnungen.....	219
Geschlossene kreisförmige Bahn des Lichts.....	220
Periheldrehung.....	222
Lichtablenkung.....	224
2.3. Der Übergang zur metrischen Sicht.....	225
2.4. Der Übergang zur Einsteinschen Gravitation: die Schwarzschild-Metrik.....	228
2.5. Zusammenfassung, Ergänzungen.....	231
Das universelle Flussfeld.....	233
Die Wahl des Vorzeichens.....	236
Der Bereich $r < m$ .....	236

2.6. Das hybride System.....	238
2.7. Abschließende Bemerkungen.....	241
3. Antimaterie.....	244
3.1. Materie und Antimaterie als entgegengesetzte metrische Deformationen.....	244
3.2. Gravitation im Fall von Antimaterie .....	245
3.3. Asymmetrie von Materie und Antimaterie.....	252
3.4. Zusammenfassung.....	254
4. Planck-Länge, geometrische Masse und Teilchenfrequenz.....	257
4.1. Die metrisch-dynamische Quantisierungshypothese.....	257
4.2. Phasenwellen im radialen Fluss; Zusammenhang von Masse und Frequenz.....	258
5. Elektromagnetismus; Atommodell.....	265
5.1. Vorbemerkung.....	265
5.2. Definition.....	266
5.3. Der um den Mittelpunkt rotierende Fluss.....	268
5.4. Positive und negative Ladung.....	270
5.5. Der Übergang auf ein Beobachtersystem.....	271
5.6. Der fundamentale Unterschied zwischen Gravitation und Elektromagnetismus.....	273
5.7. Der Zweck der anschließenden Ausführungen.....	275
5.8. Zustände des Wasserstoffatoms.....	276
Der Grundzustand.....	279
Die Frequenz des Grundzustands.....	283
Der Spin im metrisch-dynamischen System.....	284
Interpretation des Spins.....	287
Angeregte Zustände; Quantenzahlen.....	289
5.9. Atome mit Kernladungszahl $Z > 1$ .....	298
5.10. Interpretation: Was ist eine Elektronenhülle?.....	301
5.11. Schluss.....	305
Bemerkungen .....	306
<i>Zwei Arten geistiger Verwirrtheit.....</i>	308
6. Ein Universum ohne Masse.....	310
6.1. Vorbemerkung.....	310
6.2. Die Beziehung zwischen metrisch-dynamischer Physik und Standardphysik.....	311
6.3. Über die Verständlichkeit physikalischer Begriffe und Zusammenhänge.....	315

7. Bemerkungen, Fragen.....	319
Die vier Wechselwirkungen.....	319
Von beiden Seiten.....	321
Was sind materielle Objekte?.....	322
Ein Grundprinzip physikalischer Erkenntnis.....	322
8. Kosmologie.....	325
Dunkle Energie.....	332
Eine alternative Geschichte des Kosmos.....	336
Dunkle Materie.....	337
Vergleich.....	339
Zusammenfassung.....	340
9. Sätze.....	342
<i>Zeitgeist-Musical</i> .....	347
<b>Dritter Teil: Geist und Materie; Der vollständige Begriff der Wirklichkeit.....</b>	<b>351</b>
<i>Der Besuch des Teufels</i> .....	352
1. Warum gibt es Naturgesetze?.....	355
1.1. Vorbemerkung.....	355
1.2. Das Problem.....	355
1.3. Ein Widerspruch als Ausgangspunkt.....	361
1.4. Die Herkunft der Naturgesetze.....	362
Bemerkungen.....	370
1.5. Folgerungen.....	372
Die Aufhebung der Trennung von Raum und Materie.....	372
Die Unmöglichkeit einer Umkehrung der Zeitrichtung.....	373
1.6. Zusammenfassung des Verhältnisses von Einzelfall und Gesetz.....	374
2. Geist und Materie: Vorbereitende Bemerkungen.....	378
2.1. Einleitung: Ein fundamentaler Mangel.....	378
2.2. Übersicht über das weitere Vorgehen.....	384
Willensfreiheit und das Vollständigkeitsaxiom der Naturwissenschaft .....	385
Das Problem der Qualia.....	390



3. Willensfreiheit.....	393
3.1. Vorübung: Die Rechtfertigung psychologischer Begriffe.....	393
3.2. Der Weg zur geistigen Wirklichkeit über sieben Stationen.....	396
3.3. Der letzte Schritt: die Begründung der Willensfreiheit.....	409
3.4. Geordnete Zustände in neuronalen Netzen; Universalien als Attraktoren.....	413
3.5. Zusammenfassung.....	420
Bemerkungen.....	423
Schluss.....	425
4. Das veränderte Bild der Wirklichkeit .....	427
4.1. Vorbemerkung.....	427
4.2. Willensfreiheit und Determinismus.....	428
4.3. Warum die Natur kein algorithmisches System ist.....	431
Satz.....	437
4.4. Kausalität von oben.....	440
4.5. Über Ordnung und Gesetze.....	444
4.6. Einige Folgerungen.....	447
Die Selbständigkeit globaler Parameter.....	447
Objekte; Objekt-Attribute und Wechselwirkungen.....	449
Die Richtung der Zeit als fundamentale Tatsache.....	450
Seiendes als Attraktor.....	451
Die drei Arten dynamischer Gesetze.....	453
Mögliche Abschwächungen der Voraussetzungen; Die Frage der Diskretisierung.....	454
Ergänzungen.....	455
4.7. Das veränderte Bild der Wirklichkeit in der Übersicht.....	457
Ein Aspekt von physikalischer, philosophischer und religiöser Bedeutung.....	460
Ergänzung: Beweis der Unmöglichkeit von Zeitumkehr.....	461
5. Qualia.....	464
5.1. Einleitung.....	464
Bedeutung.....	465
5.2. Einschub: Seltsame Vermutungen.....	465
5.3. Warum Qualia in keiner Beschreibung enthalten sind.....	469
Noch einmal: das Problem.....	469
Substanz und Akzidens; das Wesen des Seienden.....	469
Die Antwort.....	474
Satz.....	476
5.4. Die Verwandlung des Seienden vom materiellen Ding zum Quale.....	476

Erste und zweite Substanz.....	476
Der Grund für die Verwandlung.....	477
Satz.....	484
Bemerkungen.....	485
5.5. Kriterium für das Auftreten von Empfindungen.....	488
Ein einfaches ergänzendes Argument.....	490
5.6. Wer oder Was hat Empfindungen?.....	491
5.7. Versuch einer begrifflichen Annäherung an die Verwandlung der Substanz.....	492
5.8. Philosophische Zombies.....	497
5.9. Künstliche Intelligenz.....	498
Verstehen.....	498
Warum Computer keinen Geist hervorbringen; die formale Begründung.....	500
Warum Computer keinen Geist hervorbringen; die metaphysische Begründung.....	508
5.10. Der metaphysische Unterschied zwischen Wirklichkeit und Simulation.....	509
Satz.....	510
Korollar.....	511
6. Wirklichkeit und Mathematik.....	515
6.1. Einleitung: Der Zusammenhang zwischen Wirklichkeit und Mathematik.....	515
6.2. Kurzer Exkurs: die drei Welten .....	517
6.3. Welche Existenz haben mathematische Objekte und Sätze?.....	520
6.4. Die Herkunft des Allgemeinen.....	524
6.5. Der Ursprung der Wirklichkeit und der Mathematik.....	526
<i>Schluss</i> .....	527
<b>Zusammenfassung</b> .....	528
Post Scriptum.....	579

## ***Vorrede***

Ist die aktuelle theoretische Physik nur noch eine einzige Gleichung von ihrer Vollendung entfernt? Oder sind die Hypothesen von Superstrings, mehrdimensionalen Branen, unendlich vielen Blasenuniversen und dunkler Energie eher Anzeichen fortgeschrittener Desorientiertheit?

Ich neige zur zweiten Annahme. Die Diagnose ist *Verlust des Realitätsbezugs*, und das Heilmittel ist keine neue Gleichung, sondern *Ontologie*.

Was ist damit gemeint? Folgendes: In der Entwicklung der Physik sind ontologische Fragen – Fragen wie: ***Was ist*** ein Elektron? ***Woraus*** besteht es? oder: ***Warum*** krümmt Masse das Raum-Zeit-Kontinuum? – ausgeblendet und ontologische Prinzipien ignoriert worden, und der gegenwärtige Zustand der theoretischen Physik ist die letzte Folge dieser Unterlassungen.

In diesem Buch werde ich diejenige Physik präsentieren, die entsteht, wenn ontologische Überlegungen bei der Bildung physikalischer Hypothesen mit einbezogen werden. Auf diese Weise entfaltet sich eine ontologische Struktur, von der aus der formale Teil der wichtigsten physikalischen Theorien nicht nur verstanden, sondern auch abgeleitet werden kann. Das Ergebnis ist eine Art von Physik, die mit der vorherrschenden Physik *formal* teils identisch, teils eng verwandt, *begrifflich* jedoch von ihr völlig verschieden ist, weil sie auf einem ontologischen Fundament ruht.

Hier werde ich versuchen, die Grundzüge dieses Vorgangs zu skizzieren, indem ich auf die wesentlichsten Stationen in der Entwicklung der theoretischen Physik eingehe und dabei ontologische Grundsätze berücksichtige.

Zunächst zu den ontologischen Grundsätzen selbst.

(A1) Über *Existenz*: Alles, was existiert, übt *Wirkungen* aus. (Etwas, was mit nichts anderem wechselwirkt, existiert nicht.) Wirkungen müssen *von etwas* ausgehen. Es muss also einen *Träger* der Wirkungen geben. Träger und Wirkung können nicht voneinander getrennt werden. (Ein Beispiel: die Erde. Sie ist von ihrer Gravitation nicht trennbar. Es gibt sie nur *mit* Gravitation.) Im Begriff der *Existenz* sind beide, Träger und Wirkung, *untrennbar verbunden*. Der Träger allein existiert nicht, die Wirkung allein existiert nicht.

(A2) Was existiert, beansprucht seinen raumzeitlichen Ort exklusiv für sich. Zwei Seiende können sich nicht zugleich am selben Ort befinden.

(A3) Wenn ein Objekt auf ein anderes, räumlich distanzierendes Objekt eine Wirkung ausübt, dann muss diese Wirkung durch etwas *vermittelt* werden, d.h. es muss ein *Seiendes* geben, das diese Vermittlung leistet.

(A4) Was außerhalb von Raum und Zeit ist, kann nicht Ursache raumzeitlicher Veränderungen sein.

Jede Hypothese, die einem der ontologischen Grundsätze widerspricht, ist falsch.

Nun zur Anwendung.

*Newtons* Gravitationstheorie widerspricht (A3); In ihr fehlt das vermittelnde Element: eine Wirkung über den leeren Newtonschen Raum hinweg ist unmöglich. Die Theorie ist also falsch. Warum ist sie dennoch so erfolgreich? Weil sie in formaler Hinsicht die Näherung einer Theorie darstellt, in der der ontologische Widerspruch beseitigt ist: *Einsteins* Allgemeine Relativitätstheorie. Hier werden *Raum und Zeit* zu denjenigen Seienden, die die Vermittlung leisten: vom beeinflussenden zum beeinflussten Objekt führt eine differenzielle raumzeitliche Kausalkette.

Es ist wichtig, zu sehen, dass Raum und Zeit dadurch, dass ihnen *Veränderung* zuerkannt wird, selbst zu *Seienden* werden – zu etwas, was *existiert*. (Etwas, was nicht existiert, kann sich nicht ändern.) Sie treten dadurch aus ihrem bisherigen schattenhaften ontologischen Status als *entia rationis* bzw. *Formen der Anschauung* heraus und werden zur Existenz erhoben. Waren sie zuvor bloß die Bühne für die sich entfaltende Wirklichkeit, sind sie nun selbst Akteure.

*Maxwells* Gleichungen der elektromagnetischen Wechselwirkung produzieren Wellen – Lichtwellen. In der zweiten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts wurde vorausgesetzt, dass die Lichtwellen für ihre Fortpflanzung ein Medium benötigen, den sogenannten *Äther*. Die Äther-Hypothese galt am Ende des neunzehnten Jahrhunderts als vollkommen gesichert. (Maxwell selbst hat viele Jahre lang versucht, seine Gleichungen auf mechanisch-anschauliche Weise aus der Dynamik des Äthers abzuleiten.) Die Gewissheit, dass der Äther existiert, wurde erst dadurch erschüttert, dass die gemessene Geschwindigkeit der Lichtwellen immer gleich war, unabhängig von der Bewegung der Erde relativ zum postulierten Äther.

Durch Einsteins spezielle Relativitätstheorie wurde der Äther überflüssig. Die "Ätherwellen" wurden zu elektromagnetischen Wellen, aus periodischen Veränderungen der Amplitude einer Äther-schwingung wurden periodische Veränderungen der Werte des elektrischen und magnetischen Feldes.

Dazu ist nun Einiges von grundlegender Bedeutung anzumerken:

1. Was ist ein *Feld*? Die Zuordnung von Zahlen zu Raum-Zeit-Punkten. Diese Zahlen drücken die Stärke (und Richtung) der Wirkung des Feldes im betreffenden Punkt aus. Das bedeutet: das Feld repräsentiert *nur die Wirkung*.

Gemäß (A1) gilt daher:

S1: Ein physikalisches Feld ist ein Beschreibungsmittel, aber es *existiert nicht*: Existenz kann ihm nur zusammen mit seinem Träger zuerkannt werden, mit dem es *untrennbar verbunden* ist. Nach (A3) benötigt aber der Elektromagnetismus für seine Vermittlung ein *Seiendes*. Deshalb ist das Medium für die Lichtwellen nur formal überflüssig, ontologisch ist es jedoch notwendig. Der Träger kann nicht einfach durch die Wirkung ersetzt werden, die von ihm ausgeht. Aus ontologischer Sicht ist der Verzicht auf ein Medium nicht zulässig.

2. *Raumzeit* ist das Medium, das Gravitation vermittelt. Daher *existiert* sie. Aus der Tatsache, dass Raum und Zeit selbst Seiende sind, lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

Nach (A3) benötigen alle Wechselwirkungen für ihre Vermittlung ein Seiendes. Dieses Seiende kann jedoch nichts *Raumerfüllendes* sein, wie dies vom Äther angenommen worden war. Im Newtonschen leeren Raum wäre das möglich, nach der Erhebung des Raums zur Existenz ist es aber ontologisch falsch: gemäß (A2) kann dort, wo etwas existiert, nichts anderes existieren. Der Raum existiert jedoch *überall*, und deshalb kann es kein weiteres Seiendes geben, durch das irgendeine andere Wirkung zwischen Objekten vermittelt wird.

Das bedeutet:

S2: *Jede* Wechselwirkung wird durch *Raumzeit* vermittelt. Jedes Feld muss sich durch Veränderungen der Raumzeit definieren lassen.

Das Medium des Elektromagnetismus ist also ebenfalls *Raumzeit*. (In der gegenwärtigen Theorie des Elektromagnetismus ist das nicht der Fall. Ich werde weiter unten darauf zurückkommen.)

3. Betrachten wir nun *elementare Objekte*. Sie *existieren*, und daher kann nach (A2) dort, wo sie sind, nichts anderes zugleich sein. Das gilt auch für Raum und Zeit, die ja selbst ebenfalls existieren. Das heißt: dort, wo ein Objekt ist, kann nicht Raumzeit sein. Raum und Zeit existieren somit *außerhalb* von Objekten, und Objekte existieren außerhalb von Raum und Zeit. Damit sind wir jedoch in einen Widerspruch zu (A4) geraten: etwas, was *außerhalb* der Zeit ist, kann nicht auf etwas einwirken, was *in* der Zeit ist. Die raumzeitliche Kausalkette, die für die Übermittlung einer Wechselwirkung erforderlich ist, kann nicht bei etwas beginnen, was selbst ohne Zeit ist.

Wenn aber ein Objekt – als Verursacher raumzeitlicher Veränderungen – nicht außerhalb von Raum und Zeit sein kann, dann muss es ein *Teil* der Raumzeit sein, es muss aus Raum und *Zeit bestehen*; Objekte sind also *Zustände der Raumzeit*.

S3: Objekte sind stationäre (oder annähernd stationäre) Zustände der Raumzeit. Das bedeutet: Sie sind *Attraktoren* der Kontinuumsdynamik.

Eigenschaften von Objekten – wie *Masse* oder *Ladung* – sind demnach auf Raumzeitänderungen zurückzuführen.

Aus S1, S2 und S3 ergibt sich folgender Satz:

(S) Raumzeit ist das *Einzig*e, was existiert. Jedes Objekt, jede Wechselwirkung, jeder Prozess – kurz: *alles* ist Veränderung von Raum und Zeit. Dies ist das ontologische Fundament, von dem die theoretische Physik ausgehen muss.<sup>1</sup>

Welche Art von Physik entsteht auf dieser Grundlage? Obwohl die bisherigen Schlussfolgerungen etlichen Voraussetzungen zu widersprechen scheinen, die in der neuen Physik für selbstverständlich gehalten werden, ist es doch weitgehend dieselbe Physik. In dieser kurzen Vorrede kann ich die dafür benötigten Gedankengänge allerdings nur andeuten – die ausführliche Darstellung bleibt den jeweiligen Kapiteln des Buchs vorbehalten.

Die *Spezielle Relativitätstheorie* folgt aus (S) fast unmittelbar. Der Weg ist, zunächst Raum und Zeit zu trennen und nur ein Raumkontinuum anzunehmen. In diesem Kontinuum gibt es dann ausschließlich Wellen mit Lichtgeschwindigkeit. Andere Geschwindigkeiten müssen demnach als Überlagerungen von Wellen mit Lichtgeschwindigkeit aufgefasst werden. Aus diesen Annahmen lassen sich Lorentz-Transformation und Minkowski-Raum ableiten.

Für die Beschreibung der *Gravitation* ist es erforderlich, dem Raumkontinuum *lokale metrische Änderungen der Länge* (Änderungen des Längenmaßes) zuzuschreiben, die *longitudinale metrische Flüsse* verursachen. Diese Flüsse *sind* die Gravitation. Auch hier sind, wie bei der speziellen Relativität, Raum und Zeit zunächst getrennt – *im Fluss* ist die Zeit immer konstant –, und erst beim Übergang von lokaler zu globaler Betrachtung verändert sich die lokale Zeit entsprechend der Allgemeinen Relativitätstheorie.

---

<sup>1</sup> Um zur Begründung der Wirklichkeit und ihrer Beschreibung vorzudringen, ist es tatsächlich notwendig, noch einen Schritt weiter zu gehen. Davon kann aber hier noch nicht die Rede sein.

*Masse* ist eine lokale metrische Längen-Deformation, die – in Abwesenheit jeder Störung – einen stationären, zur Masse hin gerichteten beschleunigten metrischen Fluss verursacht. Die Ergebnisse stimmen hier mit denen der Allgemeinen Relativitätstheorie überein.

*Materie* und *Antimaterie* sind entgegengesetzte metrische Deformationen. Der metrische Fluss ist bei Materie reell, bei Antimaterie imaginär.

Die *elektromagnetische Wechselwirkung* folgt aus *lokalen metrischen Änderungen des Winkels* (Änderungen des Winkelmaßes), die *transversale metrische Flüsse* verursachen. *Elektrische Ladung* ist eine lokale metrische Winkel-Deformation, die einen stationären, rotierenden metrischen Fluss um das geladene Objekt herum verursacht.

*Positive* und *negative Ladung* sind entgegengesetzte metrische Deformationen. Der metrische Fluss ist bei positiver Ladung reell, bei negativer imaginär.

Die Stärke der Gravitation hängt im selben Maß von der verursachenden Längen-Deformation ab wie die Stärke des Elektromagnetismus von der verursachenden Winkel-Deformation. In diesem Sinn sind die beiden Wechselwirkungen also gleich stark. Da sich bei elektrisch geladenen elementaren Objekten die beiden Deformationen aber um mehr als 40 Größenordnungen unterscheiden, bleiben Gravitation und Elektromagnetismus in nahezu allen realen Situationen getrennt.

Was ist mit der *quantenmechanischen Revolution*, durch die die Physik in den ersten Jahrzehnten des zwanzigsten Jahrhunderts grundlegend umgestaltet worden ist? Auch hier bewährt sich die Hypothese (S) auf folgende Weise:

Aus (S) folgt, dass die Welt eine *Welt aus Wellen* ist. Auf Basis dieser Annahme lässt sich die Tatsache einer fundamentalen Quantisierung der Wirklichkeit verstehen und ableiten. Die Struktur des quantenmechanischen Formalismus wird ontologisch einsichtig. Die nichtlokalen Zusammenhänge zwischen räumlich separierten Systemen, die bereits als bewiesen galten, stellen sich als Artefakte falscher Grundannahmen heraus.

Kurz gesagt: (S) ermöglicht eine *lokale und objektive Interpretation der Quantentheorie*.

Die Liste der auf (S) basierenden Änderungen bestehender und Ableitungen neuer physikalischer Hypothesen ließe sich noch lange fortsetzen. Da es aber hier nicht um Vollständigkeit geht, will ich an dieser Stelle abbrechen und mich stattdessen dem zweiten Thema des Buchs zuwenden:

Auf dem Weg zur Erkenntnis befinden wir uns immer in einem erkenntnistheoretischen Zirkel. Wir stellen Hypothesen auf und prüfen sie, indem wir damit an die Wirklichkeit herantreten. Entweder stimmt die Wirklichkeit – im Rahmen der Messgenauigkeit – mit unserer Hypothese überein, oder sie widersetzt sich. Dann müssen wir unsere Hypothese korrigieren oder es mit einer anderen versuchen. *Überprüfung* ist das Kriterium, durch das sich die naturwissenschaftliche von anderen Arten der Hypothesenbildung unterscheidet. Ihm verdankt sich der ungeheure theoretische und technische Erfolg der Naturwissenschaft.

Dieser Gedanke lässt sich verallgemeinern. Naturwissenschaft kann sich nicht auf rein fachspezifische Fragen beschränken. Sie verdrängt andere – z.B. religiöse oder esoterische – Erklärungssysteme und wird zur Grundlage einer Weltanschauung. Für diese Weltanschauung gilt nun genau dasselbe, was soeben über einzelne Hypothesen gesagt wurde: Entweder erweist sich unser Verständnis der Wirklichkeit als tragfähig – womit gemeint ist, dass bei seiner umfassenden Anwendung keine unbeheb- baren Erklärungslücken und Widersprüche auftreten –, oder die Wirklichkeit erweist sich als wider- ständig, indem sie uns mit Problemen konfrontiert, die sich unseren Erklärungsversuchen widersetzen. Dann müssen wir unsere Sicht der Wirklichkeit korrigieren oder es mit einer anderen versuchen.

Tatsächlich gibt es einige Fragen, die sich einer Erklärung auf Basis der Naturwissenschaft in ihrer gegenwärtigen Form entziehen. Die Liste dieser Fragen ist zwar kurz, die Fragen selbst sind aber von außerordentlicher Bedeutung. Sie lauten wie folgt:

Warum ist etwas und nicht nichts?

Was ist Seiendes?

Woher stammt das Allgemeine?

Warum gibt es Naturgesetze? (Das sogenannte "Induktionsproblem")

Wie ist Empfindung möglich? (Das Problem der "Qualia")

Existiert Willensfreiheit?

(Es gibt etliche weitere Fragen, die wir zurzeit nicht vollständig beantworten können, weil unser Wissen lückenhaft ist. Dazu gehört etwa die Frage, wie Leben entsteht. Auch unsere Kenntnisse über Selbstorganisation, Evolution und Ontogenese sind begrenzt. In all diesen Fällen können wir die Lücken jedoch durch wissenschaftliche Hypothesen ausfüllen, und die auftretenden Probleme er- scheinen nicht als prinzipiell unüberwindliche Hindernisse, sondern als technische Schwierigkeiten.)



In der Naturwissenschaft wird die Existenz von Naturgesetzen zwar als selbstverständlich vorausgesetzt, sie kann jedoch nicht begründet werden. Auch die Herkunft des Allgemeinen ist vollkommen ungeklärt. Die Existenz der Qualia scheint sogar auf eine fundamentale Unvollständigkeit des naturwissenschaftlichen Weltverständnisses hinzuweisen: Dieses reicht nur bis zur Informationsverarbeitung – der Sprung zum Quale bleibt unverständlich. Für die Hoffnung der Konstrukteure künstlicher Intelligenz, er werde sich als Folge zunehmender Komplexität der Simulationen von Geist eines Tages quasi *von selbst* ereignen, gibt es keinen rationalen Grund.

Das bedeutet: Solange diese Probleme nicht gelöst sind, wissen wir nicht, in welchem Maß wir dem naturwissenschaftlichen Weltbild vertrauen können.

Die derzeitige naturwissenschaftliche Sicht der Wirklichkeit bietet keine Möglichkeit, die aufgelisteten Fragen zu klären. Wenn man jedoch von der zuvor skizzierten Art von Naturwissenschaft ausgeht – der Naturwissenschaft, die auf einem ontologischen Fundament errichtet ist –, dann werden alle diese Fragen lösbar.

Eine der Fragen ist schon in dieser Vorrede beantwortet worden – die Frage: Was ist Seiendes? Die Antwort war: Alles Seiende ist Veränderung von Raum und Zeit. Jedes Objekt ist ein Attraktor der Kontinuumsdynamik, ein über die Zeit sich erhaltendes Muster aus Veränderungen der Raumzeit.

Ich kann die anderen Fragen hier nicht beantworten – das wird in aller Ausführlichkeit erst im Buch selbst geschehen –, aber ich kann zumindest die Grundideen der Antworten skizzieren. Die folgenden Überlegungen sind allerdings so verkürzt, dass sie wohl eher dazu geeignet sind, Interesse zu wecken als Verständnis zu begründen.

Warum ist etwas und nicht nichts? Alles Seiende kann sein oder nicht-sein. Für den *Ursprung des Seienden* kann jedoch gezeigt werden, dass er weder ist noch nicht-ist. Sein ontologischer Status ist somit weder Sein noch Nicht-Sein, sondern *Notwendigkeit* – einfach deshalb, weil ihn gedanklich beiseite zu schaffen hieße, ihm als ontologischen Status Nicht-Sein zuzuschreiben, was zuvor ausgeschlossen worden ist. Daher ist der *Ursprung des Seienden* notwendig, und mit ihm zugleich das aus ihm Hervorgehende, also das Seiende.

Woher stammt das Allgemeine? Die Welt besteht ausschließlich aus *Einzelfällen*. Die Gültigkeit physikalischer Gesetze erfordert jedoch die Existenz eines *Allgemeinen* über den jeweiligen Einzelfällen. Woher stammt es? Die Antwort ist wie folgt: Bedingung der Möglichkeit, das Einzelne vom Allgemeinen zu unterscheiden, ist das Vorhandensein von Skalierungen bzw. die Festlegung von Maßeinheiten. Notwendige Voraussetzung von Skalierung ist die Bezugnahme auf Seiendes. (Z.B. ist die Einheit der *Länge* durch die Wellenlänge eines materiellen Objekts definiert.) Daher muss die

Herkunft des Allgemeinen *vor* allem Seienden liegen, d.h. dort, wo Einzelnes und Allgemeines infolge des Fehlens von Skalierungen ununterscheidbar sind: Der *Ursprung des Seienden* muss also zugleich der Ursprung des Allgemeinen sein.

Warum gibt es Naturgesetze? Tatsächlich gibt es nur ein einziges Gesetz: dasjenige, das die Wirklichkeit produziert. Alle anderen Gesetze sind daraus abgeleitet. Warum gibt es dieses eine Gesetz? Die Antwort folgt aus Überlegungen zum *Ursprung des Seienden*, die sich aber nicht so weit verkürzen lassen, dass sie hier Platz finden könnten.

Wie ist Empfindung möglich? Das kann aus dem Unterschied zwischen dem, was die Dinge *an sich* sind und dem, was sie *für uns* sind, d.h. aus dem Unterschied zwischen *Wirklichkeit* und *Beschreibung der Wirklichkeit* abgeleitet werden, der hier schon am Beispiel des physikalischen Feldes verdeutlicht worden ist: Von wirklich existierenden Objekten gehen Wirkungen aus, von Objekten in einer Beschreibung der Wirklichkeit gehen keine Wirkungen aus. Wirkliche Dinge sind *aktiv*, Dinge in Beschreibungen sind *passiv*. Es lässt sich zeigen, dass sich die metaphysische Qualität *Aktivität* der Dinge, die zur physikalischen Wirklichkeit gehören, bei der Entstehung von Geist in die metaphysische Qualität *Empfindung* umwandelt.

Gibt es Willensfreiheit? Ja, es gibt sie, und die Begründung lässt sich durch ein Beispiel andeuten, das trotz seiner Einfachheit doch mehr ist als eine bloße Metapher, weil es wesentliche Elemente der Erklärung enthält.

Betrachten wir ein Gefäß aus Glas. Wenn es angeschlagen wird, dann wird es in Schwingung versetzt und ein Ton erklingt. Es gibt nur ein einziges mögliches Schwingungsmuster, das sich immer ausbildet, unabhängig davon, wie und wo das Gefäß angeschlagen wird. Die Bewegungen der Bestandteile des Gefäßes – der Glasmoleküle – sind daher durch dieses Muster festgelegt. Die Kausalität wirkt vom Ganzen auf das Einzelne, vom Gefäß auf seine Bestandteile, und nicht umgekehrt.

Ähnliches gilt für ein neuronales Netz, das Geist hervorbringt. Das Netz enthält eine Reihe möglicher Aktivitätsmuster sowie Übergänge zwischen diesen Mustern. Die Aktivitäten der Bestandteile des Netzes – der Neurone – sind durch diese Muster und Übergänge festgelegt. Die Kausalität wirkt vom Ganzen auf das Einzelne, vom Netz auf seine Bestandteile, und nicht umgekehrt.

Geistige Zustände sind aber nichts anderes als solche Aktivitätsmuster. Also werden neuronale Aktivitäten durch geistige Aktivitäten bestimmt und nicht umgekehrt.

Nun benötigen wir noch Folgendes: Das neuronale Netz wird durch seine eigene Aktivität permanent verändert. Deshalb ändern sich auch die Regeln, denen die Abfolge geistiger Zustände gehorcht. Mit

anderen Worten: die geistige Tätigkeit ändert ihre eigenen Regeln. Das bedeutet aber, dass im Fall einer Entscheidung erst durch den Entscheidungsprozess selbst festgelegt wird, was geschieht. Auf die Frage, warum eine (entscheidungsfähige) Person so und nicht anders gehandelt hat, ist demnach nur eine einzige Antwort zulässig:

*Weil sie es so wollte.*

Damit beende ich diese kurze Orientierung. Zuletzt noch eine Auflistung der Themen des Buchs. Es enthält:

- die Antwort auf die Frage warum überhaupt etwas existiert
- die Antwort auf die Frage was Seiendes *eigentlich* ist
- die Ableitung des fundamentalen Prozesses, der die Wirklichkeit hervorbringt
- die Erklärung der Herkunft der Naturgesetze
- die *eigentliche* Erklärung warum die Wirklichkeit relativistisch ist
- die lokale und objektive Interpretation der Quantentheorie
- die Auflösung der quantenmechanischen Paradoxien
- eine *lokale* Beschreibung verschränkter Photonen
- die Beschreibung des *grundlegenden Mechanismus* der Gravitation
- die Eliminierung der Naturkonstante G (der Gravitationskonstante)
- die Beschreibung des *grundlegenden Mechanismus* des Elektromagnetismus
- die Vereinigung von Gravitation und Elektromagnetismus
- die geometrische Definition von Antimaterie
- die Begründung der Asymmetrie von Materie und Antimaterie
- die geometrische Erklärung des Atomaufbaus
- die geometrische Begründung einiger wichtiger physikalischer Zusammenhänge
- die Erklärung dunkler Materie
- die Erklärung dunkler Energie
- die Erklärung des Zusammenhangs von Einzelnem und Allgemeinem
- die Lösung des Induktionsproblems
- die Antwort auf die Frage was Geist ist
- die Beschreibung von Materie und Geist durch ein und dasselbe Konzept der Natur
- die Begründung der Willensfreiheit
- die Erklärung der Qualia
- die Erklärung warum informationsverarbeitende Systeme keinen Geist hervorbringen
- die Erklärung warum informationsverarbeitende Systeme keine Empfindungen haben

## *Kleines Vorspiel*

*Der SPRECHER, DIE WAHRHEIT, die HEILIGEN GEISTER der Relativitätstheorie und der Quantentheorie, ICH SELBST.*

*Der SPRECHER:*

Haben Sie sich nicht vor langer Zeit (Sie waren damals noch sehr jung und einfältig) den Tag herbeigewünscht, an dem Ihnen endlich klar würde, was die Welt im Innersten zusammenhält? An dem Sie endlich die Antworten auf all die "Warum" und "Was ist" Fragen hätten, und zwar nicht im Sinn einer notwendigen Folgerung aus mathematischen Zusammenhängen, sondern im Sinn einer richtigen *Erklärung*? Auf Fragen wie: Was ist Energie? Was ist Materie? Was ist Geist? Was ist Bewusstsein? Warum ist Materie Energie? Warum krümmt Materie die Raumzeit? Warum vergeht die Zeit in bewegten Systemen langsamer? Warum ist nichts schneller als Licht? und auf viele andere. Und vor allem: Was ist die Welt? Woraus besteht sie? Warum gibt es sie überhaupt? ...

Dieser Tag ist heute.

Und dann, viel später – als Ihnen längst klar war, dass das nie geschehen würde (Sie waren schon ein(e) Wissender(r)) – haben Sie nicht manchmal (heimlich) gehofft, es käme der Tag, an dem sich die Möglichkeit eröffnete, dass die Welt vielleicht doch *lokal* sein könnte und die Fernwirkung zwischen weit voneinander entfernten Ereignissen als Chimäre verpuffte, an dem Sie verstünden, was die Reduktion der Wellenfunktion bedeutet und was Quantenobjekte wirklich sind, so dass Sie Ihre Zweifel an der objektiven Existenz der Welt vergessen und sich Ihres realen raumzeitlichen Lebens wieder freuen dürften?

Auch dieser Tag ist heute.

Sie haben Glück. DIE WAHRHEIT erscheint nämlich nicht auf einem alten, vergilbten Zettel, den nur das kleine Mädchen lesen kann, das ihn im Wald gefunden hat und das eine Sprache spricht, die außer ihm selbst niemand versteht (was allerdings eine viel schönere Geschichte wäre).

Und Sie haben Pech, denn so, wie DIE WAHRHEIT nun wirklich auftritt, wird sie Ihnen kaum weniger fremd sein.

Denn sie erscheint als Beispiel einer einst hochgeachteten, jetzt aber nahezu vergessenen und ganz verachteten Spezies: als logisch-vernünftiges Denken über die Welt, das zu einer begrifflichen Lösung eines als begriffliches Rätsel verstandenen Problems, zu einem bildhaften, verständlichen Modell führt – was aber, wie jeder weiß, unmöglich ist. Durch experimentelle Tatsachen und die darauf gründenden fundamentalen und tausendfach bestätigten physikalischen Theorien ist es längst zur Gewissheit geworden, dass unsere Begriffe nur auf die uns sinnlich zugängliche Welt mittlerer Größenordnung anwendbar und nicht geeignet sind, sehr Kleines, sehr Großes und sehr Schnelles zu beschreiben, und dass daher Bilder und Vorstellungen zwar notwendige Hilfsmittel, aber im Grunde falsch sind.

*DIE WAHRHEIT will auftreten. Sie wird vom Chor der HEILIGEN GEISTER der Relativitätstheorie und der Quantentheorie behindert, die beschwörend ins Publikum rufen:*

Du sollst Dir kein Bild machen! Versuchst Du es doch, wirst Du erblinden!

*ICH aber sage:*

Hab keine Angst! Tu es heimlich, aber tu es hier und jetzt: Verletze das heilige Gebot ein einziges Mal, und es wird an dieser Verletzung sterben, und mit ihm werden all seine Gehilfen zugrunde gehen, und Du wirst SEHEND!

*Der SPRECHER:*

Was riskieren Sie schon? Entweder, dass Sie ein paar Stunden einem Verrückten opfern. Das ist gewiss kein bedeutendes Risiko. Man muss allerdings zugeben, dass es ein häufiges Risiko ist. Immerhin ist es diesmal ein unterhaltsamer Verrückter.

Oder Sie geben ihm recht. Dann allerdings hätte sich die Physik geirrt, und Sie sich mit ihr! – Aber Sie wissen ja, dass das ausgeschlossen ist.



## Einleitung

### *1. Ist ein neues Naturverständnis notwendig?*

*Geschichtliche Vorbemerkung; Kritik am Status quo der Physik und Philosophie; Auflistung offener Fragen und ungelöster Probleme – aber nur solcher, für die später eine Lösung vorgeschlagen wird.*<sup>2</sup>

Das Fundament des gegenwärtig vorherrschenden Naturverständnisses bildet die Annahme, dass alles, was ist und was sich ereignet, auf die Bewegung elementarer Entitäten, die miteinander wechselwirken, zurückzuführen ist.

Richard Feynman sagt am Anfang seiner "Lectures":

"Wenn in einer Sintflut alle wissenschaftlichen Kenntnisse zerstört würden und nur ein Satz an die nächste Generation weitergereicht werden könnte, welche Aussage enthielte die meiste Information in den wenigsten Worten? Ich bin davon überzeugt, dass dies die *Atomhypothese* (oder welchen Namen sie auch immer hat) wäre, die besagt, *dass alles aus Atomen aufgebaut ist – aus kleinen Teilchen, die in permanenter Bewegung sind, die einander anziehen, wenn sie ein wenig voneinander entfernt sind, sich aber gegenseitig abstoßen, wenn sie aneinander gepresst werden.*"

Die Vorgeschichte dieses Weltbilds ist schnell erzählt: Seine Erfinder sind Leukipp und Demokrit. Sie dachten sich die Welt bestehend aus kleinsten, unteilbaren Elementen verschiedener Form, die sich immerwährend bewegen, ohne Ursache und ewig. Der Beginn der Entwicklung der *Dynamik* – der Lehre von der Bewegung von Objekten – findet sich bei Aristoteles. Er unterscheidet zwei Arten der Bewegung: Objekte bewegen sich entweder, weil sie ihrem natürlichen Ort zustreben oder weil sie durch eine äußere Ursache, die direkt an ihnen angreift, zur Bewegung gezwungen werden. Wenn sie ihren natürlichen Ort erreicht haben – das Schwere unten, das Leichte oben – und kein äußerer Zwang auf sie einwirkt, dann verharren sie im Zustand der Ruhe.

Warum aber bewegt sich ein Stein, den ich nach oben werfe, noch ein Stück weiter nach oben, nachdem er meine Hand verlassen hat? Nach Aristoteles kann die Antwort nur lauten: Weil das ihn

---

<sup>2</sup> Sie werden vermutlich bei fast allen aufgelisteten Problemen überzeugt sein, dass es gar keine Alternative zur derzeitigen Auffassung gibt. Es wird sich aber im Lauf meiner Ausführungen erweisen, dass das nicht richtig ist. (Wie sagte schon Sledge Hammer vor jedem Desaster? "Trust me, I know what I'm doing.")

umgebende Medium – die Luft, die durch die Bewegung meines Arms selbst in Bewegung versetzt worden ist – ihn dazu zwingt.

Die Luft erscheint allerdings zu dünn, um für das Ausüben eines solchen Zwangs auf den Stein geeignet zu sein. Das führt im Mittelalter zu der Vermutung, dass die Ursache für das Höhersteigen des Steins nicht in der Bewegung der Luft, sondern in einer Eigenschaft des Steins selbst zu suchen ist: die Wurfbewegung verleiht dem Stein einen sogenannten *impetus* (ein Vorläufer des modernen Impulses), der ihn zunächst vorantreibt, sich dann allmählich abschwächt, bis er schließlich zur Neige geht und den Stein wieder seinem Drang überlässt, seinem natürlichen Ort zuzustreben, an dem er dann zur Ruhe kommt.

Erst Galilei entwickelt die Vorstellung einer reibungsfreien Bewegung, die nie aufhört, d.h. eines *impetus*, der erhalten bleibt. Bei Newton wird diese Idee schließlich zur Grundlage des allgemeinen Bewegungsgesetzes. Es lautet:

*"Ein Körper verharrt im Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen Translation, sofern er nicht durch einwirkende Kräfte zur Änderung seines Zustands gezwungen wird."*

Die Kraft dient also nicht mehr der Aufrechterhaltung der Bewegung, sondern ihrer Änderung, und es gilt:

*"Die Änderung der Bewegung ist der Einwirkung der bewegenden Kraft proportional und geschieht nach der Richtung derjenigen geraden Linie, nach welcher jene Kraft wirkt."*

In der Formulierung von Leonhard Euler:  $\mathbf{F} = M \mathbf{a}$  (Kraft ist gleich Masse mal Beschleunigung), oder, in differenzieller Schreibweise:  $\mathbf{F} = d(M\mathbf{v})/dt$ .

Zusammen mit der Annahme, dass auf Objekte nicht nur Kräfte einwirken, sondern dass jedes Objekt auch Quelle einer Kraft ist, dass also alles Existierende mit anderem Existierenden wechselwirkt, bildet dieses Gesetz – trotz relativistischer und quantenmechanischer Modifikationen und Ergänzungen – die bis heute gültige Basis der Physik.

Damit wird es zum Ausgangspunkt eines schier unglaublichen Erfolgs. Das gegenwärtige Wissen über die Natur erlaubt uns Einsicht in alle Bereiche der Natur, vom Kleinsten bis zum Größten, und in Gestalt der Technik hat dieses Wissen alle Lebensbereiche durchdrungen und das Antlitz unseres Planeten verändert.

Bedeutet der Erfolg eines physikalischen Konzepts auch, dass es richtig ist? Wie wir aus Beispielen in der Physikgeschichte wissen, ist das nicht der Fall: Newtons Gravitationstheorie war ungeheuer erfolgreich, und dennoch wurde sie durch Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie abgelöst, wobei die begriffliche Basis vollkommen verändert wurde: die anziehende Kraft zwischen Massen wird durch die Krümmung des Raum-Zeit-Kontinuums ersetzt.

Stellen wir uns also die Frage: *Ist die derzeitige begriffliche Basis der Physik letztgültig?*

Zumindest gibt es einige Gründe, an dieser Annahme zu zweifeln. Sie lassen sich in drei Gruppen zusammenfassen:

*1. Das Scheitern der Versuche, die physikalischen Grundlagen über das Standardmodell der Teilchenphysik hinaus zu entwickeln.*

Seit mehreren Jahrzehnten ist das wichtigste Projekt der theoretischen Physik die einheitliche Beschreibung der vier Grundkräfte. Da sich anscheinend jeder der vier Kräfte eine Gruppenstruktur zuordnen lässt, erscheint es nahe liegend, die vermutete vereinheitlichte Wechselwirkung durch eine Gruppe darzustellen, die diese vier Gruppen umfasst. Die Eindeutigkeit der mathematischen Struktur, zu der man bei der Durchführung dieses Vorhabens gelangt, hat lange Zeit die Hoffnung genährt, dass dieser Weg auch zu einer eindeutigen Theorie führen würde. Diese Hoffnung hat sich nicht bestätigt. Die Vereinheitlichung erfordert in jedem Fall zusätzliche, "engerollte" Raumdimensionen, von deren Topologie die Struktur der Theorie abhängt. Diese Topologie ist aber keineswegs eindeutig. Deshalb (und auch aus anderen Gründen) lässt das gegenwärtige "Superstring" Szenario mehr als  $10^{500}$  verschiedene Theorien zu.

Auch das zweite Ziel, die Verringerung der Zahl der freien Parameter, wurde nicht erreicht. Im Gegenteil – der Vereinheitlichungsmechanismus erzwingt die Annahme zusätzlicher unbekannter Größen, wie etwa die Massen neuer Teilchen, und auch hier gibt es nicht mehr als die unbestimmte Hoffnung, dass diese freien Parameter sich irgendwann als Resultat vorläufig unbekannter Mechanismen – z.B. Symmetriebrüche – ergeben könnten.

Das ist zweifellos sehr enttäuschend! Aber genau so wie es sich gelegentlich in Theaterstücken oder Romanen ereignet, wenn die Situation des Helden derart ausweglos wird, dass der Fortgang der Handlung mit vernünftigen Mitteln nicht aufrechterhalten werden kann – man denke etwa an jene Stelle in "Per Anhalter durch die Galaxis", wo die Protagonisten aus dem Raumschiff der Vogonen in den Weltraum geworfen werden – erscheint auch im Fall der Superstringtheorie ein rettender *deus ex machina*. In "Per Anhalter durch die Galaxis" ist es das Raumschiff "Herz aus Gold" mit dem unendlichen Unwahrscheinlichkeitsantrieb, in der Superstringtheorie ist es das *Multiversum*, die



Kombination aus unendlich vielen Universen und Zufall. Dadurch wird sichergestellt, dass *jedes* Universum, das einer der  $10^{500}$  Theorien entspricht, und überdies *jedes* mögliche Set von freien Parametern realisiert wird – also auch *unser* Universum. Mit seinen für die Bildung physikalischer, chemischer und biologischer Strukturen äußerst günstig feingetunten freien Parametern ist es allerdings ein sehr unwahrscheinliches Universum. Die vielleicht auftretende Verwunderung darüber, dass wir in einem so unwahrscheinlichen Universum leben, beruhigt sich aber sogleich am sogenannten "anthropischen Prinzip": Wir brauchen uns nicht zu wundern, denn wäre nicht alles so, wie es ist, dann gäbe es uns ja gar nicht. Wir *müssen* uns also in einem solchen Universum befinden.

Das ist zwar richtig – aber nur in dem Sinn, dass die tatsächliche Gegenwart uns gestattet, aus allen möglichen Vergangenheiten eine Teilmenge auszuwählen, und nicht im Sinn einer Erklärung, warum unser Universum ist, wie es ist: Wir können zwar die notwendigen Bedingungen der Gegenwart ermitteln, aber die Gegenwart ist nicht die *Erklärung* für diese Bedingungen.<sup>3</sup>

Es ist wichtig, zu sehen, dass die Kombination aus Zufall und unendlich vielen Möglichkeiten *niemals* eine Erklärung ist; im Spiel der Erkenntnis stellt sie einen ebenso universellen Joker dar wie die Annahme eines allmächtigen Wesens: beide können alles erklären und erklären deshalb gar nichts. Man kann das leicht durch folgendes Gedankenexperiment überprüfen: Nehmen wir an, es gäbe überhaupt keine physikalischen Gesetze. Alles, was sich ereignet, geschieht rein zufällig. Dennoch muss es unter den unendlich vielen Universen selbstverständlich auch das unsere geben. Rein zufällig verhält sich hier bis jetzt alles so, als würden die bekannten physikalischen Gesetze gelten. Natürlich ist in jedem Augenblick die Wahrscheinlichkeit ungeheuer groß, dass alles sofort zerfällt, aber wir brauchen uns trotzdem niemals über diese fortdauernde unfassbare Unwahrscheinlichkeit zu wundern, denn würde sie nicht fortauern, dann gäbe es uns ja gar nicht, und so weiter und so fort...

Das bedeutet allerdings nicht, dass das Szenario aus unendlich vielen Universen und Zufall vollkommen ausgeschlossen werden könnte – aber es wäre doch, wie gesagt, eine große Enttäuschung, wenn dies unsere *summa scientia* darstellte.

Betrifft die Antwort auf die Frage, ob sich die Kräfte auf dem bisher beschrittenen Weg vereinheitlichen lassen, tatsächlich das begriffliche Fundament der Physik? Ich glaube ja: *Wenn* Teilchen und

---

<sup>3</sup> Tatsächlich betrachten seit einiger Zeit etliche Physiker die Möglichkeit der Entstehung von Leben als *Erklärung* für die Werte bestimmter Parameter. (Z.B. Steven Weinberg in *Anthropic bound on the cosmological constant*, Phys. Rev. Lett. **59**, 2607, 1987). Man mag kaum glauben dass die *causa finalis* aus vorwissenschaftlicher Zeit auf diese Weise in die Physik zurückkehrt. Solche Annahmen sollten nicht naturwissenschaftlich, sondern psychologisch diskutiert werden – als Symptome des Scheiterns, die mit dramatischer Deutlichkeit den Erklärungsnotstand der neuen Physik illustrieren.

Wechselwirkungen die Grundlage der Beschreibung bilden, dann erscheint alles Weitere vorgegeben, mit anderen Worten: dann gibt es mit großer Wahrscheinlichkeit zu den bekannten Verfahren keine Alternative.

## *2. Die Zunahme von Beobachtungstatsachen, deren Beziehung zur bekannten Physik unklar ist.*

96 Prozent dessen, was das Universum enthält, sind zurzeit völlig unbekannt. Für 22 Prozent – die sogenannte *dunkle Materie* – gibt es einige Kandidaten in verschiedenen spekulativen Konzepten jenseits des Standardmodells der Teilchenphysik, was aber die restlichen 74 Prozent – die sogenannte *dunkle Energie* – betrifft, sind wir vollständig ahnungslos.

Ist ein deutlicherer Hinweis darauf, dass die begrifflichen Grundlagen der Physik und die darauf aufbauenden Modellvorstellungen in Frage gestellt sind wie nie zuvor, überhaupt denkbar? Wäre es nicht angemessen, angesichts einer solch ungeheuren *terra incognita*, erneut die allgemeinste und grundlegendste aller Fragen zu stellen: *Woraus besteht die Welt eigentlich?*

Im bisher gültigen Interpretationsrahmen erscheinen *dunkle Materie* und *dunkle Energie* notwendig. Ohne sie ist weder die Dynamik der Objekte im Universum noch die Geschichte des Universums beschreibbar. Man muss sich aber fragen, wie weit solche *ad hoc* Begriffsbildungen sinnvoll sind, die nur geboren wurden, um Erklärungslücken auszufüllen und für die trotz intensiver Suche bis jetzt keine physikalische Heimat gefunden werden konnte. Sollte nicht stattdessen die Annahme in Erwägung gezogen werden, dass die richtigen Antworten außerhalb der Reichweite unserer bisher gültigen Begriffe von Materie, von Gravitation und vom Kosmos liegen, und dass durch die beiden *dunklen* Begriffe bloß diese Tatsache verschleiert wird?

## *3. Der totale Verlust an Verständnis und Einsicht als Kehrseite des formalen und technischen Erfolgs.*

Die Bedenken gegen die von Newton angenommene Gravitationskraft galten zunächst der Tatsache, dass es eigentlich eine *okkulte* Kraft war: wie sollte ein Objekt über den als leer gedachten Raum hinweg auf ein anderes Objekt eine Anziehung ausüben? So war also der Physik die Absurdität undenkbarer Entitäten schon in die Wiege gelegt. Der Erfolg der physikalischen Theorien verdrängte aber jeden philosophischen Zweifel aus dem Bewusstsein der Physiker – so weit, dass Heinrich Hertz 1889 schreiben konnte:

*"Wir machen uns innere Scheinbilder oder Symbole der äußeren Gegenstände, und zwar machen wir sie von solcher Art, dass die denknotwendigen Folgen der Bilder stets wieder die Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände. Damit diese Forderung überhaupt erfüllbar*

*sei, müssen gewisse Übereinstimmungen vorhanden sein zwischen der Natur und unserem Geiste. Die Erfahrung lehrt uns, dass die Forderung erfüllbar ist und dass also solche Übereinstimmungen in der Tat bestehen."*<sup>4</sup>

Wenige Jahre später wurde diese optimistische Auffassung des Zusammenhangs von Natur und Geist scheinbar endgültig widerlegt. Genau die experimentellen Beobachtungen, die in der Folge zur speziellen Relativitätstheorie und zur Quantentheorie führten, konnten nicht in die Form denknotwendiger Bilder gebracht werden. (Wie z.B. das Michelson-Morley-Experiment oder der Lichtelektrische Effekt.) Dadurch hat sich der ontologische Status physikalischer Begriffe verändert. Nach der Relativitätstheorie ist Licht keine Welle mehr, sondern lediglich ein Phänomen, das einer Wellengleichung genügt. Auch die Erläuterung der Zusammenhänge zwischen Raum und Zeit oder Materie und Energie muss sich mit dem Hinweis auf die Mathematik begnügen.

Nach der Quantentheorie zerfällt die Wirklichkeit in zwei Teile: Teil 1 ist das, was sich bei unseren Messungen und Beobachtungen zeigt – das ist zugleich die Wirklichkeit, der wir alltäglich begegnen und die wir intuitiv zu begreifen meinen. Teil 2, die *eigentliche*, weil ursächliche Wirklichkeit, ist das, was sich zwischen zwei Beobachtungen – sozusagen "hinter den Kulissen" – ereignet. Dafür gibt es dem gegenwärtigen Verständnis der Quantentheorie zufolge überhaupt keine Interpretation mehr; das Geschehen zwischen den Beobachtungen ist für uns nicht bloß unsichtbar, sondern auch undenkbar. Gleichungen werden zu Input-Output-Relationen, und das Verhältnis zwischen Elementen der mathematischen Struktur und Elementen des Teils 2 der Wirklichkeit bleibt ungeklärt.

Außerdem gibt es ein *Übergangsproblem*: Damit die Wirklichkeit sich uns in der vertrauten Form präsentieren kann, muss die verborgene Wirklichkeit durch einen bis jetzt unverstandenen Akt – die sogenannte *Reduktion der Wellenfunktion* – erst die wahrgenommene Wirklichkeit hervorbringen. Die Quantentheorie setzt diesen Akt zwar voraus, sie enthält aber keine Information darüber, was dieser Akt eigentlich ist. Warum und wie er sich vollzieht, bleibt ein Geheimnis.

Die Welt verwandelt sich damit in eine *Black Box*. Da wir nicht hineinsehen können und unsere beschränkte Begrifflichkeit für ein Verständnis der Vorgänge im Inneren der Box nicht ausreicht, muss die Frage, was *wirklich* geschieht, unbeantwortet bleiben. Begriffliches oder bildliches Denken wird auf eine bloß heuristische Funktion im Dienst der Mathematik reduziert.

---

<sup>4</sup> Heinrich Hertz, *Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt: Drei Beiträge (1891-1894)* (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Nr. 263) Nachdruck der Ausgabe Leipzig: Akademie Verlags-Gesellschaft Geest und Portig 1984, Thun, Frankfurt am Main 1996, S. 67.

Beispiele, die diesen Sachverhalt illustrieren – wie etwa das "Doppelspalt-Experiment" –, dienen nicht dem Verständnis dessen, was vorgeht, sondern dem Nachweis seiner Unbegreiflichkeit. Hören wir wieder Richard Feynman: *"I think it is safe to say that no one understands quantum mechanics. Do not keep saying to yourself, if you can possibly avoid it, 'but how can it be like that?' because you will go 'down the drain' into a blind alley from which nobody has yet escaped. Nobody knows how it can be like that."*<sup>5</sup>

Die Physik hat sich also vom aufklärerischen Anspruch, die Welt zu verstehen, verabschiedet, oder sagen wir besser: sie ist daran vollständig gescheitert. Das Einzige, was übrig bleibt, sind mathematische Modelle, die Wahrscheinlichkeitsaussagen über Ereignisse ermöglichen. Unsere Vorstellung von der Welt ist aber schon so weitgehend mit den physikalischen Modellbildungen verschmolzen, dass wir das Scheitern der Vernunft und das damit verbundene Entschwinden der Wirklichkeit – wenn wir es denn überhaupt zur Kenntnis nehmen – für unvermeidlich oder sogar für selbstverständlich halten.

Das liegt vor allem am universellen Gültigkeitsanspruch der Physik: Alles, was sich ereignet, muss den Naturgesetzen gehorchen. Deshalb scheint es, als träfe die physikalische Beschreibung die fundamentale Schicht der Wirklichkeit. Dann aber lässt sich die Welt – wenn sie der physikalischen Begriffsbildung entglitten ist – auf keine Weise wiedergewinnen.

Den letzten und entscheidenden Schlag gegen alle Versuche, die Welt auf verständliche Weise zu beschreiben, führte schließlich John Bell: 1964 gelang es ihm, eine Ungleichung abzuleiten,<sup>6</sup> aus der nach allgemeiner Überzeugung folgt, dass in einer lokalen und objektiven Wirklichkeit<sup>7</sup> die (experimentell vielfach bestätigten) Prognosen der Quantentheorie keinesfalls reproduziert werden könnten. "Lokal und objektiv" sind aber notwendige Ingredienzien von "vernünftig und begreifbar". Demnach wäre bewiesen, dass es nicht möglich ist, die Welt durch Modelle darzustellen, die mit unserem Denken verträglich sind.

Trotz der grundlegenden Bedeutung, die physikalische Begriffsbildungen für unser Weltbild haben, kann aber die Frage *Ist ein neues Naturverständnis notwendig?* nicht innerhalb der Physik allein

---

<sup>5</sup> Richard Feynman, *The Character of Physical Law*, Penguin 1992, p. 129.

<sup>6</sup> John Stewart Bell, *On the Einstein Podolsky Rosen Paradox*, *Physics*, 1, 195-200 (1964).

<sup>7</sup> *Objektiv* bedeutet: die Dinge sind, wie sie sind, unabhängig davon, ob es uns gibt oder nicht und ob wir sie beobachten oder nicht. *Lokal* bedeutet: Ein Ereignis kann von einem anderen Ereignis nur durch einen Prozess, dessen Geschwindigkeit nicht größer ist als die des Lichts, beeinflusst werden.

entschieden werden. Ich beende also vorläufig mein *Lamento sulla fisica* und stelle die Frage in einem philosophischen Kontext.

*Was fehlt im gegenwärtigen Naturverständnis? Welche wichtigen Fragen und Probleme sind ungelöst?*

Außerhalb des Bereichs der Naturwissenschaften verblasst der Glanz des Erfolgs ziemlich rasch und weicht der tristen Dämmerung intellektuellen Versagens und menschlicher Unzulänglichkeit. Auf viele zentrale Fragen gibt es keine Antwort. Einige dieser Fragen werden für unbeantwortbar gehalten, ohne dass allerdings dafür ein ausreichender Grund angegeben werden könnte, manche sind fast vergessen, und bei einigen herrscht heillose Verwirrung.

Ich beginne an der Basis. Die erste Frage ist jedenfalls:

Warum ist überhaupt etwas und nicht einfach nichts? <sup>8 9</sup>

Hier herrscht vollständige Ratlosigkeit, ebenso wie bei der unmittelbar darauf folgenden Frage:

Was ist das, was ist? Woraus besteht es letztlich?

Alles Seiende ist zumindest an einen materiellen Träger gebunden. Aber selbst wenn es mit diesem gleichgesetzt wird, scheitert der Versuch einer Antwort an der Unzugänglichkeit physikalischer Begriffe. Denn *was ist* Materie, *was ist* Energie? Nach dem Verschwinden der scheinbaren Anschaulichkeit, die durch die Art der Bezeichnungen ursprünglich gegeben schien, ist heute völlig klar, dass physikalische Begriffe ausschließlich als Elemente in einem mathematischen Schema aufgefasst werden können. Aber die Welt ist nicht bloß Mathematik – sie *existiert!* Letztlich wissen wir daher von keinem Seienden, was es eigentlich ist. Wir wissen nicht, was *Existenz* ist.

Sofern Seiendes nicht auf anderes Seiendes zurückgeführt werden kann – und das ist sicher bei elementarem Seienden der Fall – bleibt auch verborgen, *warum* es ist, wie es ist. Es kann nicht gefragt werden: *Warum* hat ein Elektron elektrische Ladung? *Warum* krümmt Masse die Raumzeit?

---

<sup>8</sup> Die gelegentlich auftauchende Behauptung, die *creatio ex nihilo* sei ein Quantensprung im Nichts, ist nicht ernst zu nehmen: Quantensprünge gibt es nicht im Nichts, sondern im Quantenvakuum, und das Nichts kann nicht einfach einem Quantenvakuum gleichgesetzt werden.

<sup>9</sup> Religiöse Vorstellungen werden hier nicht diskutiert. Nach Eliminierung aller psychologischen Projektionen (Ängste, Wünsche, Ideale, Phantasien usw.) sind Begriffe wie "Gott" oder Angaben wie "außerhalb von Raum und Zeit" vollkommen leer. Mehr ist dazu nicht zu sagen.

Dies scheint sogar mit Notwendigkeit zu gelten, weil – ganz unabhängig von den zuvor beschriebenen Beschränkungen, die den "was ist" und "warum" Fragen durch die gegenwärtig geltenden Interpretationen von Relativitätstheorie und Quantentheorie auferlegt werden – diesen Fragen überdies eine *a priori* gegebene und deshalb unüberwindliche Grenze durch das Denkschema von *Substanz* und *Akzidens* gesetzt ist. Folgendermaßen:

Alles, was existiert, kann von uns nicht anders gedacht werden als bestehend aus *Substanz* und *Akzidenzien*.<sup>10</sup> Physikalische Erklärungen und Beschreibungen können sich aber immer nur im Bereich der Akzidenzien bewegen. Da die Akzidenzien jedoch logisch von der Substanz vollkommen getrennt sind, wird die Substanz selbst nie erreicht. Das hat zur Folge, dass wir bei elementarem Seienden weder die "was ist" Frage stellen können – das wäre eben die Frage nach der Substanz –, noch die "warum" Frage, denn das hieße, eine Eigenschaft von etwas Existierendem, eine Wirkung, die von ihm ausgeht, *aus ihm selbst* zu begreifen, und dies würde eine logische Verbindung von Substanz und Akzidens erfordern.<sup>11</sup>

Dazu zwei Beispiele: Die Frage, *was* ein Elektron *ist*, kann nur durch Aufzählung seiner Eigenschaften beantwortet werden. Die Frage, *woraus* es besteht – *was* es also unabhängig von diesen Eigenschaften eigentlich *ist* – ist sinnlos. *Warum* es diese Eigenschaften hat, bleibt verborgen.

Oder: *Was ist* Masse? Wieder können wir nur mit dem Akzidens antworten: Masse bewirkt Gravitation. In der Newtonschen Physik ist Gravitation die Anziehung zwischen Massen. Die Frage, *warum* zwischen Massen überhaupt eine Anziehung besteht, muss unbeantwortet bleiben. Die Allgemeine Relativitätstheorie beschreibt Gravitation als Krümmung der Raumzeit, die sich mit Lichtgeschwindigkeit fortpflanzt. Sie ersetzt dadurch die Newtonsche Fernwirkung durch eine differenzielle Nahwirkung. Aber auch sie gibt keine Antwort, *warum* Masse die Raumzeit krümmt. Diese Eigenschaft (Akzidens) der Masse ist vom Begriff der Masse selbst (Substanz) vollkommen getrennt. Gravitation ist damit – wie alle anderen Kräfte und ebenso alle (elementaren) physikalischen Sachverhalte – eine unhinterfragbare Tatsache.

Das bedeutet: Solange wir an der Vorstellung festhalten, dass die Welt ein Baukasten aus elementaren Entitäten ist – die notwendig in Substanz und Akzidens zerfallen – können wir weder wissen, *was* diese Welt ist noch *warum* sie ist, wie sie ist.

---

<sup>10</sup> Vorläufig genügt es, "Substanz und Akzidenzien" als "Ding mit Eigenschaften" aufzufassen.

<sup>11</sup> Bei Seiendem, das *nicht* elementar ist, kann eine reduktionistische Antwort gegeben werden. Z.B.: Was ist Wasser? Ein Aggregat von H<sub>2</sub>O-Molekülen. Bei elementarem Seienden besteht diese Möglichkeit nicht mehr.

Eine weitere ungelöste Frage ist die nach der Natur der Zeit:

*Was ist Zeit?*

Was Zeit eigentlich ist, verstehen wir nicht. In der Physik wird die Zeit verräumlicht. Gerade dadurch geht aber das Wesen der Zeit verloren. Wenn man – wie der späte Albert Einstein – die Wirklichkeit als eine Art vierdimensionalen Block versteht, dann muss man jedenfalls erklären, warum die Gegenwart für uns eine sich in diesem Block vorwärts bewegende (Hyper-)Ebene ist, warum also die Zeitkoordinate für uns nicht ebenso verfügbar ist wie die drei Raumkoordinaten. Eine solche Erklärung ist nicht in Sicht.

Auch die beiden folgenden Fragen, die uns seit Plato und Aristoteles beschäftigen, warten noch auf ihre Klärung:

*Wie ist das Verhältnis von Einzelfall und Gesetz?*

Wir sagen ganz selbstverständlich, dass "die Naturgesetze gelten" oder dass "alles, was sich ereignet, den Naturgesetzen gehorcht". *Wo* aber sollen diese Gesetze sein? *Wie* sollen sie auf das, was sich ereignet, einwirken? Offensichtlich ist schon allein die Vorstellung, dass sie irgendwie auf ein Seiendes *einwirken*, so absurd, dass man gezwungen scheint, den Gesetzen – d.h. dem Allgemeinen – die Existenz ganz abzuerkennen und nur das Einzelne, sich jeweils Ereignende für wirklich zu halten. Dann wird es aber schon zu einem unlösbaren Problem, zu begründen, warum zwei vollkommen identische Einzelfälle identische Konsequenzen haben. Um behaupten zu können, sie seien identisch und müssten deshalb wie *ein und derselbe Fall* aufgefasst werden, fehlt dann das Allgemeine, unter das sie beide subsumiert werden könnten.<sup>12</sup> Unversehens fühlt man sich in den mittelalterlichen Realienstreit zurückversetzt und erkennt zugleich, dass keine der beiden Positionen richtig sein kann. Der Lösung des Problems – das immerhin den Kern jeder Beschreibung der Welt betrifft! – sind wir bis heute keinen Schritt nähergekommen.

*Kann Seiendes immer weiter geteilt werden oder gibt es eine Grenze der Teilbarkeit?*

In der modernen Physik scheint diese Frage zwar entschieden, aber tatsächlich glaubt niemand ernsthaft, dass das *Standardmodell*, das eine beträchtliche Anzahl unteilbarer Entitäten enthält, die letztgültige Beschreibung der Natur ist. Das *kann* auch gar nicht der Fall sein, weil sein Geltungsbereich limitiert ist.

---

<sup>12</sup> *Ein und derselbe Fall* wäre eben schon dieses Allgemeine, aus dem erst folgen würde, dass alle Einzelfälle, die ihm entsprechen, auch untereinander gleich sind.

Ist aber, ganz unabhängig von der Frage nach der Richtigkeit des Standardmodells, die Vorstellung eines *Baukastenuniversums*, zu der man durch die Annahme unteilbarer, nicht entstandener Entitäten unweigerlich gerät, nicht in jedem Fall unbefriedigend? Muss nicht *alles*, was existiert, entstanden sein?

Die letzten zwei Punkte meiner Liste von ungelösten Problemen in unserem Weltbild sind zugleich die bedeutsamsten, weil sie unser Selbstverständnis betreffen:

*Was ist Geist?*

Es ist zurzeit nicht möglich, den Erlebnisgehalt von mentalen Zuständen zu erklären. Was *Qualia* sind – etwa die Wahrnehmung *rot*, oder die Empfindung *Schmerz* – ist in keiner Beschreibung enthalten.

Dieselbe Frage lässt sich auch auf folgende Weise formulieren:

Wie kann Geist und Materie in *einem* Weltbild zugleich gedacht werden, ohne dass dabei einem dieser beiden Phänomenbereiche, die uns so unmittelbar und selbstverständlich gegeben sind, etwas von seinem Wesen verloren geht?

Ist die Eigenständigkeit des Geistigen innerhalb einer vollständig durch Gesetze determinierten Natur überhaupt möglich? Sind mentale Prozesse *nichts als* neuronale Prozesse? Weisen nicht gerade die *Qualia* darauf hin, dass sie *mehr als* das sind? Wenn das aber so ist, wie können sie dann als *natürliche* Phänomene aufgefasst werden? – Oder müssen wir uns damit bescheiden, diese Frage auf Kantische Art als reine Antinomie aufzufassen?

Die letzte Frage hängt mit der vorigen eng zusammen, verdient es aber doch, eigens formuliert zu werden:

*Gibt es einen freien Willen?*

Es muss wohl kaum hervorgehoben werden, dass ein Naturverständnis, in dem die Klärung der letzten beiden Fragen nicht möglich ist, an einem fundamentalen Defekt krankt, der dringend korrigiert werden muss. Sonst könnte es geschehen, dass wir den merkwürdigsten Irrationalismen anheimfallen – etwa, dass wir uns mit den *Zombies* verwechseln, als die wir in reduktionistischen und funktionalistischen Erklärungen des Geistes auftreten, oder dass wir versuchen, unserem Unwissen durch die Annahme immaterieller Wesenheiten abzuweichen.



Damit beende ich meinen Katalog gegenwärtiger Erkenntnisdefizite und schließe mit einem kurzen Resümee:

Das große Potential des naturwissenschaftlichen Weltbildes beruht auf der ihm zugrunde liegenden Baukastenvorstellung der Wirklichkeit.

Einerseits gestattet sie uns, nicht nur viele Szenarien der Wirklichkeit mit großer Genauigkeit zu beschreiben, sondern auch neue zu ersinnen und zu konstruieren – all die erstaunlichen technischen Errungenschaften entspringen daraus.

Aber so großartig der Baukasten mitsamt den daraus errichteten Konstruktionen auch erscheinen mag, so bedrückend sind andererseits seine Mängel:

Die mit den Elementen des Baukastens durchführbaren Operationen vollziehen sich für uns unsichtbar in einer *Black Box*. Es ist zwar möglich, jedem Input-Ereignis eine Output-Ereignismenge samt Wahrscheinlichkeitsverteilung der Ereignisse zuzuordnen, aber es ist unmöglich, sich eine Vorstellung davon zu machen, *wie* der Output aus dem Input hervorgeht – dem, was in der Box vor sich geht, kann keinesfalls *Existenz* im üblichen Sinn zuerkannt werden. Die Wirklichkeit verschwindet.

Wir wissen weder, wie unser Universum entstanden ist, noch warum es überhaupt existiert.

Wir wissen nicht, woraus es besteht und warum es ist wie es ist.

Wir sind außerstande, die Wesensveränderung des sich evolutionär zu immer größerer Komplexität entfaltenden Seienden zu begreifen. Am uns bekannten Ende dieses evolutionären Prozesses aber stehen wir selbst, und deshalb haben wir keinen Begriff von uns. Wir wissen nicht, wer wir sind und wie unsere Stellung im Kosmos ist.

Da wir aber Teil der Natur sind, *muss* der Begriff von uns selbst in unserem Naturverständnis enthalten sein. Gegenwärtig ist das jedoch nicht der Fall. Also ist unser Weltbild unvollständig oder falsch.

Wir benötigen unbedingt ein tieferes und umfassenderes Verständnis der Natur.

## 2. Ankündigungen

*Geschichtliche Notiz; Skizze des Aufbaus der Arbeit; unsystematische Bemerkungen.*

Vor ungefähr 2300 Jahren (!) erklärte Aristarch von Samos viele der damals beobachtbaren Himmelsphänomene – darunter auch die zeitweilig rückläufige Bewegung der Planeten, deren Deutung im geozentrischen System erhebliche Schwierigkeiten bereitet – auf einfache geometrische Weise durch die Annahme, dass die Erde jährlich die Sonne umkreist und sich täglich um ihre eigene Achse dreht. Die Einwände dagegen waren schon damals dieselben wie 1900 Jahre später die gegen Galilei erhobenen: Müsste die Erdbewegung sich nicht bemerkbar machen? Hätte sie nicht Stürme zur Folge? Sollten Gegenstände nicht schräg zu Boden fallen?

Das ist ein schönes Beispiel dafür, dass es letztlich immer einfache geometrische Evidenz ist, die den richtigen Weg weist und sich schließlich durchsetzt. Ihr gegenüber verblasst jedes Wissen, das im Horizont des gerade gültigen Weltbilds gesichert erscheint, im Lauf der Zeit schließlich zu einem bloßen Vorurteil.

Warum erwähne ich diese Episode? Weil ich mich in einer ähnlichen Lage sehe: im Folgenden werde ich eine neue physikalische und philosophische Sichtweise der Natur vorstellen, die auf einfachen Argumenten beruht, in der alle Schlussfolgerungen vernünftig und evident erscheinen, die überdies für alle im vorigen Abschnitt genannten ungeklärten Fragen und Probleme eine Lösung oder zumindest einen klaren Hinweis auf eine Lösung bereitstellt, die aber dennoch gegenwärtigen Lehrmeinungen in nahezu jeder Hinsicht widerspricht.

Der Weg zu diesem neuen Naturverständnis gliedert sich in drei Teile:

***Der erste Teil*** ist Kritik und Korrektur des Interpretationsnetzes der bestehenden Physik.

In den ersten Jahrzehnten nach 1900 stand die Physik vor größeren Herausforderungen als jemals zuvor. Das sicher geglaubte Newtonsche Fundament der Naturbeschreibung geriet ins Wanken, die relativistische und quantenmechanische Revolution nahm ihren Anfang. Genau hier, an diesem Punkt der historischen Entwicklung, hätte die Chance bestanden, das Wissen über die Natur durch die Erkenntnis der tatsächlichen Zusammenhänge zu vertiefen.

Diese Chance wurde nicht genützt. Zwar ist es gelungen, die entscheidenden Szenarien (wie etwa das Michelson-Morley-Experiment, oder das Doppelspaltexperiment) formal korrekt zu beschreiben, aber alle Versuche, sich von dem, was *wirklich* vorgeht, einen Begriff zu machen, sind fehlgeschlagen. Das

bedeutet aber nichts anderes, als dass das *Verständnis* relativistischer und quantentheoretischer Sachverhalte noch immer fehlt, so dass der ganze interpretative Konnex bis heute irreführend ist. Dies ist der Grund für interpretative Unklarheiten, Paradoxien und ganz allgemein für das *Entschwinden der Wirklichkeit*.

Der erste notwendige Schritt, die fatalen Folgen dieses historischen Scheiterns zu beseitigen, besteht darin, die allgemeine Überzeugung zu widerlegen, dass das sogenannte EPR-Szenario<sup>13</sup> durch keine Theorie mit ausschließlich lokalen Parametern beschreibbar sei, mit anderen Worten, dass die von der Quantentheorie vorausgesagten und experimentell bestätigten Messungen an verschränkten Systemen durch keine lokale Theorie reproduziert werden könnten.

Ich werde also zunächst am Beispiel verschränkter Photonen zeigen, dass es eine solche Theorie gibt und erklären, warum der Bellsche Beweis, der das zu verhindern scheint, in diesem Fall nicht greift.

Es folgt eine Neuinterpretation der Speziellen Relativitätstheorie, durch die geklärt wird, *warum* die Natur den raumzeitlichen Verhältnissen gehorcht, die durch Lichtsignale festgelegt werden. (Genau genommen ist es keine *Neu*-Interpretation, da von einer Interpretation erst die Rede sein kann, wenn eine solche Erklärung vorliegt. Da dies aber gegenwärtig nicht der Fall ist, wird hier eigentlich eine bisher fehlende Interpretation nachgeholt.) Die spezielle Relativität ergibt sich dabei aus rein logischen Überlegungen, ohne Verwendung des Relativitätspostulats oder des Postulats der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit für alle gleichförmig bewegten Beobachter. Sie erlangt dadurch – unabhängig von der Physik – *prinzipielle* Gültigkeit.

Danach werden jene Beobachtungen untersucht, durch die das mechanische Teilchenkonzept in die Beschreibung der Strahlung eingegangen ist, die zuvor als reines Wellenphänomen aufgefasst worden war: der Lichtelektrische Effekt und der Compton Effekt.<sup>14</sup> Es stellt sich heraus, dass in beiden Fällen eine ganz einfache Alternative übersehen worden ist.

Diese alternativen Beschreibungen bestätigen das zuvor erstellte lokale Modell des EPR-Szenarios und führen direkt zu einer lokalen und objektiven Interpretation der Quantentheorie, deren Basis die Erklärung der Reduktion der Wellenfunktion bildet, d.h. des sprunghaften Übergangs vom Bereich der interferierenden quantenmechanischen Möglichkeiten zur eindeutigen beobachteten Realität.

---

<sup>13</sup> EPR steht für Einstein, Podolsky und Rosen, die dieses Szenario zur Diskussion gestellt haben. (*Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?* Phys. Rev. 47, 777, 1935.)

<sup>14</sup> Plancks Beschreibung der Schwarzkörperstrahlung betrifft nur die Diskretheit der Energieaufnahme von Resonatoren im Strahlungsfeld und nicht die Diskretheit der Strahlung selbst. So war Planck zunächst auch nicht damit einverstanden, dass Einstein in seiner Beschreibung des Lichtelektrischen Effekts *Licht-Teilchen* annahm.

Das also ist, kurzgefasst, der Charakter dieses ersten Teils: Er beschreibt eine logisch mögliche Abzweigung von jenem Weg, den die Physik am Anfang des 20. Jahrhunderts eingeschlagen hat. Der Vorteil des neuen Wegs ist, dass die Objektivität und Lokalität der Welt wiederhergestellt werden, bisher Unerklärtes und Unerklärbares eine einfache, verständliche Form annimmt und alles Paradoxe verschwindet.

Alle Erklärungen und Schlussfolgerungen des ersten Teils weisen unabhängig voneinander ganz eindeutig auf *Wellen* als Basis der physikalischen Weltbeschreibung hin. Hingegen erweist es sich als unmöglich, Teilchen als elementar aufzufassen. Damit ist zugleich klar, dass das bisherige Fundament der Physik – dass, wie eingangs festgestellt, alles, was ist und was sich ereignet, auf die Bewegung elementarer Entitäten, die miteinander wechselwirken, zurückzuführen ist – durch ein anderes Prinzip ersetzt werden muss.

**Im zweiten Teil** wird die Struktur der Wirklichkeit skizziert, die sich aus dieser Voraussetzung ergibt, wobei es aber nicht notwendig ist, auf die Schlussfolgerungen des ersten Teils zurückzugreifen. Diese werden zwar bestätigt, die Neubegründung erfolgt aber völlig unabhängig davon – und nicht nur davon, sondern auch unabhängig von aller bis jetzt existierenden Physik.

Es handelt sich also um einen echten Neubeginn. Deshalb ist es umso überraschender, dass von diesem vollständig anderen Ausgangspunkt aus schon nach wenigen gedanklichen Schritten doch wieder die großen physikalischen Theorien erscheinen: Spezielle und Allgemeine Relativitätstheorie und Quantentheorie. Dies gilt allerdings bloß für den formalen Teil der Theorien – die Interpretation ändert sich grundlegend.

Sie fragen sich zweifellos, auf welch wunderbare Weise diese absurd klingenden Versprechungen eingelöst werden könnten. Welche Art von Methode könnte das leisten?

Die Methode ist – um es aufs Kürzeste zusammenzufassen – die Ableitung der Physik aus der Metaphysik.

Es wird zunächst der Unterschied zwischen *Wirklichkeit* und *Beschreibung der Wirklichkeit* bestimmt. Daraus lässt sich eine Proposition ableiten, die, in die Form einer Gleichung gebracht, als Grundgleichung der Physik geeignet scheint: Unter anderem folgen Gravitation, Elektromagnetismus und Atomaufbau nahezu unmittelbar, nur mit Hilfe einiger geometrischer Zusatzannahmen, aus dieser Gleichung, die von erstaunlicher Einfachheit ist.

Der ganze Vorgang hat mich selbst überrascht. Obwohl mir der metaphysische Teil des Gedankengangs zwingend erscheint, würde ich ihn bestenfalls für interessant, aber im Grunde für bedeutungslos halten, wäre nicht der Weg zur Physik dermaßen kurz.

Den Abschluss des zweiten Teils bilden einige Folgerungen für die Kosmologie, die sich aus dem bis dahin Abgeleiteten ergeben.

**Im dritten Teil** werden jene drei Bereiche des Seienden<sup>15</sup> unter einen Begriff gebracht, deren Beziehung zueinander gegenwärtig völlig ungeklärt ist:

1. Der Bereich des Physikalischen: die Welt des materiell Existierenden.
2. Der Bereich mentaler Zustände: die Welt des Bewusstseins, der Gedanken, Gefühle und der Wahrnehmung.
3. Der Bereich der Entdeckungen und Schöpfungen des Geistes, zu dem auch die platonische Welt der Mathematik und der Naturgesetze gehört.

Vordringlich ist die Antwort auf die Frage nach der Art des Zusammenhangs zwischen materiell Existierendem und dem Gesetz, dem es gehorcht, und nach der Herkunft und Rechtfertigung dieses Gesetzes, das uns ja von der Natur nicht einfach präsentiert wird, sondern erst von uns entdeckt werden muss. Diese Frage kann durch einen Rückgriff auf Erkenntnisse des zweiten Teils geklärt werden; Es zeigt sich, dass Beides – das Existierende und sein Gesetz – demselben Ursprung entstammt.

Um die Welt der mentalen Zustände – das Reich des Geistes – und die Welt der Materie unter einen Begriff zu bringen, ist es erforderlich, einen Begriff des Seienden zu entwickeln, der es erlaubt, die Wesensänderung des sich entfaltenden Seienden zu verstehen. Dies erfolgt in zwei Schritten:

Zunächst wird gezeigt, dass Kausalität nicht nur "von unten nach oben", sondern umgekehrt auch "von oben nach unten" wirkt. Komplexe, zusammengesetzte Aggregate werden dadurch zu *eigenständigen Entitäten*. Geistige Zustände sind solche Entitäten. Auf diese Weise können sowohl die Selbständigkeit und Dominanz des Geistes als auch die Existenz der Willensfreiheit begründet werden. Voraussetzung

---

<sup>15</sup> Ich folge hier der Einteilung von Karl Popper, insbesondere auch seiner Unterscheidung zwischen einem mentalen Zustand als Empfindung und als Teil einer logischen Struktur, also zwischen Erlebnisgehalt und Informationsgehalt. (Ich werde den mentalen Zustand *als Ganzes* als Quale bezeichnen.)

für die Möglichkeit der Existenz der Kausalität "von oben" ist die im zweiten Teil durchgeführte Änderung des physikalischen Paradigmas.

Ein kurzer philosophischer Exkurs führt zuletzt zu einem vollständigen Seinsbegriff, der physikalisches Seiendes *und* geistiges Seiendes *als Quale* umfasst. Geist und Materie sind damit endlich in einem Modell vereint, das auf (erweiterter) naturwissenschaftlicher Basis errichtet ist.

Die Voraussetzung für die systematische Klärung des Verhältnisses zwischen der materiellen Welt und der Welt der Hervorbringungen des Geistes wurde ebenfalls schon im zweiten Teil geschaffen: der am Anfang dieses Teils bestimmte Unterschied zwischen Objekten der Wirklichkeit und Objekten eines Beschreibungssystems der Wirklichkeit dient als Abgrenzungskriterium und ermöglicht das Verständnis beider Arten des Seienden.

Soweit die Vorschau auf das Folgende. Ich schließe mit einer losen Folge von Bemerkungen und Kommentaren.

***Über die Art der Umgestaltung des Weltbilds.*** Jede Kultur hat ihre eigene Welterklärung. Unsere eigene, physikalische Welterklärung unterscheidet sich aber von allen anderen dadurch, dass kulturspezifische und damit austauschbare Merkmale weitgehend eliminiert wurden und an ihre Stelle überprüfbare Hypothesen getreten sind. Die Genauigkeit der Übereinstimmung mit der Wirklichkeit ist so groß, dass gegenwärtige physikalische Theorien nicht einfach durch andere ersetzt werden können.

Wie sollte also eine solch fundamentale Änderung, wie ich sie soeben angekündigt habe, möglich sein?

Die Antwort ist, dass der begriffliche Unterbau der Theorien bei weitem instabiler ist als ihr formaler Teil. Ich habe schon ganz am Anfang als Beispiel den Wechsel von der Gravitationstheorie Newtons zu der Einsteins genannt: In formaler Hinsicht bildet die Theorie Newtons eine Näherung der Theorie Einsteins – in diesem Sinne sind sich die beiden Theorien also ähnlich, in begrifflicher Hinsicht sind sie aber vollkommen verschieden.

Bei der Änderung, die ich vorschlage, wird das begriffliche Fundament der Physik umgestaltet, und zwar derart, dass alle physikalischen Begriffe auf einen einzigen Begriff und alle physikalischen Sachverhalte auf einen einzigen Sachverhalt zurückgeführt werden. Die Interpretation der Theorien ändert sich dadurch grundsätzlich, der formale Teil bleibt jedoch gleich oder zumindest annähernd gleich.

**Zur Durchführung.** Ich setze meist weder schon vorhandene Argumentationsstrategien fort noch beziehe ich mich auf sie. Deshalb ist es überflüssig, zu klären, in welchem Verhältnis mein jeweiliger Standpunkt zu anderen Standpunkten steht.

Ich versuche, jedes Problem möglichst mit minimalen Mitteln zu lösen. Dafür ist es notwendig, das jeweilige Szenario aus seinem historisch gewachsenen Kontext zu lösen und seine logische Struktur neu aufzubauen. Nur so können die gedanklichen Irrwege, die beschränkt worden sind und sich dermaßen verfestigt haben, dass an Alternativen nicht mehr zu denken war, vermieden werden.

Da gerade die Probleme, um deren Lösung es hier geht, mit den Standardmethoden *nicht* gelöst werden konnten, und weil somit die Unlösbarkeit in einem gewissen Maß auch ein Sprachproblem ist, analysiere ich diese Probleme im Allgemeinen nicht mit den üblichen fachsprachlichen Mitteln. Wenn ich philosophische Begriffe verwende – wie etwa die Begriffe *Substanz* und *Akzidens* im zweiten und dritten Teil –, dann verwende ich sie zunächst in einem einfacheren und in weiterer Folge auch in einem anderen Sinn als gewohnt. Es ist unbedingt notwendig, sie entsprechend ihrer hier gegebenen Definition und Verwendung zu lesen und alle Differenzierungen, die sie über die Jahrhunderte hinweg erfahren haben, zurückzulassen. Nur so, durch genau diese Verwendung, sind sie mächtig genug, um die durch sie erfassten Probleme zu lösen.<sup>16</sup>

Im Bereich der Physik erweist es sich, dass in einigen Fällen – wie etwa bei der Beschreibung dessen, was beim Doppelspaltexperiment wirklich geschieht – die Alltagssprache, ergänzt durch ein wenig Mathematik, als Mittel zur Beseitigung der bestehenden Interpretationsprobleme besser geeignet ist als der mathematische Formalismus. Der Grund dafür ist, dass sich hier der mathematische Formalismus im Lauf der Zeit immer mehr verselbständigt hat und die Wirklichkeit, die zu seiner Entstehung Anlass gab, gewissermaßen "in sich aufgesogen" hat. Um die Spannung, die zwischen dieser Wirklichkeit und dem Formalismus besteht, zu erneuern und daraus neue Einsichten zu gewinnen, ist es daher unumgänglich, aus dem Formalismus herauszutreten und sich wieder auf die dahinter liegende Wirklichkeit zu beziehen.

---

<sup>16</sup> Die Entscheidung, solche historisch gewachsenen Begriffe zu verwenden, ist mir nicht leicht gefallen. Die Alternative, neue Begriffe zu erfinden, erschien mir aber wegen der doch bestehenden grundsätzlichen Übereinstimmungen zwischen meinen Definitionen und den üblichen Bedeutungen noch problematischer. *Letztlich* bezeichnen sie doch dasselbe. Also habe ich es vorgezogen, die bekannten Begriffe zu übernehmen. Zunächst mag es so scheinen, als hätte ich sie einfach usurpiert, aber schließlich wird sich durch das Gelingen der gewünschten Erklärungen zeigen, dass es sich um eine gerechtfertigte Übernahme handelt.

**Wirklichkeit und Formalismus.** Die Wirklichkeit ist kein mathematischer Formalismus. Die Vorstellung, ein Planet *berechne* seine Bahn, wäre einfach unsinnig; Was auch immer sich ereignet, wird jedenfalls nicht berechnet.

Was ereignet sich aber dann *tatsächlich*? Wie ereignet es sich? Warum ereignet es sich? Durch welche Umstände wird der Planet auf seiner Bahn geführt? Und ganz allgemein: Auf welche Weise entsteht die Zukunft aus der Gegenwart, wenn sie nicht *berechnet* wird?

Dies sind die Fragen nach der "hinter dem Formalismus" liegenden Wirklichkeit. Sie sind fast vollständig aus dem Bewusstsein der Physiker verschwunden. Die Beantwortung dieser Fragen stellt jedoch das eigentliche Ziel der Suche nach Erkenntnis der Natur dar, und deshalb werden sie im Mittelpunkt der folgenden Überlegungen stehen.

**Über Verständnisschwierigkeiten.** Die Hauptschwierigkeit besteht mit Sicherheit darin, dass Hypothesen, die die begrifflichen Grundlagen der Physik betreffen, *zunächst* nicht erklärbar sind. Denn was bedeutet *Erklären*? Neues zu bereits Bekanntem in Beziehung zu setzen. Wenn aber gerade dieses Bekannte in Frage gestellt wird, dann ist Verständnis auf ebendiese Weise – durch Erklärung – zunächst kaum möglich. Wenn die gewohnten *explanantes* selbst von der angestrebten Veränderung betroffen sind, dann setzt Verstehen voraus, zumindest versuchsweise sogar die Basis der gewohnten Sichtweise in Frage zu stellen.

Letztlich aber handelt es sich bei einer Umstellung des ganzen Interpretationsnetzes um eine Frage des unmittelbaren *Sehens*: plötzlich "kippt" die Wahrnehmung – wie bei einem Vexierbild – in einen anderen Zustand und die neue Gestalt wird sichtbar.

Nun aber genug der Präliminarien. Es ist an der Zeit, sich der Sache selbst zuzuwenden.



Erster Teil

Korrekturen und Neuinterpretationen

Lokale und objektive Interpretation  
der Quantentheorie

Neue Begründung der Relativität

# 1. Lokale Auflösung des EPR-Paradoxons

## 1.1. Vorbemerkungen

Das EPR-Paradoxon wird in zwei Durchgängen geklärt: der erste Durchgang dient nur dazu, die Behauptung zu widerlegen, dass es unmöglich sei, die quantenmechanischen Voraussagen für Messungen an verschränkten Systemen durch eine ausschließlich lokale Theorie zu reproduzieren. Dafür genügt es, eine solche Theorie zu präsentieren – die sich daraus ergebenden physikalischen Folgerungen können vorläufig außer Acht gelassen werden. Nach der Interpretation der Relativitätstheorie, der Alternativdarstellung des Lichtelektrischen Effekts und des Compton-Effekts sowie der Erklärung der "Reduktion der Wellenfunktion" werde ich aber zum EPR-Paradoxon zurückkehren; Die lokale Auflösung des Paradoxons wird dann Teil der Neuinterpretation der Quantentheorie sein.

Zum Verständnis des Paradoxons reichen einige wenige Fakten:

1. Durch die quantenmechanische Beschreibung eines Objekts wird für einige Attribute kein eindeutiger Wert festgelegt, sondern nur die Wahrscheinlichkeitsverteilung möglicher Messwerte.
2. Das gilt auch im Fall zweier räumlich getrennter Objekte, die in der Vergangenheit miteinander in Wechselwirkung standen oder die dem Zerfall eines Objektes entstammen.
3. Zwischen den Ergebnissen bestimmter Messungen an diesen beiden Objekten besteht dann ein Zusammenhang, der "Verschränkung" genannt wird. Z.B. sind bei zwei identischen Teilchen A und B, die aus dem Zerfall eines ruhenden Objektes hervorgegangen sind und sich vom Ort des Zerfalls in entgegengesetzte Richtungen entfernen, die Messwerte der Impulse in derselben Weise miteinander verknüpft wie in der klassischen Physik, d.h. es gilt jedenfalls  $p_A = -p_B$ . Ein anderes Beispiel: Zerfällt ein Spin-0-System in zwei Photonen, dann sind die gemessenen Polarisationsrichtungen der beiden Photonen zueinander rechtwinkelig.

Das ist schon alles! Was ist daran paradox? Auch das ist schnell erklärt:

Nehmen wir an, es wurde noch keine Messung durchgeführt. Dann ist also bloß die Wahrscheinlichkeitsverteilung der möglichen Messwerte bekannt. Wird aber jetzt der Impuls von Teilchen A gemessen, dann ist wegen (3) natürlich auch *im selben Augenblick* der Impuls von Teilchen B gegeben, und ebenso verhält es sich im Fall der Photonenpolarisation.

Man kann nun mit Einstein, Podolsky und Rosen folgendermaßen argumentieren:

B ist von A beliebig weit entfernt. Die Messung des Impulses von A kann daher keinen Einfluss auf B haben. Wenn also *nach* der Messung des Impulses von A auch der von B gegeben ist, dann muss das Ergebnis der Messung von B schon *vor* der Messung von A festgestanden haben – andernfalls hätte ja die Messung von A eine Zustandsänderung von B bewirkt. Da aber die quantenmechanische Beschreibung diesen Impuls nicht enthält, ist sie *unvollständig*. (Der Impuls wäre in diesem Fall ein sogenannter *verborgener Parameter*.)

Ein plausibles Argument! Die Alternative wäre ja, einen *nichtlokalen* Zusammenhang zwischen den beiden Messwerten anzunehmen, d.h. einen Zusammenhang, der entweder eine überlichtschnelle Übermittlung erfordert oder überhaupt ohne einen vermittelnden Prozess existiert und einfach als solcher hingenommen werden muss.<sup>17</sup>

Jetzt aber folgt die Paradoxie: Eben diese plausible EPR-Annahme, dass das Messergebnis an B schon vor der Messung an A feststeht, weil es einer *objektiv* existierenden Eigenschaft eines Einzelsystems entspricht, ist eine notwendige und hinreichende Bedingung für die Ableitung der Bellschen Ungleichung, aus der wiederum folgt, dass keine *lokale* Beschreibung der Welt möglich ist, die mit den – experimentell überprüften – Voraussagen der Quantentheorie übereinstimmt. Das Argument, mit dem EPR die Unvollständigkeit der Quantentheorie zeigen wollten, dient also schließlich dazu, ihre eigene Intention, die Welt auf lokale und objektive Weise zu beschreiben, ad absurdum zu führen.

Die Verschränkung muss daher tatsächlich als *nichtlokaler Zusammenhang* aufgefasst werden. Anscheinend sind wir gezwungen, uns mit der Nichtlokalität der Welt abzufinden. Dies ist jedenfalls der gegenwärtige Stand der Dinge.

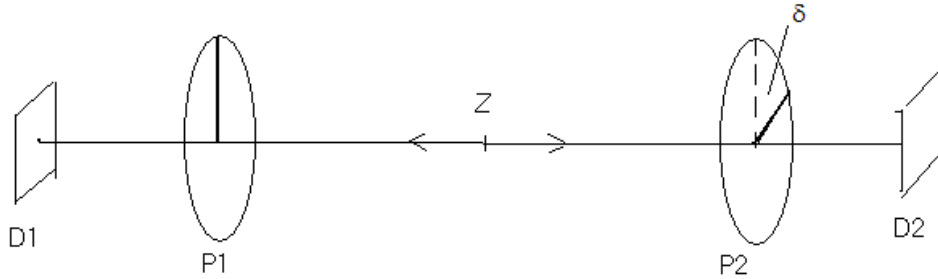
## ***1.2. Das 2-Photonen Szenario; Ableitung der Bellschen Ungleichung***

Wenden wir uns nun jenem Fall zu, der experimentell am besten untersucht ist: einem 2-Photonen-System mit Gesamtspin 0.

Sei also Z ein Spin-0-System, das in zwei Photonen zerfällt:

---

<sup>17</sup> Der quantenmechanische Formalismus informiert nur über die zu erwartenden Messwerte. Er gibt keine Auskunft darüber, wie diese Messwerte zustandekommen oder ab welchem Zeitpunkt der Messwert von B existiert. Eine Übertragung durch einen Prozess, dessen Geschwindigkeit nicht größer ist als die des Lichts, ist aber experimentell ausgeschlossen worden.



(S1)

$P_1$  und  $P_2$  sind Polarisatoren,  $D_1$  und  $D_2$  Photonendetektoren. Die Ebene des rechten Polarisators  $P_2$  ist um den Winkel  $\delta$  gegenüber der Ebene des linken Polarisators  $P_1$  verdreht.

Zunächst kurz die quantenmechanische Beschreibung (– aber nur der Vollständigkeit halber; für die anschließenden Überlegungen wird nur der Wert der Wahrscheinlichkeit  $W(\delta)$  in (2) benötigt).

Der Zustandsvektor der beiden Photonen ist

$$\Psi = \sqrt{\frac{1}{2}} (x_1 y_2 - x_2 y_1), \quad (1)$$

wobei  $x_1, y_1$  sowie  $x_2, y_2$  die Polarisationszustände der Photonen bezüglich beliebiger x- und y-Achsen sind. In Winkelfunktionen ausgedrückt

$$\Psi = \sqrt{\frac{1}{2}} (\cos \alpha \sin(\alpha - \delta) - \cos(\alpha - \delta) \sin \alpha) \quad (1')$$

Für die Wahrscheinlichkeit  $W(\delta)$  des gleichzeitigen Ansprechens beider Detektoren gilt

$$W(\delta) = \Psi^2 = \frac{1}{2} \sin^2 \delta. \quad (2)$$

Betrachten wir nun ein Experiment, das mit einer Reihe solcher Photonenpaare durchgeführt wird.

Es gibt zwei Ereignisfolgen: {EL} (Ereignisse links) und {ER} (Ereignisse rechts), beide mit jeweils nur zwei möglichen Werten: 1 (Photon) oder -1 (kein Photon). Die Ereignisse sind *Polarisations-*

*messungen.* Vor der Messung – im Zustand, der durch Gleichung (1) beschrieben wird – haben die Photonen *keine* bestimmte Polarisation, was daraus hervorgeht, dass Gleichung (1) von der Wahl der Richtungen der x- und y-Achse unabhängig, also bezüglich der Ausbreitungsrichtung der Photonen rotationssymmetrisch ist. Wird die Polarisation eines Photons, sagen wir: des linken gemessen, dann ist auch die Polarisation des rechten gegeben. (Z.B.: Wenn das linke Photon im Detektor erscheint, dann ist seine Polarisation parallel zur Richtung des linken Polarisators; dann steht auch ohne Messung fest, dass die Polarisation des rechten normal zu dieser Richtung ist. Es wird dann mit der Wahrscheinlichkeit  $\sin^2\delta$  den rechten Polarisator passieren.)

Dies ist der Ausgangspunkt des **EPR-Arguments**: In der QM-Beschreibung liegt das rechte Photon nach der Messung des linken in einem anderen Zustand vor als vor dieser Messung. Da aber auszu-schließen ist, dass die Messung am linken Photon den Zustand des – beliebig weit entfernten – rechten Photons *tatsächlich* geändert haben könnte, muss angenommen werden, dass die Polarisation des rechten Photons schon vor der Messung existierte. Gemäß (1) gibt es aber vor der Messung keine bestimmte Polarisation, also ist nach EPR die QM unvollständig.

Die **EPR-Annahme**, dass die zu messenden Eigenschaften irgendwelcher Objekte schon *vor* – d.h. unabhängig von – der Messung vorhanden sind, ist eine notwendige und hinreichende Voraussetzung für die Ableitung der **Bellschen Ungleichung**, und zwar aus folgendem Grund:

*Jede* Ableitung der Bellschen Ungleichung beruht auf Aussagen darüber, wie die Messobjekte eines bestimmten Experiments sich *bei anderen Messungen verhalten würden*; tatsächlich ließe sich die Ungleichung ohne eine solche Aussage gar nicht notieren. Für *verschränkte Objekte* sind Aussagen dieser Art unzulässig, denn diese Objekte müssen, zusammen mit ihren jeweiligen Partnern, als *ein* System aufgefasst werden, und Aussagen über ihr Verhalten bei weiteren Messungen sind nicht erlaubt.

Durch die EPR-Annahme wird es aber möglich, solche Aussagen zu machen: Wenn es sich um voneinander getrennte Objekte handelt, deren Eigenschaften schon vor der Messung feststehen, dann ist offenbar auch bekannt, wie andere Messungen an diesen Objekten ausfallen würden.

Das soll an einer für unser Beispiel adaptierten Variante der Bellschen Ungleichung demonstriert werden (nach Bernard d'Espagnat 1979):<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup> Ich habe diese Variante gewählt, weil sie ohne physikalische Kenntnisse verständlich ist und weil es für meine Schlussfolgerungen völlig gleichgültig ist, welche Version der Ungleichung gewählt wird: der Schritt, auf den sich meine Argumentation stützt, ist *in jedem Fall* für die Aufstellung der Ungleichung unerlässlich.

Der verborgene Parameter sei die Polarisation der Photonen. Unabhängig von irgendwelchen Messungen habe also jedes der beiden Photonen in jeder möglichen Richtung eine Komponente 1 oder 0 (geht durch den Polarisator oder nicht).

Sei  $\alpha$  der Winkel des linken,  $\gamma$  der des rechten Polarisators.  $R(\alpha|\gamma)$  sei die Zahl der Fälle, in denen bei  $R$  Messungen beide Detektoren ansprechen.

Wenn beide Polarisatoren auf denselben Winkel eingestellt sind, dann gehen wegen (2) niemals beide Photonen eines Paares durch, sondern immer nur entweder das linke oder das rechte. Daher kann  $R(\alpha|\gamma)$  unterteilt werden in  $R(\alpha,\beta|\gamma)$  (– das ist die Zahl jener Photonen aus  $R(\alpha|\gamma)$ , die bei einem dritten Winkel  $\beta$  *links* durchgehen würden) und  $R(\alpha|\beta,\gamma)$  (– die Zahl der Photonen aus  $R(\alpha|\gamma)$ , die bei demselben Winkel  $\beta$  *rechts* durchgehen würden):

$$R(\alpha|\gamma) = R(\alpha,\beta|\gamma) + R(\alpha|\beta,\gamma) \quad (3)$$

*Dies ist der Punkt, an dem die EPR-Annahme eingeht. Die Objekte, die bei den Winkeln  $\alpha$  und  $\gamma$  gemessen wurden, könnten nun nicht zusätzlich beim Winkel  $\beta$  gemessen werden, und im Fall ihrer Verschränkung wären die obigen Schlüsse unzulässig; Durch die EPR-Annahme ist es aber möglich, Aussagen darüber zu machen, was bei der Einstellung der Polarisatoren auf  $\beta$  der Fall wäre, wenn **dieselben Photonenpaare** unterwegs wären wie bei der ersten Serie.*

Es gilt sicher  $R(\alpha,\beta|\gamma) \leq R(\beta|\gamma)$ , da die Zahl der Photonen, die bei  $\beta$  durchgehen, nicht kleiner sein kann als die Zahl der Photonen, die sowohl bei  $\beta$  als auch bei  $\alpha$  durchgehen. Ebenso gilt  $R(\alpha|\beta,\gamma) \leq R(\alpha|\beta)$ . (*Auch für diesen Schritt wird die EPR-Annahme benötigt.*)

Damit folgt aus (3) die Bellsche Ungleichung: 
$$R(\alpha|\gamma) \leq R(\alpha|\beta) + R(\beta|\gamma) \quad (4)$$

Gemäß (2) gilt: 
$$R(\alpha|\beta) = \frac{R}{2} \sin^2(\beta - \alpha) = \frac{R}{2} \sin^2 \delta$$

Für die Winkel  $\alpha = 0^\circ, \beta = 22,5^\circ, \gamma = 45^\circ$

wird (4) zu 
$$0,5 \leq 0,1464 + 0,1464, \text{ also } 0,5 \leq 0,293.$$

Die Bellsche Ungleichung steht also im Widerspruch zur Quantenmechanik. Experimente bestätigen die Quantenmechanik. Bezogen auf die tatsächlichen Messungen ist die Bellsche Ungleichung somit ungültig.

Wie oben ersichtlich, gehen aber in die Ableitung der Bellschen Ungleichung (außer Logik und Mathematik, deren Richtigkeit vorausgesetzt ist) nur zwei Annahmen ein: Die Verschränkungsbedingung (bei gleichem Winkel links und rechts wird stets genau *ein* Photon gemessen) und die EPR-Annahme. Die Gültigkeit der Verschränkungsbedingung ist experimentell erwiesen. Somit folgt aus der Falschheit der Ungleichung die Falschheit der EPR-Annahme, und das heißt:

*Vor der Messung der Polarisierung des einen Photons hat das andere Photon keine bestimmte Polarisierung. Nach dieser Messung hat es eine Polarisierung. Das bedeutet: Die Messung des einen Photons bewirkt eine Zustandsänderung des anderen; Es gibt tatsächlich einen nichtlokalen Zusammenhang.*

Soweit also die allgemein als verbindlich aufgefasste Beweiskette.

### ***1.3. Die lokale Alternative, demonstriert an einem einfachen Beispiel***

Wenn – wie EPR annahmen – die Messobjekte *voneinander getrennt* sind und ihre Eigenschaften unabhängig von der Messung haben, dann erscheint es vollkommen selbstverständlich, dass das Verhalten dieser Objekte bei weiteren Messungen bekannt ist.

Genau diese scheinbare Selbstverständlichkeit werden wir aber nun in Frage stellen. Konkret: Wir werden untersuchen, ob die Annahme der Getrenntheit bzw. der Lokalität (die EPR-Annahme) tatsächlich Aussagen über weitere Messungen an denselben Objekten erlaubt und dadurch die Ableitung der Bellschen Ungleichung ermöglicht.

Ich formuliere zunächst noch einmal die Lokalitäts-Annahme. Sie lautet:

**A1:** *Das Ergebnis der Messung auf einer Seite ist unabhängig davon, ob auf der anderen Seite eine Messung erfolgt ist oder nicht. Es wird von dieser Messung nicht beeinflusst.*

Wie zuvor ausgeführt, muss für die Ableitung der Bellschen Ungleichung (nicht nur bei der hier vorgestellten Variante, sondern in jedem Fall) Folgendes vorausgesetzt werden:

**A2:** *Aussagen über weitere Messungen an denselben Objekten sind zulässig.*

(Die Notwendigkeit dieser Annahme ist selbstverständlich: Wie aus der Begründung von Gleichung (3) hervorgeht, erfordert die Aufstellung der Ungleichung Aussagen über Ergebnisse verschiedener Messungen an denselben Objekten. Sie könnte daher ohne die Annahme **A2** nicht aufgestellt werden.)

Ich werde aber nun zeigen: *A2 folgt nicht aus A1.*

Das heißt: *A1 ist notwendig, aber nicht hinreichend für A2. Es muss eine Bedingung existieren, die zwar für die Ableitung der Ungleichung erforderlich ist, aber nicht für die Aufrechterhaltung der Lokalität.*

Um dies zu beweisen und gleichzeitig zu zeigen, um welche Bedingung es sich handelt, genügt das folgende Beispiel, das trotz seiner Einfachheit alle Eigenschaften besitzt, die zur Klärung des Sachverhalts nötig sind.

Man stelle sich einen quadratischen Raum vor, in dessen Mitte ein Haufen Kugeln liegt, die 1, 2, 3 oder 4 Gramm wiegen. An der linken und an der rechten Wand entlang sind je 10 leere Gefäße aufgestellt. Unter jedem Gefäß befindet sich eine Waage, die einen kurzen Ton aussendet, wenn während eines Beladungsvorgangs eine Grenze von 5 Gramm oder einem Vielfachen von 5 Gramm erreicht oder überschritten wird.

Im Raum hält sich eine Person auf, die *Züge* ausführt, wobei "Ausführung eines Zugs" Folgendes bedeutet: in jede der beiden Gefäßreihen werden Kugeln mit einem Gesamtgewicht von jeweils 4 Gramm verteilt, also 4g nach links und 4g nach rechts. (Die Symmetrie der Gewichtsverteilung repräsentiert die *Verschränkungsbedingung*.) Die Auswahl der Kugeln und der Gefäße ist zufällig. (Unter Beachtung der 4g-Regel; z.B. ist nach einer 3g-Kugel nur noch eine 1g-Kugel möglich.)

Jeder Zug hat ein Paar von *Ereignissen* zur Folge (Ereignis links und Ereignis rechts); jedes Ereignis hat zwei mögliche Messwerte: *Ton* oder *kein Ton*. (Der Wert *Ton* kann auch mehrere Töne beinhalten.)

Es ist sofort zu sehen, dass hier der Zusammenhang zwischen den Objekten und den Messwerten nicht von der einfachen Art ist wie bei der EPR-Annahme: nicht die *Objekteigenschaften* (die Gewichte der Kugeln) selbst werden gemessen, sondern *die Auswirkungen ihrer Akkumulation*.

*Dieser Sachverhalt ist für die Frage, ob Aussagen über weitere Messungen an denselben Objekten möglich sind, von entscheidender Bedeutung, weil dadurch die Messwerte, die einem Zug folgen, nicht nur von diesem Zug, sondern auch von den vorhergehenden Zügen abhängen.*

Seien z.B. E1 und E2 zwei Mess-Serien mit je 50 Zügen. Angenommen, der 38. Zug von E1 hat das Ereignispaar (*Ton* | *kein Ton*) zur Folge. Ersetzen wir nun irgendeinen der Züge von E2 (außer dem ersten) durch diesen Zug. Ist dann irgendetwas über das Ereignispaar bekannt, das diesem Zug in E2 folgt?



Die Antwort ist nein.<sup>19</sup> Ob auf den ersetzten Zug links oder rechts ein Ton folgt oder nicht, hängt nicht nur von diesem Zug ab, sondern auch davon, wieviel Gewicht in den Behältern schon vor diesem Zug vorhanden war. Das ist aber vom spezifischen Verlauf von E2 abhängig, der sich mit hoher Wahrscheinlichkeit vom Verlauf von E1 unterscheidet und nicht bekannt ist.

Allgemein lässt sich also feststellen: *Der Zusammenhang zwischen einem Zug und dem darauf folgenden Ereignispaar ist untrennbar an den Verlauf der jeweiligen Mess-Serie gebunden.*

*Jedes Ereignispaar ist nicht nur vom unmittelbar vorhergehenden Zug, sondern auch von allen früheren Zügen abhängig. Deshalb ist es nicht möglich, irgendetwas darüber auszusagen, was geschehen würde, wenn ein Zug von einem Experiment in ein anderes versetzt wird.*

Damit ist gezeigt, dass aus der Annahme A1 keineswegs die Annahme A2 folgt: In diesem Beispiel gilt mit Sicherheit, dass das Ereignis auf einer Seite nicht durch das Ereignis auf der anderen Seite beeinflusst wird. Trotzdem sind keine Aussagen darüber möglich, was irgendein Zug aus einem bestimmten Experiment in einem anderen Experiment zur Folge hätte.

Das heißt: *Aussagen über weitere Messungen an denselben Objekten sind nicht zulässig.*

Welche Voraussetzung ist es also, die zwar für die Ableitung der Ungleichung benötigt wird, aber nicht für die Lokalität? Es ist die Annahme von EPR, dass der Messwert *genau deshalb* schon vor der Messung feststeht, *weil er einer objektiv existierenden Eigenschaft des Messobjekts entspricht, die dieses Objekt schon vorher hatte.*

Offensichtlich ist diese Annahme aber für die Aufrechterhaltung der Lokalität nicht erforderlich: In unserem einfachen Beispiel steht zwar jeder Messwert ebenfalls schon vor der Messung fest, aber nicht etwa deshalb, weil er einer Eigenschaft des Messobjekts entspricht, sondern *weil er durch den Messprozess – durch die Aufsummierung der Teilgewichte und das dadurch verursachte Signal – auf eindeutige Weise erzeugt wird.*

Hier werden also keine "Objekte" im üblichen Sinn gemessen, keine "Dinge", die "als dieselben" bzw. "mit sich identisch" fortbestehen und für weitere Messungen zur Verfügung stehen, sondern wechselnde Aggregate von Objekten in stets neuer Zusammensetzung, und überdies hängt das Messergebnis immer auch vom vorhergehenden Verlauf des Experiments ab.

---

<sup>19</sup> Natürlich mit Ausnahme der Wahrscheinlichkeitsaussage, die sich aus der Betrachtung aller überhaupt möglichen Serien ergibt. Das ist aber hier nicht von Bedeutung.

Allgemein gesprochen: *Die Begriffe "Messobjekt" und "Messprozess" ändern sich grundlegend.*

Damit ist bewiesen, dass außer der quantenmechanischen Standardinterpretation und der Interpretation von Einstein, Podolsky und Rosen noch eine weitere, *lokale* Interpretation des 2-Photonen Szenarios möglich ist – unter der Voraussetzung, dass das Schema des Beispiels auf dieses Szenario angewendet werden kann.

Wenn es also gelingt, dieses Schema auf das 2-Photonen-Szenario zu übertragen, dann bedeutet das, dass die für die Ableitung der Bellschen Ungleichung notwendige Bedingung nicht mehr erfüllt ist. Die Ungleichung verliert damit ihre Gültigkeit und der Weg für lokale Beschreibungen ist offen.

#### ***1.4. Das 2-Photonen Szenario – Lokale Rekonstruktion der QM-Voraussagen***

Was ist mit dem Ausdruck "Lokale Rekonstruktion der QM-Voraussagen für Messungen an verschränkten Photonen" gemeint? Es bedeutet, die von der QM vorausgesagten Messwerte in konsistenter Weise als Funktion von Variablen darzustellen, die direkt am Ort der Messung – also in einem der Detektoren – lokalisiert sind. Außerdem muss die Struktur des Szenarios übernommen werden, d.h. die Objekte, die die Träger dieser Variablen sind, müssen vom Zerfallsort Z stammen, dann die Polarisatoren durchqueren und schließlich die Detektoren erreichen.

Der erste Schritt ist, das Schema des Kugel-Beispiels auf das 2-Photonen Szenario zu übertragen. Dafür muss nur eine einzige Bedingung erfüllt sein:

*Das Messergebnis darf nicht direkt der Eigenschaft eines Objekts entsprechen; erst die Akkumulation von Objekten soll ein Messereignis auslösen.*

Im Fall von Photonen ergibt sich die Annahme, durch die diese Bedingung erfüllt werden kann, fast von selbst. Das dualistische Modell der Strahlung beinhaltet ja neben dem Konzept "Teilchen" auch schon das Konzept "Welle". Also muss bloß angenommen werden, dass nicht das Teilchen, sondern die Akkumulation von Wellen das Ereignis auslöst.<sup>20</sup>

---

<sup>20</sup> Ich erinnere daran, dass es in diesem ersten EPR-Durchgang ausschließlich darum geht, die Überzeugung zu widerlegen, dass Gleichung (2) durch kein lokales Modell begründet werden kann. Die Stärke des Bellschen Beweises liegt ja gerade in seinem Anspruch, unabhängig von jeder Art von Physik gültig zu sein. Es ist also zunächst notwendig zu zeigen, dass dieser Anspruch nicht gerechtfertigt ist. Die physikalischen Implikationen können vorläufig außer Acht gelassen werden. Wir kommen aber später auf sie zurück.

Konkret lautet die Annahme folgendermaßen: *Die un stetigen Übergänge zwischen verschiedenen Zuständen, bei denen "Photonen" erzeugt oder detektiert werden, sind die Folge stetiger Abstrahlung bzw. Akkumulation von elektromagnetischen Wellen. "Photonen" werden durch diese Annahme als solche Übergänge **definiert**.*

*Im Fall verschränkter Photonen werden diese Wellen paarweise abgestrahlt. Ihre Polarisationsrichtungen sind zufällig. (Gleichverteilt zwischen 0 und  $2\pi$ .)*

Diese Annahme verhindert – wie beim Kugel-Beispiel des vorigen Abschnitts –, dass Ereignisse aus einem bestimmten Experiment in ein anderes Experiment versetzt werden können; Aussagen darüber, was der Fall wäre, wenn dasselbe Objekt-Paar – das ist hier die Menge der seit dem vorherigen Ereignispaar in beide Richtungen abgestrahlten Wellen – nochmals gemessen würde, sind dann nicht mehr möglich, und das bedeutet: die Bellsche Ungleichung kann nicht abgeleitet werden; Der Beweis der Nichtlokalität verschwindet. (Darauf werde ich weiter unten ausführlicher eingehen.)

Damit ist das Schema des Beispiels bereits auf das Photon-Szenario übertragen worden. Nun wird aber außerdem noch eine Regel benötigt, die – im Zusammenspiel mit der noch zu bestimmenden Funktion zur Berechnung der Messwerte – garantiert, dass bei allen Ereignispaaren einer Versuchsserie tatsächlich immer Gleichung (2) erfüllt ist – dass also z.B. für  $\delta = 0^\circ$  (beide Polarisatoren sind auf denselben Winkel eingestellt) *niemals* gleichzeitig auf beiden Seiten Übergänge stattfinden, oder dass für  $\delta = 90^\circ$  die Übergänge *immer* gleichzeitig erfolgen.

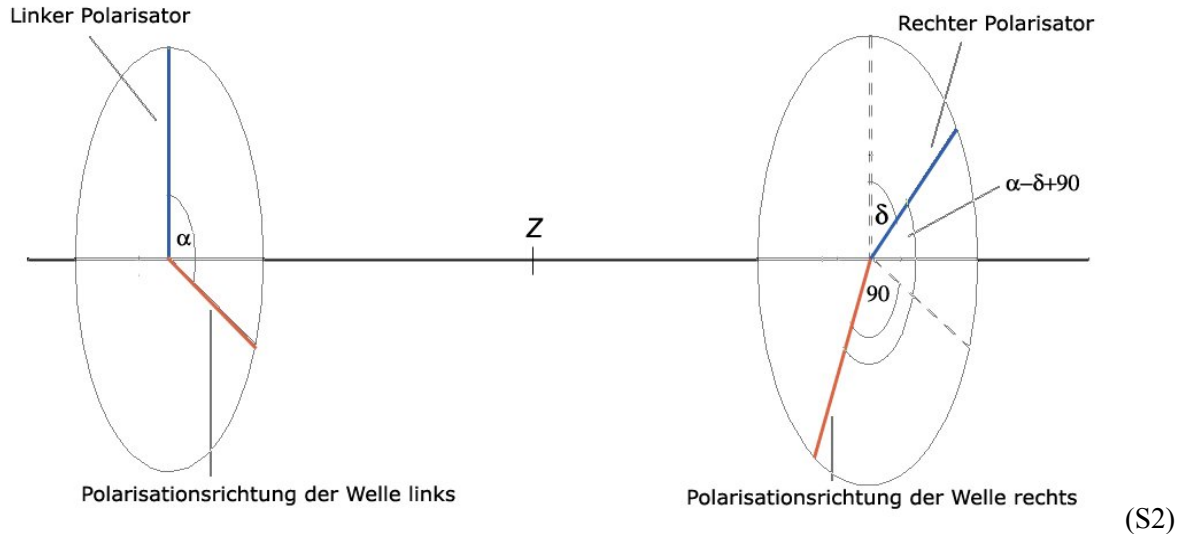
Die Regel, die das leistet, ist sozusagen der QM "entlehnt": *Der Winkel zwischen den Polarisationsrichtungen der zu irgendeinem Zeitpunkt nach beiden Seiten abgestrahlten Wellen ist gleich dem Winkel zwischen den Polarisationsrichtungen der Photonen (hier  $90^\circ$ ).*

Hinsichtlich aller anderen Parameter sollen die Wellen völlig symmetrisch sein.

Es ist noch zu klären, was es in diesem Modell bedeutet, dass *ein Photon mit einer bestimmten Polarisation* gemessen wird. Es bedeutet: Durch die Wellen, die einen auf genau diesen Winkel eingestellten Polarisator passiert haben, wird ein Übergang verursacht. Diesem Übergang – d.h. dem "Photon" – kann dann die Eigenschaft *Polarisation in dieser Richtung* zugeschrieben werden. Nur in diesem Sinn kann also hier von der Eigenschaft *Polarisation des gemessenen Photons* gesprochen werden.

Es ergibt sich folgendes Bild: (S2 unterscheidet sich von S1 durch die Annahme des verborgenen Parameters *Polarisation der Lichtwellen*. Man beachte aber, dass dieser *nicht* dem verborgenen

Parameter *Polarisation der Photonen* entspricht, wie er sich aus der EPR-Interpretation des Szenarios ergeben würde!)



Der linke Polarisator sei auf den Winkel  $0^\circ$  eingestellt, der rechte auf den Winkel  $\delta$ .  $\alpha_i$  seien die zufälligen Polarisationswinkel der Wellen auf der linken Seite,  $(\alpha_i + 90)$  daher die der Wellen rechts. Hinsichtlich der Amplituden der Wellen sind keine spezifischen Annahmen notwendig; sie können gleich 1 gesetzt werden. Demnach sind  $\cos \alpha_i$  die Amplituden der Wellen, die den linken Polarisator durchquert haben,  $\cos(\alpha_i + 90 - \delta)$  die entsprechenden Amplituden rechts.

Damit sind alle Vorbereitungen getroffen, um die QM-Resultate aller Experimente mit Polarisationsmessungen an verschränkten Photonen auf lokale Weise zu rekonstruieren.

Zunächst werden Zufallsvariable X und Y folgendermaßen definiert:

$$X_i = \cos^2 \alpha_i \quad (1 \leq i \leq n) \quad (5)$$

$$Y_i = \cos^2(\alpha_i + 90 - \delta) \quad (1 \leq i \leq n) \quad (5')$$

Die Zufallsvariablen sind in diesem Modell die Quadrate jener Wellenamplituden, die *wirklich* die Detektoren erreichen. Es handelt sich also zweifellos um *lokale* Variablen.<sup>21</sup>

### **Behauptung:**

Sei  $I = \{ i \mid 1 \leq i \leq n \}$  die Menge der Nummern der Zufallsvariablen bei einer Gesamtzahl von  $n$  Paaren. Sei  $I_L = \{ i_L \}$  jene Teilmenge von  $I$ , für die gilt:  $X_{i_L} > 1/2$ ,  $I_R = \{ i_R \}$  jene Teilmenge von  $I$ , für die gilt:  $Y_{i_R} > 1/2$ .  $I_{LR} = \{ i_{LR} \}$  sei jene Teilmenge von  $I$ , für die gilt:  $X_{i_{LR}} > 1/2$  und  $Y_{i_{LR}} > 1/2$ . ( $I_{LR} = I_L \cap I_R$ )

Sei  $w_L$  die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Photons auf der linken,  $w_R$  die auf der rechten Seite,  $w_{LR}$  die Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Erscheinens von Photonen auf beiden Seiten.

Dann ist ( mit  $n \rightarrow \infty$  )

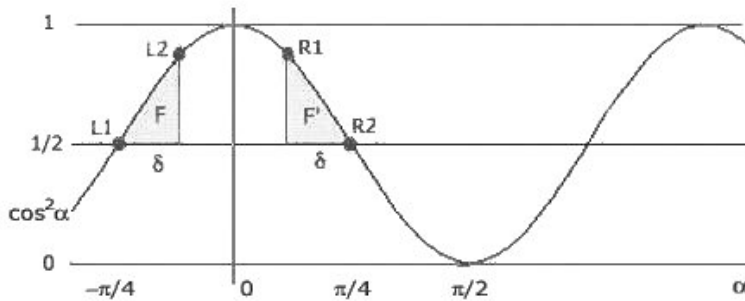
$w_L = \frac{\pi}{n} \sum_{i \in I_L} (X_i - 1/2) = 1/2$	$w_R = \frac{\pi}{n} \sum_{i \in I_R} (Y_i - 1/2) = 1/2$	(6)
$w_{LR} = \frac{\pi}{n} \sum_{i \in I_{LR}} (X_i - 1/2) = 1/2 \sin^2 \delta$	$\left[ = \frac{\pi}{n} \sum_{i \in I_{LR}} (Y_i - 1/2) \right]$	(7)

### **Beweis:**

Wir betrachten die  $\cos^2$ -Kurve. ( $\delta$  ist der Winkel zwischen den Polarisatorebenen).

---

<sup>21</sup> Wie zu sehen ist, gehen in die folgenden Formeln nur Amplitudenquadrate ein, die größer als 1/2 sind. Zunächst ist das die einfachste Bedingung dafür, dass es für  $\delta = 0^\circ$  keine gemeinsamen Ereignisse gibt, da in diesem Fall immer nur das Amplitudenquadrat auf einer Seite größer als 1/2 ist. Bemerkenswerter Weise liefert diese Bedingung aber auch das gewünschte Resultat für beliebiges  $\delta$ . Ich denke, dass schon allein die Einfachheit von (7) ein Hinweis darauf ist, dass die Art der Verschränkung irgendwie im experimentellen Setup und somit auch in der Statistik der daraus resultierenden Messergebnisse enthalten ist. Auf die Darstellung des Ablaufs der zugehörigen physikalischen Prozesse verzichte ich aber, weil mehrere Zusatzannahmen sie in meinen Augen unattraktiv machen.



(S3)

Wenn  $\alpha$  (der Winkel zwischen der Schwingungsrichtung der Welle und der Polarisatorebene auf der linken Seite) zwischen L1 und L2 liegt, dann liegt  $\alpha+90-\delta$  (der entsprechende Winkel auf der rechten Seite) zwischen R1 und R2. Es ist zu sehen, dass nur für  $-\pi/4 < \alpha < -\pi/4 + \delta$  und  $3\pi/4 < \alpha < 3\pi/4 + \delta$  die Amplitudenquadrate (d.h. die Zufallsvariablen) auf beiden Seiten größer als 1/2 sind.

Die Fläche F ist gleich der Fläche F' und es gilt

$$F = \int_{-\frac{\pi}{4}}^{-\frac{\pi}{4} + \delta} \cos^2 \alpha \, d\alpha - \delta \frac{1}{2} = \frac{1}{2} \sin^2 \delta \quad (8)$$

Mit  $n \rightarrow \infty$  entspricht die Summe in (7) genau dieser Fläche F.

Die Summe von (6) entspricht der Fläche, die die  $\cos^2$ -Kurve und die 1/2-Gerade zwischen  $-\pi/4$  und  $\pi/4$  einschließen; Das Resultat von (6) entspricht daher dem von (7), wenn in (7)  $\delta = \pi/2$  gesetzt wird; es beträgt also 1/2.

Damit ist das angestrebte Ziel erreicht. Mit (6) und (7) ist es gelungen, die gesuchten Wahrscheinlichkeiten als Funktionen von Teilmengen von Zufallsvariablen auf jeweils *einer* Seite, also durch lokale Bedingungen auszudrücken. Auch für den Fall, dass die Eigenschaft, durch die eine Teilmenge definiert ist, sich nicht nur auf die Zufallsvariablen auf einer Seite bezieht, sondern – wie bei (7) – auch auf die der anderen Seite, gibt es dabei kein Problem: Für die Aufstellung von Gleichung (7) wird ja nur die *Existenz* dieser Eigenschaft benötigt.

Es wurde bisher nur der Fall besprochen, dass der Winkel zwischen den Polarisationsrichtungen der paarweise abgestrahlten Wellen gleich  $\pi/2$  ist. Die Verallgemeinerung auf einen beliebigen Winkel  $\zeta$  ist trivial, weil unmittelbar einsichtig ist, dass der Zusammenhang zwischen den Größen der Wellenamplituden, die links und rechts durch die Polarisatoren gehen, in jedem Fall vom Differenzwinkel  $(\zeta - \delta)$  abhängt.

Ich gebe nur die Gleichung an. Sie lautet:

$$w_{LR} = \frac{\pi}{n} \sum_{i \in I_{LR}} (X_i - 1/2) = 1/2 \cos^2(\zeta - \delta) \left[ = \frac{\pi}{n} \sum_{i \in I_{LR}} (Y_i - 1/2) \right] \quad (9)$$

Gleichung (9) ist in allen möglichen Fällen identisch mit der quantenmechanischen Vorgabe. (Z.B. gilt für  $\zeta = 0$  (d.h. die gemessenen Photonen haben dieselbe Polarisation):  $W_{LR} = 1/2 \cos^2\delta$ .)

### 1.5. Ergänzende Bemerkungen

1. In diesem lokalen Modell wird vorausgesetzt, dass die unstetigen Übergänge in den Detektoren durch stetige Akkumulation von Wellen verursacht werden. Daraus folgt, dass es im Allgemeinen nicht möglich ist, die Lichtwellen, die zur selben Zeit unterwegs sind, einem einzigen solchen Akkumulationsprozess zuzuordnen, als dessen Folge dann ein *Photon* detektiert wird. Stattdessen muss angenommen werden, dass sie Beiträge zu verschiedenen solchen Prozessen leisten. Im Allgemeinen kann also ein Übergang, der einem *detektierten Photon* entspricht, *nicht* einem bestimmten Übergang, der einem *erzeugten Photon* (bzw. Photonenpaar) entspricht, zugeordnet werden. (Deshalb kann – wie beim Kugelbeispiel – die Bellsche Ungleichung hier nicht angewendet werden. Mehr dazu gleich im nächsten Abschnitt.)

2. Die Wellen mit verschiedenen Polarisationsrichtungen, die paarweise abgestrahlt werden, können auch *einem einzigen Zerfallsprozess* entstammen. (Diese Annahme steht nicht im Widerspruch zur QM, wo diese Wellen ja gar nicht existieren.)

3. Die Gleichungen (6), (7) und (9) gelten auch für den Fall einer Reihe experimentell voneinander getrennter *Einzelprozesse* (Ereignispaare). Auch in diesem Fall gibt es aber immer zeitgleich ablaufende Akkumulationsprozesse, die *noch nicht* zu Übergängen geführt haben.

4. Das hier vorgestellte Modell ist in jedem Detail lokal: Wellen werden beim Übergang zwischen zwei Zuständen eines Objekts paarweise abgestrahlt. Sie sind in einem bestimmten Winkel zueinander polarisiert und ansonsten symmetrisch. Durch Polarisatoren mit gegebener Ausrichtung werden ihre Amplituden reduziert. Die Quadrate dieser Amplituden bilden die Zufallsvariablen X und Y. Die Ereigniswahrscheinlichkeiten werden als Funktionen derjenigen Zufallsvariablen ausgedrückt, deren Träger tatsächlich in einen der beiden Detektoren gelangen.

Allgemein gilt: Für die *Gewissheit*, dass es zwischen zwei Messwerten an verschiedenen Orten keinen nichtlokalen Zusammenhang gibt, ist vollständige Kenntnis der Kausalketten erforderlich, die schließlich zu jenen Variablenwerten direkt am Messort führen, als deren Funktion die Messwerte definiert sind. Dies setzt wiederum den gemeinsamen Beginn der Kausalketten am selben Ort voraus. (Sonst würden sie sich immer weiter in die Vergangenheit fortsetzen.)

Genau diese Bedingungen sind hier erfüllt.

### ***1.6. Warum ist hier die Bellsche Ungleichung nicht anwendbar?***

Im lokalen Modell wird angenommen, dass in den Detektoren stetige Akkumulationsprozesse zeitlich parallel laufen, die später zu Übergängen ("detektierten Photonen") führen.

Wo und wann jeweils Übergänge stattfinden, die detektierten Photonen entsprechen, hängt von den Wellen ab, die die Detektoren jeweils erreichen, *und* von den spezifischen Bedingungen in den Detektoren. Zu diesen Bedingungen gehören aber jedenfalls auch die Wellen, die *früheren* Zerfällen entstammen und *noch nicht* zu Übergängen geführt haben.

Es ist unmittelbar einleuchtend, dass unter diesen Voraussetzungen keine vom Versuchsverlauf unabhängigen Ereignispaare existieren. Wegen der Wichtigkeit dieser Tatsache will ich aber doch ein wenig ausführlicher darauf eingehen.

Würde man z.B. versuchen, das Ereignispaar mit der Nummer k als Funktion der Wellen zu beschreiben, die seit dem Ereignispaar mit der Nummer k-1 die Detektoren erreicht haben<sup>22</sup>, dann scheitert dieser Versuch daran, dass das k-te Ereignispaar nicht nur von *diesen* Wellen abhängt, sondern auch von den Wellen, die schon vorher die Detektoren erreicht haben.

---

<sup>22</sup> Das würde einem *Zug* im Kugelbeispiel des Abschnitts 1.3. entsprechen.



Eine andere Möglichkeit wäre, jedem Photonenergebnis die Menge zuzuordnen, die genau jene Zufallsvariablen enthält, die tatsächlich zu dem jeweiligen Übergang beigetragen haben.

Sei also  $A_k$  das  $k$ -te Ereignis auf der linken Seite,  $A_k = 1$  (ein Photon wird detektiert).  $\{X\}_k$  sei die Menge der Zufallsvariablen, die dieses Ereignis verursachen.  $\{X\}_k$  enthält dann nicht nur Wellen aus dem  $k$ -ten Zerfall, sondern auch Wellen aus den Zerfällen mit den Nummern 1 bis  $k-1$ .

Die Reihenfolge der abgestrahlten Wellen mit verschiedenen Polarisationsrichtungen ändert sich aber von Experiment zu Experiment. Es ist also vom spezifischen Verlauf des Experiments abhängig, welche Zufallsvariablen in  $\{X\}_k$  enthalten sind. Das bedeutet: Selbst wenn in irgendeinem anderen Experiment mit identischen Polarisatorrichtungen alle diese Zufallsvariablen abermals aufträten, dann würde doch mit  $n \rightarrow \infty$  ( $n$  Zahl der Zufallsvariablen) die Wahrscheinlichkeit gegen 0 gehen, dass die Menge  $\{X\}_k$  abermals zu genau *einem* Übergang führt. Vielmehr würden in jedem anderen Experiment die Zufallsvariablen aus  $\{X\}_k$  nicht einen einzigen Übergang verursachen, sondern Beiträge zu vielen verschiedenen Übergängen leisten.

Auch bei dieser Definition können daher die Ereignisse nicht vom spezifischen Versuchsablauf getrennt werden. Tatsächlich gibt es überhaupt keine Definition, die das leisten könnte. Es gilt vielmehr Folgendes:

Im lokalen Modell gibt es keine Ereignispaare  $(A | B)$ , die vom Verlauf des Experiments unabhängig sind und deshalb auch in jedem anderen Experiment auftreten könnten. Stattdessen gibt es Paare von Ereignissen  $(A_k(E_m) | B_k(E_m))$ , die *untrennbar* mit dem Verlauf eines bestimmten Experiments  $E_m$  verbunden sind, d.h. die nur in *diesem* Experiment zu *diesem* Zeitpunkt auftreten.

Es ist daher nicht möglich, irgendetwas über die Resultate weiterer Messungen an denselben Objekten zu sagen.

In der Interpretation des Szenarios mit verschränkten Photonen, die der Bellschen Ungleichung zugrunde liegt, gibt es keine solche Einschränkung; dort ist jedes Ereignispaar von allen vorhergehenden Ereignispaaren und somit auch vom Versuchsverlauf unabhängig. Die Ereignisse sind also nicht an ein bestimmtes Experiment gebunden. Annahmen über andere Messungen an denselben Objekten sind zulässig.

Genau dieser Unterschied zwischen der Bellschen Sichtweise und der hier vorgestellten ist der Grund, weshalb es unmöglich ist, im lokalen Modell eine Ungleichung Bellscher Art abzuleiten, denn bei der Ableitung einer solchen Ungleichung sind Informationen über die Messresultate bei *einem* Experiment

mit bestimmten Richtungen der Polarisatoren niemals ausreichend; es müssen immer auch Informationen über Messungen *an denselben Objekten* bei einer weiteren Richtung einbezogen werden.

Das soll nun abschließend am Beispiel der Arbeit von John Bell von 1964 gezeigt werden.<sup>23</sup>

Im Folgenden steht  $\lambda$  für beliebige Variablen, von denen die Messresultate A und B in beliebiger Weise abhängen können. ( $A = \pm 1$ ,  $B = \pm 1$ ; +1 bedeutet: Photon, -1: kein Photon.)

$\vec{a}$ ,  $\vec{b}$  und  $\vec{c}$  sind Einheitsvektoren in Richtung der Polarisatorebenen.  $\rho$  ist die normierte Wahrscheinlichkeitsverteilung von  $\lambda$ .  $P(\vec{a}, \vec{b})$  ist der Erwartungswert des Produkts von A und B.

Kurz vor dem Ende der Ableitung findet sich die Gleichung

$$\begin{aligned} P(\vec{a}, \vec{b}) - P(\vec{a}, \vec{c}) &= - \int d\lambda \rho(\lambda) \left[ A(\vec{a}, \lambda) A(\vec{b}, \lambda) - A(\vec{a}, \lambda) A(\vec{c}, \lambda) \right] = \\ &= \int d\lambda \rho(\lambda) A(\vec{a}, \lambda) A(\vec{b}, \lambda) \left[ A(\vec{b}, \lambda) A(\vec{c}, \lambda) - 1 \right] \end{aligned}$$

Hier wird vorausgesetzt, dass  $A(\vec{b}, \lambda) A(\vec{b}, \lambda) = 1$ , was in der üblichen Sichtweise (und Schreibweise!) selbstverständlich erscheint.

Die beiden Ausdrücke  $A(\vec{b}, \lambda)$  sind jedoch im lokalen Modell nicht identisch. Wie die Fortsetzung der Ableitung zeigt

$$\begin{aligned} \Rightarrow \quad & \left| P(\vec{a}, \vec{b}) - P(\vec{a}, \vec{c}) \right| \leq \int d\lambda \rho(\lambda) \left[ 1 - A(\vec{b}, \lambda) A(\vec{c}, \lambda) \right] \\ \Rightarrow \quad & 1 + P(\vec{b}, \vec{c}) \geq \left| P(\vec{a}, \vec{b}) - P(\vec{a}, \vec{c}) \right| \end{aligned}$$

müssen sie Ereignissen aus zwei verschiedenen Experimenten zugeordnet werden: der erste einem Ereignis aus einem Experiment mit den Polarisatorstellungen  $(\vec{a}, \vec{b})$  und der zweite einem Ereignis

---

<sup>23</sup> John Stewart Bell, *On the Einstein Podolsky Rosen Paradox*, Physics, 1, 195-200 (1964). (Bells Beweis bezieht sich auf Spin 1/2 Teilchen. Er gilt aber genauso für Photonen.)

aus einem anderen Experiment mit  $(\bar{b}, \bar{c})$ . Im lokalen Modell ist aber kein Schluss vom Ereignis aus dem ersten Experiment auf das Ereignis aus dem zweiten Experiment möglich. Die Annahme  $A_k(E1) * A_j(E2) = 1$  ist für kein  $(k, j)$  zulässig.

Die Ableitung der Ungleichung scheitert also, und dasselbe gilt, wie schon erwähnt, für jede Ungleichung dieser Art.

## ***1.7. Zusammenfassung, Schluss***

Die Ausführungen der letzten Abschnitte sind vielleicht manchen, die mit dem EPR-Szenario nicht vertraut sind, schwierig erschienen. Glücklicherweise ist aber der eigentliche Grund, warum durch die bisherige Sichtweise des EPR-Paradoxons eine lokale Interpretation ausgeschlossen war und warum sie in der neuen Sichtweise möglich ist, wirklich einfach.

Vergleichen wir also abschließend die übliche Sicht des Verlaufs eines Experiments mit verschränkten Objekten mit der Sicht, die dem lokalen Alternativmodell zugrunde liegt:

In der üblichen Sicht gibt es Paare verschränkter Objekte, die Paare von Ereignissen verursachen. Nach jedem Ereignispaar ist ein physikalischer Prozess vollständig abgeschlossen, und mit dem nächsten Zerfall beginnt ein neuer Prozess, der von allen vorangegangenen völlig unabhängig ist. Jede Versuchsserie besteht aus einer Reihe solcher voneinander unabhängigen Prozesse.

Wenn man nun – wie EPR – dazu noch annimmt, dass die Bedingung **A1** aus Abschnitt 1.3 gilt (dass also die Messungen auf beiden Seiten voneinander unabhängig sind), dann ist auch die Bedingung **A2** erfüllt (d.h. Aussagen über weitere Messungen an denselben Objekten sind möglich) und die Bellsche Ungleichung kann abgeleitet werden; *Lokalität ist damit ausgeschlossen*.

Ganz anders beim lokalen Alternativmodell. Zwar sind auch hier beide Seiten voneinander unabhängig, und das Messergebnis steht schon vor der Messung fest, aber es ist nicht nur vom aktuellen Objekt-Paar, sondern auch vom ganzen vorausgegangenen Versuchsablauf abhängig. Die Mess-Serie eines Experiments besteht daher nicht mehr aus einer Reihe voneinander getrennter Prozesse, die durch die jeweiligen Messereignisse abgeschlossen werden – sie muss vielmehr als *Gesamtprozess* gesehen werden, in dem jeder frühere Messvorgang sich auf jeden späteren auswirkt. (Genauso wie beim anschaulichen Beispiel mit den Kugeln.)

Kein Ereignispaar kann aus einem solchen spezifischen Gesamtprozess herausgelöst werden.<sup>24</sup>

Dann ist jedoch die Bedingung **A2** nicht erfüllt: Voraussagen über weitere Messungen an denselben Objekten sind unzulässig, und die Bellsche Ungleichung kann nicht abgeleitet werden. *Lokalität ist möglich.*

Die Verschränkungsbedingung muss natürlich auch im lokalen Modell eingehalten werden – das ist Aufgabe der Funktion, die die quantenmechanischen Voraussagen reproduziert – aber sie gilt nur für Ereignispaare, die zu einem bestimmten Versuchsablauf gehören. Aussagen über weitere Messungen an irgendeinem Paar von Objekten aus diesem Versuchsablauf sind nicht möglich.

Kurz gesagt ist also der entscheidende Punkt der folgende:

*Im lokalen Modell sind die Ereignispaare vom Versuchsverlauf **abhängig**, für die Ableitung der Bellschen Ungleichung müssen sie jedoch davon **unabhängig** sein. Deshalb kann im lokalen Modell die Ungleichung nicht abgeleitet werden.*

Dann verschwindet aber der Beweis der Nichtlokalität, und der Weg ist frei für lokale Darstellungen verschränkter Systeme; Und diese Freiheit zu nützen führt, wie soeben am Beispiel verschränkter Photonen gezeigt, tatsächlich zum Erfolg.<sup>25</sup>

Damit ist die Behauptung widerlegt, dass Messungen an verschränkten Photonen durch keine Theorie mit ausschließlich lokalen Parametern dargestellt werden könnten. Die Funktion in (9) ist allerdings physikalisch wenig sinnvoll, was aber für die Widerlegung ohne Bedeutung ist. Sie wurde nur wegen ihrer Einfachheit gewählt.

Eine verständliche und physikalisch sinnvolle Lösung – die aber auf dem gleichen Schema beruht – werde ich im Abschnitt 3.11. nach der Interpretation der Relativitätstheorie sowie der Alter-

---

<sup>24</sup> Im Fall der Messung eines einzelnen Ereignispaars sorgt die Präparation des Experiments dafür, dass die danach vorgenommene Messung der Voraussage entspricht (genauer: dass eine Reihe solcher Messungen die vorausgesagte Verteilung ergibt).

<sup>25</sup> Ich sagte in der Einleitung, dass die Alltagssprache, verbunden mit ein wenig Mathematik, für die Auflösung einiger Probleme besser geeignet ist als die Fachsprache. In der lokalen Auflösung des EPR-Paradoxons zeigt sich das deutlich: wenn das 2-Photonensystem als Vektor im Produktraum der 2-dimensionalen Hilberträume der beiden Teilchen betrachtet wird, dann sind die soeben durchgeführten Gedankengänge unmöglich. Die Wirklichkeit, die sich hinter dem Formalismus befindet und ihn begründet, ist verschwunden.

nativbeschreibung des Lichtelektrischen Effekts und des Compton-Effekts im Anschluss an die Interpretation der Quantentheorie präsentieren.

Alle diese Darstellungen werden sich als Bausteine erweisen, die sich zu einem Mosaik zusammenfügen, zu einer sinnvollen Gesamtgestalt, die es ermöglicht, auch andere Prinzipien der Vernunft wieder in ihre Rechte zu setzen – so wie es gerade eben mit dem Prinzip *Lokalität* geschehen ist.

Bemerkung:

Das Problem von "Unmöglichkeitsbeweisen" ist, dass sie *in allen möglichen Welten* gelten müssen. Die "Menge möglicher Welten" ist aber nicht bekannt.

Daher kann es geschehen – wie sich bei der soeben durchgeführten Widerlegung des Bellschen Beweises der Unmöglichkeit lokaler Beschreibungen verschränkter Systeme gezeigt hat – dass eine Welt übersehen wird, die nicht etwa wegen ihrer Seltsamkeit oder Unwahrscheinlichkeit außerhalb des Blickfeldes liegt, sondern einfach nur deshalb, weil sie auf den ausgetretenen Interpretationspfaden nicht erreichbar ist.

Ich erinnere nochmals an das Kugelbeispiel aus 1.3, das die neue Sichtweise veranschaulicht: hier wird keine seltsame oder exotische Wirklichkeit vorgestellt, sondern eine völlig verständliche, lokale und objektive Wirklichkeit – und von genau dieser Art ist die Wirklichkeit, die der quantenmechanischen Beschreibung verschränkter Systeme zugrunde liegt.

## *Doppelte Wunder*

Vor einiger Zeit habe ich gemeinsam mit einem Freund herzlich über einen esoterischen Zeitungsartikel gelacht, in dem von einem doppelten Wunder berichtet wurde:

Bei einer Séance habe sich eine schwere Statue von selbst in die Höhe erhoben und sei auf einem komplizierten Weg mit großer Geschwindigkeit durch das Zimmer geflogen. Aber nicht nur das – obwohl im Zimmer zahlreiche Gegenstände herumstanden, sei es der Statue gelungen, mit schier unglaublichem Geschick jede Kollision zu vermeiden und all diese Hindernisse zu umfliegen, bevor sie sich wieder auf ihrem ursprünglichen Platz niederließ, so dass nach diesem Spuk alles genauso aussah wie vorher – gerade so, als wäre überhaupt nichts geschehen!

Mindestens ebenso sehr haben wir aber schon oft über ein anderes doppeltes Wunder gelacht, das Physiker gern einander und der verblüfften Öffentlichkeit erzählen:

Es gibt, sagen sie, geheimnisvolle Zusammenhänge zwischen beliebig weit voneinander entfernten Objekten: Wenn Alice ein Objekt, das sich bei ihr befindet, auf gewisse Weise manipuliert, dann spürt das ein anderes Objekt, das sich weit weg bei ihrem Freund Bob befindet, und verändert sich sprunghaft.

Wahnsinn, denkt die verblüffte Öffentlichkeit, träumt von intergalaktischem Sex und plant den Kauf einer Voodoo-Puppe.

Aber da erzählen die Physiker von einem weiteren Wunder – einer wirklich perfiden Verschwörung: Die Natur zaubert nicht nur solche Voodoo-Zusammenhänge ins Universum, sie arrangiert sie mit schier unglaublichem Geschick noch dazu so trickreich, dass sie keinesfalls zur Übermittlung von Informationen irgendwelcher Art verwendet werden können – gerade so, als gäbe es sie überhaupt nicht!



## 2. Neue Interpretation und Erklärung der Speziellen Relativität

### 2.1. Einleitung

In der Physik der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts gab es einen Bruch zwischen Mechanik und Elektromagnetismus:

Im Bereich der *Mechanik* galten alle gleichförmig bewegten Systeme als physikalisch ununterscheidbar, das heißt: gleiche Experimente und Messungen innerhalb verschiedener gleichförmig bewegter Systeme sollten stets zu identischen Ergebnissen führen. Hier war Bewegung also *relativ*. Die Umrechnung von einem System auf ein anderes (Galilei-Transformation) stimmte dabei vollkommen mit der apriorischen Raum-Zeit-Vorstellung überein. (Insbesondere entsprach die Differenz der Geschwindigkeiten eines Objekts in Bezug auf zwei verschiedene Systeme genau der Differenz der Geschwindigkeiten dieser Systeme selbst.)

Da die elektromagnetischen Feldgleichungen *nicht* kovariant bezüglich Galilei-Transformationen sind, musste im Bereich des *Elektromagnetismus* dagegen ein ausgezeichnetes System existieren – der Äther, Träger der elektromagnetischen Wellen – in dem die Naturbeschreibung ihre einfachste Form annahm. Dieses System wurde als ruhend gedacht. Gleiche Experimente und Messungen in verschiedenen gleichförmig bewegten Systemen sollten bei elektromagnetischen Phänomenen zu *verschiedenen* Ergebnissen führen. Daher war hier Bewegung *absolut*.

Demgemäß hätte sich die Bewegung der Erde in Bezug auf den Äther durch Messungen an geeigneten elektromagnetischen Phänomenen feststellen lassen müssen. Im Widerspruch zu dieser Erwartung scheiterten aber alle Versuche, eine solche Bewegung mit Hilfe der Geschwindigkeitsunterschiede von Lichtwellen zu messen, die in verschiedene Richtungen laufen: Niemals trat eine Differenz auf.

Die Spezielle Relativitätstheorie beseitigte den Bruch zwischen Mechanik und Elektromagnetismus und löste zugleich den Widerspruch zum Experiment auf, indem sie zwei Postulate aufstellte:

1. Die Ununterscheidbarkeit gleichförmig bewegter Systeme in Bezug auf *alle* physikalischen Phänomene; das ist das Spezielle Relativitätsprinzip.
2. Die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit für alle gleichförmig bewegten Beobachter.

Das zweite Postulat bestimmt, welche Transformation zu wählen ist: jene, bezüglich der die elektromagnetischen Gleichungen kovariant sind (die Lorentz-Transformation).

Die apriorische Galilei-Transformation ist also nur näherungsweise gültig; die mit ihr verbundene Mechanik muss korrigiert werden.

## ***2.2. Warum gehorcht die Natur den durch Licht bestimmten Raum-Zeit-Verhältnissen?***

In den ersten Jahren nach der Geburt der Relativitätstheorie waren alle Beteiligten (und Unbeteiligten) so sehr damit beschäftigt, ihre Begeisterung bzw. Ablehnung zum Ausdruck zu bringen, dass sie gar nicht daran dachten, die *wirklich* wichtige Frage zu stellen:

*Warum fügt sich die Natur eigentlich den raumzeitlichen Verhältnissen, die durch Lichtsignale festgesetzt werden?*

Später, als die Richtigkeit der Relativitätstheorie nicht mehr bezweifelt werden konnte, wurde der Umgang mit dem relativistischen Formalismus so alltäglich, dass diese Frage niemandem mehr in den Sinn kam – warum nach dem Grund für etwas fragen, was so sicher und selbstverständlich ist?

Tatsächlich ermöglicht aber erst die konsequente Untersuchung dieser Frage ein echtes Verständnis der relativistischen Phänomene. Doch nicht nur deshalb ist es wichtig, nach dem ontologischen Grund der Relativität zu fragen, sondern vor allem deshalb, weil die Antwort eine völlige Umstellung der begrifflichen Grundlagen der Naturbeschreibung erzwingt und so zu einer tiefgreifenden Umgestaltung unseres Verständnisses der Wirklichkeit führt. Um es mit dem der Sache angemessenen Pathos in den Worten John Archibald Wheelers zu sagen:<sup>26</sup>

*Eine Tür geht auf und lässt den blitzenden zentralen Mechanismus der Welt in all seiner Schönheit und Einfachheit sichtbar werden.*

Bemerkenswert ist, dass dafür weder physikalische noch mathematische Kenntnisse erforderlich sind. Ich bin versucht zu sagen: im Gegenteil! Es kann hier durchaus vorteilhaft sein, solche Kenntnisse nicht zu besitzen. Der alltägliche Umgang mit mathematischen Formeln führt Physiker allzu leicht in

---

<sup>26</sup> In: *Gravitation*, Freeman, San Francisco 1973, S.1197. (Wheeler selbst glaubte nicht an einen solchen Mechanismus.)



Versuchung, Beschreibung und Wirklichkeit gleichzusetzen, oder besser: sie miteinander zu verwechseln. Dann aber verschwindet die im Titel des Abschnitts formulierte Frage, denn wenn die Natur der Formalismus *ist*, dann ist es nicht mehr sinnvoll zu fragen warum sie ihm *gehört*. Dafür ist ein Begriff von Natur notwendig, der den Formalismus begründet und der ihm stets wieder gegenübergestellt werden kann.<sup>27</sup>

Die Natur ist *niemals* mit ihrer formalen Beschreibung identisch. Die Wirklichkeit *ist kein* vierdimensionaler Minkowski-Raum mit den Koordinaten  $x_1, x_2, x_3$  und  $ict$  – ebenso wenig wie eine Fischpopulation die logistische Gleichung *ist*. Die Wirklichkeit ist *Bewegung von Objekten im dreidimensionalen Raum*, und es stellt sich die Frage, *warum* es angemessen ist, diese Wirklichkeit durch den Minkowski-Raum zu beschreiben, mit anderen Worten: warum die Lichtgeschwindigkeit für alle gleichförmig bewegten Beobachter denselben Wert hat.

Ohne die Vorstellung bewegter Objekte im Raum gäbe es gar kein Relativitätsprinzip; bekanntlich hat dieses Prinzip seinen Ausgangspunkt in der Erkenntnis, dass gegenüber dem (leeren) Raum keine Bewegung definiert werden kann. Bewegung eines Objekts kann es nur relativ zu einem anderen Objekt geben. Der Raum selbst ist kein solches Objekt.

### **2.3. Einsteins Szenario**

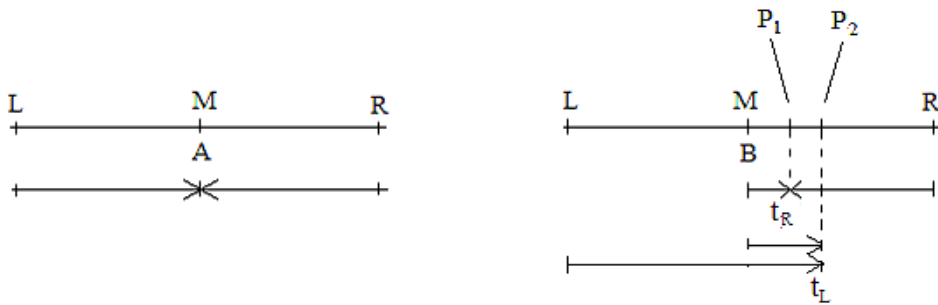
Auf dem jetzigen Niveau physikalischer Erkenntnis kann die Notwendigkeit der SRT eingesehen werden, die relativistischen Phänomene *als solche* müssen aber einfach hingenommen werden. Ein Modell, das es erlauben würde, diese Phänomene durch Einsicht in die zugrunde liegenden Zusammenhänge zu *verstehen*, wäre jedenfalls vorzuziehen.

Ein solches Modell wird im Folgenden präsentiert. Es liegt allerdings weit außerhalb des üblichen physikalischen Denkens. Um dorthin zu gelangen werden, wie erwähnt, keine formalen Hilfsmittel benötigt; Es ist eine reine Interpretationsfrage, oder sagen wir: eine Frage geometrisch-logischer Schlussfolgerungen.

Begeben wir uns zunächst in das wohlbekannteste Szenario, das Einstein zur Illustration der Relativität der Gleichzeitigkeit entworfen hat:

---

<sup>27</sup> Der erste Schritt zu dieser Verwechslung ist die verbreitete Überzeugung, dass "Mathematik die Sprache der Natur" ist. Das mag sein! – wenn man jedoch meint, mit Mathematik *alles* sagen zu können, greift man zu kurz und gerät auf Abwege.



(S1)

In der Skizze ist M der Mittelpunkt der Strecke zwischen L und R.

A und B sind zwei Beobachter, die beide zur Zeit  $t_0 = 0$  in M sind. A bleibt in M, B verlässt M und bewegt sich (gleichförmig) in Richtung R.

Von L und R zur gleichen Zeit  $t_0$  (von A aus gesehen) gesendete Lichtsignale, die gleichzeitig bei A eintreffen, erreichen B *nicht* gleichzeitig: das Signal von R trifft *früher* bei B ein (im Punkt  $P_1$  zur Zeit  $t_R$ ) als das Signal von L (das im Punkt  $P_2$  zur Zeit  $t_L$  eintrifft).

Die Zeitdifferenz zwischen dem Eintreffen des linken und rechten Signals sei  $\Delta t$ , also

$$t_L - t_R = \Delta t$$

Soviel zur Relativität der Gleichzeitigkeit. Die Diskussion des Szenarios soll aber diesmal ein Stück weiter geführt werden.

Nennen wir den Zeitpunkt  $t_0 = 0$  in L und R die *Gegenwart* von A. Die Aufhebung der Gleichzeitigkeit bezüglich B bedeutet dann, dass der Zeitpunkt des Aussendens des Lichtsignals in R für B *in die Vergangenheit* versetzt werden muss: B bewegt sich auf das Signal zu, es erreicht ihn daher früher als es A erreicht, also ist es im Vergleich zu A früher abgeschickt worden – somit muss das Aussenden des Lichtsignals für B ein *vergangenes* Ereignis sein. Ebenso gilt: Das Aussenden des Signals von L ist für B ein *zukünftiges* Ereignis.

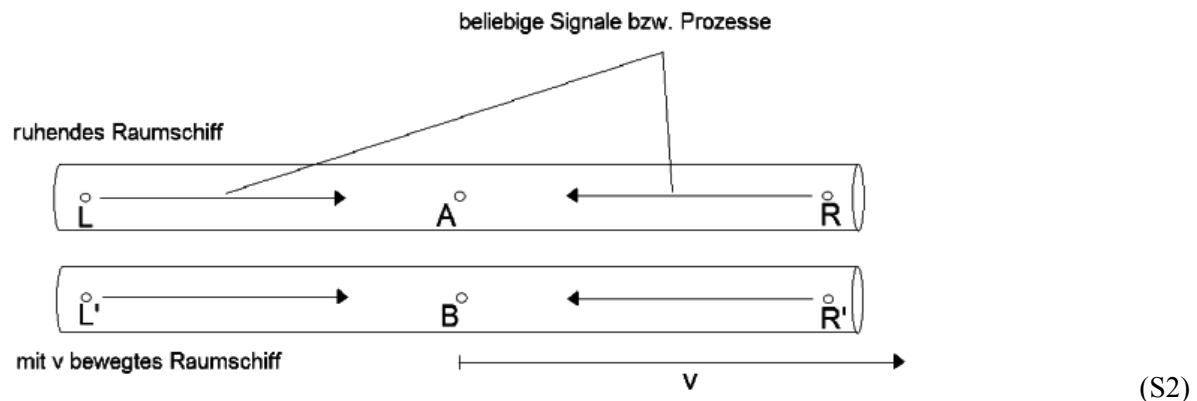
Diese Versetzung des einen Ereignisses in die Vergangenheit und des anderen in die Zukunft von B – immer im Vergleich mit A – ist aber nur dann möglich und notwendig, wenn Folgendes der Fall ist:

*Jedes zum System des bewegten Beobachters B gehörende Paar gleichartiger Signale, die in L und R zum selben Zeitpunkt  $t_0$  erzeugt werden wie die Lichtsignale (oder allgemeiner: jedes beliebige Paar gleichartiger physikalischer Prozesse, die in L und R zur selben Zeit  $t_0$  beginnen) und auf geradem Weg auf B zulaufen, trifft bei B mit derselben Zeitdifferenz  $\Delta t$  ein wie die Lichtsignale.*

Nur unter dieser Voraussetzung wird die Aufhebung der Gleichzeitigkeit – und damit zugleich die Festlegung der für B in L und R geltenden, veränderten Zeiten – zu einem notwendigen Akt. Gäbe es irgendein Paar von Signalen oder Prozessen, das diese Bedingung nicht erfüllte, dann wäre die Festlegung der Zeit gemäß der Vorgabe durch die Lichtsignale ungültig.

Wenn man nun nicht, wie gewohnt, sofort auf den relativistischen Formalismus übergeht, sondern den Sachverhalt weiterhin von derjenigen Wirklichkeit aus beurteilt, von der das Einsteinsche Szenario handelt – *Objekte, die sich im (dreidimensionalen) Raum bewegen* –, dann wird klar, was für eine ungeheuer starke Bedingung dieser Wirklichkeit dadurch auferlegt wird.

Führen wir uns das durch ein Beispiel vor Augen: Nehmen wir an, A und B seien Beobachter in Raumschiffen. Nennen wir das Raumschiff von A das ruhende. Das Raumschiff von B bewege sich relativ zu A mit der Geschwindigkeit  $v$ .



$LA = AR = L'B = BR'$  (in Bezug auf A zu dem Zeitpunkt, der in der Skizze dargestellt ist)

In R und R', L und L' werden – von A aus gesehen gleichzeitig – Lichtsignale erzeugt. Sie erreichen A gleichzeitig und B wieder mit der Zeitdifferenz  $\Delta t$ .

Zugleich mit den Lichtsignalen – und an denselben Orten – werden nun aber auch andere Signale erzeugt, sagen wir: Schallsignale im Metallkörper der Raumschiffe oder in der darin enthaltenen Luft. (Man könnte aber auch Gewehrkugeln abschießen oder anderswie Allotria treiben.) Zuerst treffen die Lichtsignale bei B ein, und dann, mit verschiedenen zeitlichen Abständen, die anderen Signale. Aber für *alle* Paare identischer Signale bzw. Prozesse muss gelten: die Zeitdifferenz  $\Delta t$ , mit der sie B erreichen, ist immer die gleiche, und sie entspricht der Zeitdifferenz der Lichtsignale.

Bei den Lichtsignalen ist die Zeitdifferenz selbstverständlich. Man "sieht" ja, dass B dem einen Signal entgegenläuft und deshalb früher auf dieses Signal trifft als auf das andere, dem er davonläuft. Bei den Schallsignalen ist das aber völlig anders: sie sind im Raumschiff von B *mitgeführte* Signale, und es ist nicht einzusehen, warum bei ihnen überhaupt irgendeine Zeitdifferenz auftreten sollte.

Um zu demonstrieren, wie seltsam das trotz mehr als hundert Jahren SRT noch immer anmutet, wollen wir die Schallsignale im Metall herausgreifen.

In bezug auf A werden sie gleichzeitig erzeugt. Irgendein ruhender Beobachter A', der bezüglich der Bewegungsrichtung von B *vor* A postiert ist, kann A später mitteilen, dass die Schallsignale bei B zeitversetzt eingetroffen sind. Für A bedeutet das, dass das *im Raumschiff von B mitgeführte* Signal von vorn *schneller* gewesen sein muss als das von hinten. Einerseits ist es also für A vollkommen einsichtig, dass die gleichzeitig erzeugten Lichtsignale beim (bewegten) Beobachter B zeitversetzt ankommen müssen, und andererseits ist für ihn überhaupt nicht einzusehen, warum auch die Schallsignale, die sich im Metallkörper von B's Raumschiff fortpflanzen, mit der gleichen Zeitdifferenz bei B eintreffen. Es gibt dafür einfach keinen ersichtlichen Grund.

Natürlich verschwindet das Problem sofort, wenn wir einbeziehen, was wir ja schon wissen – dass nämlich *für B* die Ereignisse in L' und R' *nicht* gleichzeitig sind und dass daher die Signalgeschwindigkeiten in Bezug auf B identisch sind. Mit dieser "Lösung" würden wir aber genau das, was erklärt werden soll, als Erklärung einsetzen!

Der Sachverhalt ist aus folgendem Grund paradox:

*Einerseits* gilt, dass gegenüber dem Raum keine Bewegung definiert werden kann.

*Andererseits* gilt Folgendes: A *sieht*, dass die Schallsignale gleichzeitig erzeugt werden. Er *weiß*, dass die Entfernungen zwischen den Orten ihrer Erzeugung und dem Beobachter B identisch sind, und er *erfährt*, dass das Signal von vorn bei B früher eingetroffen ist als das von hinten. Er *muss* daraus schließen, dass die Bewegung gegen den Raum – *die es gar nicht geben darf* – die Geschwindigkeit der Schallsignale beeinflusst hat: das von vorn wurde beschleunigt, das von hinten verlangsamt.

Noch einmal: Man kann den SRT-Formalismus anwenden und so das Problem eliminieren. Aber dadurch verschwindet es ja nicht wirklich. Dann hat man über die Natur verfügt und festgelegt, dass sie sich entsprechend verhalten muss. Und das tut sie ja auch! – Aber es ist nicht im geringsten klar geworden warum. Die Beziehung zwischen Wirklichkeit (bewegte Objekte im dreidimensionalen Raum) und Formalismus (Lorentz-Transformation) bleibt unerklärt.

Der Raum, in dem das Problem sich auflöst, ist der vierdimensionale Minkowski-Raum. Der Raum, in dem die eben angeführten Erfahrungen und Schlussfolgerungen des Beobachters A beschrieben wurden, ist dagegen der normale dreidimensionale Raum mit den darin bewegten Objekten – also genau der Raum, auf den sich auch Einsteins Überlegungen zur Relativität der Bewegung beziehen. Und in ebendiesem Raum, der gleichgültig gegenüber der Bewegung sein sollte, tritt jetzt – für A – eine Änderung der Schallgeschwindigkeit im Metall als Folge der Bewegung dieses Metalls auf, und es muss geklärt werden, was der Grund für diese Geschwindigkeitsänderung ist.

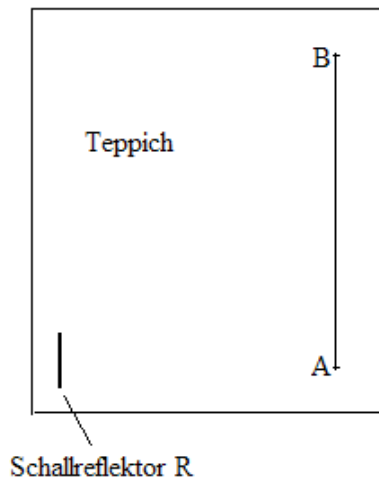
Die allgemeine Frage, die anfangs gestellt wurde: "Warum gehorcht die Natur den Beziehungen für zeitliche und räumliche Maße, die durch Licht vorgegeben werden?" hat sich in unserem Beispiel konkretisiert zu der Frage:

Warum erreicht das Schallsignal von vorn den bewegten Beobachter früher als das von hinten – und zwar mit derselben Zeitdifferenz  $\Delta t$ , mit der das vordere Lichtsignal früher eintrifft als das hintere?

Um uns dieser Frage zu nähern, begeben wir uns noch in ein anderes Szenario. Es ist völlig trivial, aber für die Argumentation deshalb nützlich, weil hier Fragen und Antworten ohne die sonst unvermeidliche Einschränkung durch fest eingefahrene Denkgewohnheiten möglich sind.

## ***2.4. Das zweite Szenario***

Wir befinden uns auf einer weit ausgedehnten Ebene. Über der Ebene ist Luft, von gewöhnlichem Druck und unbewegt. Wir blicken von oben auf einen fliegenden Teppich, der jetzt aber auf der Ebene aufliegt.



(S3)

Auf dem Teppich sind zwei Beobachter A und B und ein Schallreflektor R.

A und B haben ebenfalls beide einen Schallreflektor bei sich, außerdem jeder zwei Uhren von folgender Beschaffenheit: ein leeres Zifferblatt mit einem einzelnen Zeiger, der sich gleichmäßig dreht. Beide Beobachter haben einen Stift zur Beschriftung der Zifferblätter.

*Es läuft nun folgender Vorgang ab:*

1. A sendet in Richtung B und gleichzeitig zum Reflektor R wiederholt Schallsignale. B reflektiert die Signale zu A zurück. A winkt B zu sich heran, bis beide reflektierten Signale gleichzeitig bei ihm eintreffen. Genau von diesem Moment an verbleibt B auf seiner Position.
2. A sendet ein Schallsignal zu B und beschriftet gleichzeitig den Ort auf dem Zifferblatt einer seiner Uhren, auf den die Zeigerspitze gerade weist, mit **0**.
3. B empfängt das Signal, reflektiert es zu A zurück und schreibt gleichzeitig **1** auf sein Zifferblatt.
4. A empfängt das Signal, reflektiert es zu B zurück und schreibt gleichzeitig **2** auf sein Zifferblatt.
5. B empfängt das Signal und schreibt **3** auf sein Zifferblatt.

Damit haben wir ein vollständiges Maßsystem für Längen und Zeiten definiert. A und B können ihre Skalen ergänzen. (A hat die Zeitpunkte 0 und 2, B hat 1 und 3.) Die Zeiteinheit nennen wir eine *Sekunde*, die Längeneinheit sei eine *Schallsekunde*, also die Strecke AB (bzw. AR). Die Schallgeschwindigkeit ist 1.

*Nun erhebt sich der Teppich und fliegt mit annähernd Schallgeschwindigkeit parallel zur Verbindungslinie von A und B, und zwar so, dass B voran liegt.*

A und B nehmen ihre anderen Uhren zur Hand und führen denselben Vorgang aus wie zuvor. Wieder liegt danach ein vollständiges Maßsystem vor. Wieder bezeichnen wir die Zeiteinheit als *Sekunde* und die Längeneinheit AB (bzw. AR) als *Schallsekunde*.

Bei der Durchführung können folgende Phänomene beobachtet werden (A und B können einige davon direkt durch den Vergleich der im Flug mit den in Ruhe beschrifteten Uhren ablesen):

- a) Bei 1.: B muss näher an A heranrücken.
- b) Bei 2. und 3.: Es dauert lange, bis das Signal B erreicht, da B dem Schallsignal mit fast Schallgeschwindigkeit davonfliegt. (A schreibt trotzdem **0**, und B schreibt **1** auf sein Zifferblatt.)
- c) Bei 3. und 4.: Der Rückweg erfolgt dagegen sehr schnell: A eilt dem Signal entgegen.
- d) aus a) folgt, dass in Bewegungsrichtung die Längeneinheit verkürzt ist.
- e) aus b) und c) folgt, dass die jetzt gültige *Sekunde* gegenüber der *Sekunde*, die auf dem ruhenden Teppich definiert wurde, gedehnt ist (Flöge der Teppich mit Schallgeschwindigkeit, würde sie ewig dauern).
- f) aus b) und c) folgt auch, dass die Uhren – im Vergleich zu vorher – nicht mehr gleichzeitig gleiche Zeigerstellungen einnehmen. (Man könnte sagen: die Sekunde nach vorn dauert viel länger als die Sekunde nach hinten.)
- g) Die Schallgeschwindigkeit ist wieder 1: Wenn ein Schallsignal von vorne oder von hinten kommt und den ersten Beobachter bei der Zeigerstellung  $n$  passiert, dann wird dieses Signal den zweiten Beobachter bei der Zeigerstellung  $n+1$  passieren. Die Uhren sind so eingerichtet. (Die Schallgeschwindigkeit ist aber auch für alle anderen Richtungen 1.)

Was wir gemacht haben, ist klar. Wir haben auf dem fliegenden Teppich ein Maßsystem errichtet, das gegenüber dem Maßsystem auf dem ruhenden Teppich in Bezug auf die Schallgeschwindigkeit lorentz-transformiert ist. Alle relativistischen Phänomene lassen sich bequem beobachten.

Und jetzt stellen wir eine völlig unsinnige Frage:

Auf dem fliegenden Teppich dauert die Zeiteinheit *Sekunde* wesentlich länger als auf dem ruhenden. Die Zeit der fliegenden Beobachter vergeht also viel langsamer als die der ruhenden. Bedeutet das nun, dass die fliegenden Beobachter A und B langsamer altern als irgendwelche Bewohner der Ebene?

Selbstverständlich *nicht!* – und warum sind wir da so sicher?

Weil das, was wir getan haben, völlig willkürlich ist. Die Zeit durch Schallsignale einzurichten (und dadurch die Schallgeschwindigkeit konstant zu machen), ist eine Vorgabe, um die sich die Natur nicht im geringsten kümmert.

Der Grund für diese Überzeugung ist die Gewissheit:

*Die durch Schall eingerichtete Zeit gilt nur für Schallgeschwindigkeit und daraus abgeleitete Phänomene und für nichts sonst.*

Was wäre ein solches aus Schallgeschwindigkeit abgeleitetes Phänomen? Z.B. die Geschwindigkeiten, mit denen sich Überlagerungen von Schallwellen fortpflanzen. Sie könnten durch das auf der Ebene und auf dem fliegenden Teppich eingerichtete Zeit- und Längensystem, also *relativistisch* beschrieben werden, eben so, wie das für gewöhnlich bei der Beschreibung von Licht der Fall ist. Auch würde für Schallwellen der relativistische Dopplereffekt gelten. Uhren, die irgendwie auf der Basis von Schallreflexion funktionierten, würden die "richtige" – also die "Teppich"-Zeit zeigen, allerdings nur, wenn sie offen wären (d.h. wenn die Luft nicht in ihnen eingeschlossen wäre) und wenn ihre Ausdehnung in der Bewegungsrichtung des Teppichs entsprechend der schallrelativistischen Längenänderung korrigiert wäre.

Die Antwort ist einfach und klar. Sie betrifft das Wesen der Sache: Was Schall ist oder daraus abgeleitet, gehorcht dem auf Schallsignalen basierenden Maßsystem. Für alles andere gilt dieses Maßsystem nicht.

Nun ist alles dafür vorbereitet, die Antwort auf die anfangs gestellte Frage zu geben.



## 2.5. Die Antwort

Soeben war zu sehen: Wenn Zeit- und Längenmaße durch *irgendwelche* Wellen-Signale bestimmt werden, dann gilt dieses Maßsystem nur für diese Wellen selbst und die daraus abgeleiteten Phänomene. Nichts sonst gehorcht diesem Maßsystem.

Nur bei Licht scheint das anders zu sein: Dem auf Lichtsignalen beruhenden Maßsystem gehorchen *alle* Phänomene.

Der Erklärung dieses Faktums steht aber ein scheinbar unüberwindliches Problem im Weg: Es ist einfach kein Grund zu erkennen, warum die Geschwindigkeiten *aller* Prozesse – die ja im dreidimensionalen Raum ablaufen und nicht im Minkowskiraum – in anderen Bezugssystemen in genau der Weise verändert sein sollten, dass sie sich dem durch Licht vorgegebenen Schema fügen. Die Tatsache selbst erscheint ontologisch unmöglich, und der kausale Zusammenhang zwischen Wirklichkeit und Formalismus bleibt ein Geheimnis.

Allerdings nur, solange vorausgesetzt wird dass die Phänomene in derselben Weise von Licht unabhängig sind wie von Schall! Damit ist Folgendes gemeint:

Im Teppichsystem gilt: Die biologischen Prozesse (das Altern der Beobachter) sind *keine Schallgeschwindigkeitsphänomene*. Deshalb gehorchen sie dem durch Schall festgelegten Maßsystem *nicht*.

Im Maßsystem, das durch Lichtsignale definiert ist, gilt dagegen scheinbar: Die Schallausbreitung im Metall, oder wiederum das Altern von Beobachtern, sind *keine Lichtgeschwindigkeitsphänomene*. Deshalb *sollten* sie dem durch Licht festgelegten Maßsystem ebenfalls *nicht* gehorchen, und es ist nicht einzusehen, warum sie es dennoch tun.

Dieser Widerspruch wird durch folgende Annahme beseitigt:

*Es besteht zwischen Licht und Schall überhaupt kein Unterschied bezüglich des Gültigkeitsbereichs des darauf beruhenden Maßsystems: dieses gilt in beiden Fällen nur für die jeweils daraus abgeleiteten Phänomene.*

Für die Tatsache, dass diese Annahme aber im Fall von Licht – anders als bei Schall – keine Einschränkung darstellt (*alles* Existierende fügt sich ja dem Lichtsystem) gibt es dann nur einen einzigen möglichen Grund:

***Die Natur gehorcht den Beziehungen für zeitliche und räumliche Maße, die durch Licht vorgegeben werden, weil es nur Lichtgeschwindigkeit und daraus abgeleitete Phänomene gibt.***

Was ist dann mit *anderen* Geschwindigkeiten? Die Annahme "es gibt nur Lichtgeschwindigkeit" lässt nur eine Möglichkeit zur Erzeugung anderer Geschwindigkeiten offen, nämlich *Interferenz*.

***Alles, was existiert und was sich ereignet, ist ein Interferenzphänomen, ein Muster aus Superpositionen von Wellen mit Lichtgeschwindigkeit.***

Nach diesem Satz (der, sollte er wahr sein – was ich nicht bezweifle – jedenfalls einer der wichtigsten jemals gedachten Sätze wäre) nun einfach in der engen, an naturwissenschaftlichen Arbeiten orientierten Art der Darstellung – diesem zwar unvermeidlichen, aber emotional so flachen und faden Einerlei von Voraussetzung, Behauptung und Beweis – zu verbleiben, als wäre nichts geschehen, fände ich völlig unangemessen. Deshalb frage ich:

*Ist das nicht eine phantastische Hypothese von geradezu wunderbarer Erklärungsmacht?*

Sie ist nicht nur notwendig und hinreichend für die Erklärung der Relativität, sondern sie gewährt auch, wie versprochen, einen ersten Blick auf den *glitzernden Mechanismus der Welt in all seiner Schönheit und Einfachheit*. Allerdings ist es zunächst ein Blick aus großer Distanz, und um den Mechanismus klar und deutlich sehen zu können – aber auch, um vor der physikalischen Inquisition überhaupt zu rechtfertigen, was hier von Ferne, vergleichbar den Jupitermonden in Galileis einfachem Teleskop, gesehen wird – müssen noch viele Schritte zurückgelegt werden.<sup>28</sup>

---

<sup>28</sup> Die Beziehung zwischen meiner Hypothese und dem System gegenwärtiger Überzeugungen ist, meine ich, von genau derselben Art wie die Beziehung zwischen der Hypothese Aristarchs (dass die Erde sich dreht und um die Sonne bewegt) und dem damaligen Weltbild. *Eigentlich* wird dadurch alles ungeheuer einfach. Doch scheinbar sicheres Wissen stellt sich dieser Einfachheit in den Weg.

Sind aber die wissenschaftlich begründeten Einwände, die gegen meine Hypothese sprechen, nicht von ganz anderer Qualität als die damals gegen Aristarch geäußerten? Kann man wirklich ein Argument von der Art, dass – wenn die Erde sich bewegte – Stürme auftreten müssten, mit dem Argument vergleichen, dass *Teilchen* ein unverzichtbarer Bestandteil der physikalischen Naturbeschreibung seien? Aber ja! – Und ich sehe mich sogar in einer wesentlich besseren Ausgangsposition als Aristarch. Er konnte das Sturm-Argument nicht entkräften, weil der Begriff der gleichförmigen Bewegung noch nicht entwickelt war, ich aber kann zeigen, dass – zumindest in etlichen Fällen von grundlegender Bedeutung – die Teilchenvorstellung nicht nur entbehrlich ist, sondern dass der Verzicht auf dieses Konzept sogar die Voraussetzung für die Beseitigung interpretativer Unklarheiten und Paradoxien ist.

Manchem mag die Antwort allerdings nicht wunderbar, sondern verrückt erscheinen. Ich glaube, das liegt daran, dass wir durch ein doppeltes Vorurteil – bezüglich des Seins und bezüglich seiner physikalischen Beschreibung – in unserem Verständnis behindert sind. Das Sein ist uns in unserer Erfahrung *substanziell* gegeben, und die Physik ist in diesem Erfahrungsbereich entstanden und hat ihre Herkunft nie wirklich transzendiert – jedenfalls nicht, was die *Interpretationen* physikalischer Theorien betrifft.

Gerade eben erschien es selbstverständlich, dass eine Zeit, die durch Schall bestimmt wird, nur für Schallgeschwindigkeitsphänomene gilt. Im Teppichsystem stellten wir die Frage: "Altern die fliegenden Beobachter langsamer als die ruhenden?" und nannten diese Frage zu Recht *unsinnig*.

Wäre nun aber die Frage, ob im Fall der durch Licht definierten Zeit bewegte Beobachter langsamer altern als ruhende, nicht genauso unsinnig – *es sei denn*, auch das Altern wäre *letztlich* ein Lichtgeschwindigkeitsphänomen, eine Veränderung von Mustern, die aus Wellen geformt sind?

Warum sollte nicht für die Lichtzeit dasselbe angenommen werden wie für die Schallzeit? Weil daraus eben gefolgert werden müsste, dass es nur Lichtgeschwindigkeit und daraus abgeleitete Phänomene gibt, und weil es scheint, als könnten die Objekte unserer Erfahrung nicht auf solche Phänomene zurückgeführt werden. Der folgende einfache Zusammenhang lässt allerdings vermuten, dass dies doch möglich ist.

## ***2.6. Der kurze Weg zur Materie***

In einem Universum, in dem es nichts gibt außer Lichtgeschwindigkeit, müssen *Objekte* Wellenüberlagerungen sein.

Da sich (bei geeigneter Wahl der Koordinaten) in der Speziellen Relativitätstheorie beim Übergang von einem Bezugssystem in ein anderes nur die Maße zweier Dimensionen ändern – die der Zeitdimension und die der Raumdimension parallel zur Richtung der Relativbewegung der beiden Bezugssysteme – ist für die nun folgenden Analysen relativistischer Sachverhalte ein einfaches Modell völlig ausreichend ist, in dem Bewegung nur entlang der x-Achse stattfindet.<sup>29</sup>

Es hat den Anschein, als läge die Hypothese "*Es gibt nur Lichtgeschwindigkeit*" weit außerhalb, in einer geradezu absurden Distanz zur "normalen" Physik. Deshalb soll zunächst gezeigt werden, dass

---

<sup>29</sup> Dieses Modell dient im Folgenden dem Aufbau der relativistischen Raum-Zeit-Struktur.

das nicht der Fall ist, sondern dass im Gegenteil sogar ein sehr kurzer Weg zu den gewohnten physikalischen Modellbildungen zurückführt.

Sei S1 ein ruhendes Bezugssystem, S2 ein relativ zu S1 mit der Geschwindigkeit  $v$  bewegtes System. Ein bezüglich S2 ruhendes Objekt wird durch eine Wellenüberlagerung in Form einer *stehenden Welle* repräsentiert:

$$y = \sin(2\pi f t) \cos(2\pi x \frac{1}{\lambda}) \quad (f \lambda = c)$$

Transformation ins Ruhesystem S1 ergibt dann die Wellenüberlagerung

$$y = \sin 2\pi \left( t f \frac{1}{k} - x f \frac{v}{c^2} \frac{1}{k} \right) \cos 2\pi \left( t v \frac{1}{\lambda k} - x \frac{1}{\lambda k} \right) \quad \left( k = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right)$$

Die *erste* der beiden Wellen ist eine *de Broglie'sche Materiewelle*.

Sie hat die Frequenz  $f \frac{1}{k}$ , die Wellenlänge  $\frac{1}{f} \frac{c^2}{v} k = \lambda \frac{c}{v} k$  ( $\lambda$  Compton-Wellenlänge)

und die Phasengeschwindigkeit  $u = \frac{c^2}{v}$ .

Die *zweite* Welle hat die Geschwindigkeit  $v$  – das ist die Geschwindigkeit des Teilchens, das mit der Materiewelle verknüpft ist.

Es gilt also Folgendes: ***Eine stehende Welle in einem bewegten System, die durch zwei mit Lichtgeschwindigkeit laufende Wellen erzeugt wird, ist – vom Ruhesystem aus betrachtet – die Überlagerung einer Materiewelle und einer Welle mit der Geschwindigkeit der Gruppe, d.h. des assoziierten Teilchens.***

Mit anderen Worten: Gerade das substanzielle Sein, die Materie – also genau das, was zu der Behauptung "Es gibt nur Lichtgeschwindigkeit" in krassem Widerspruch zu stehen scheint, kann aus genau dieser Annahme auf kürzestem Weg rekonstruiert werden; – jedenfalls in der de Broglie'schen Darstellung, was aber natürlich auch das Maximum dessen ist, was mit unserem einfachen, eindimensionalen Modell erreichbar ist.

## 2.7. Relativitätstheorie ohne Relativität

Das Ziel dieses Abschnitts ist die explizite Bestimmung der räumlichen und zeitlichen Verhältnisse der Erscheinungen, und zwar

1. ohne die Relativität und die Gleichheit der Lichtgeschwindigkeit für alle gleichförmig bewegten Beobachter zu postulieren;
2. in einer Weise, die diese Verhältnisse unmittelbar einsichtig macht;
3. auf die Voraussetzung gestützt, dass *alles*, was existiert – jedes Objekt und jeder Prozess – *letztlich* eine Superposition von Wellen mit Lichtgeschwindigkeit darstellt.

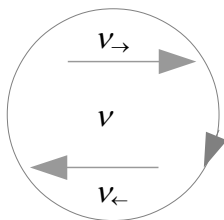
Ruhende Objekte werden durch stehende Wellen repräsentiert, bewegte Objekte durch Superpositionen von Wellen mit verschiedenen Frequenzen. Frequenzen und Wellenlängen der gegenlaufenden Wellen werden mit Richtungspfeilen ( $\rightarrow$  oder  $\leftarrow$ ) indiziert. Alle Wellen haben Lichtgeschwindigkeit.

Nennen wir S das Ruhesystem.  $\Psi'$  sei eine Superposition von zwei entgegengesetzt laufenden Wellen mit den Frequenzen  $\nu_{\rightarrow}'$  und  $\nu_{\leftarrow}'$ . Gesucht ist die Geschwindigkeit  $v$  des relativ zu S bewegten Systems S', in dem  $\Psi'$  als stehende Welle mit einer Frequenz  $\nu_T$  erscheint.<sup>30</sup>

Die Verhältnisse sind dann wie beim gewöhnlichen Dopplereffekt, wo ein mit  $v$  bewegter Beobachter *dieselbe* Frequenz bei entgegengerichteten und nacheilenden Wellen misst.

---

<sup>30</sup> Die Vorstellung von Wellenüberlagerungen ist aber nicht nur auf stehende Wellen anwendbar. Sie lässt sich z.B. auch auf den Fall übertragen, dass sich die Ausbreitungsrichtung der Wellen so stark krümmt, dass eine rotierende Wellenstruktur entsteht:



$\nu$  ist die Frequenz der rotierenden Wellenstruktur. Wenn diese Struktur relativ zum Beobachter ruht, dann ist  $\nu_{\rightarrow} = \nu_{\leftarrow} = \nu$ . Falls sie sich in der Ebene normal zur Rotationsachse bewegt, dann wird  $\nu_{\rightarrow}$  zu  $\nu_{\rightarrow}'$ ,  $\nu_{\leftarrow}$  zu  $\nu_{\leftarrow}'$ ,  $\nu$  zu  $\nu_T$ , und es gelten die nachfolgenden Ausführungen.

(Es ist klar, dass dieses Bild nicht realistisch verstanden werden will; das Einzige, was davon benötigt wird, ist die Existenz der beiden entgegengesetzten Wellenrichtungen.)

Daher gilt:  $v_{\rightarrow}' (1 - v/c) = v_{\leftarrow}' (1 + v/c) = v_T$  (1)

woraus sich ergibt:  $v_{\leftarrow}' / v_{\rightarrow}' = (c - v) / (c + v)$  (2)

und  $v / c = (v_{\rightarrow}' - v_{\leftarrow}') / (v_{\rightarrow}' + v_{\leftarrow}')$  (3)

sowie  $v / c = (\lambda_{\leftarrow}' - \lambda_{\rightarrow}') / (\lambda_{\leftarrow}' + \lambda_{\rightarrow}')$  (4)

Aus (3) folgt, dass die Geschwindigkeit  $v$  des durch die Superposition repräsentierten Objekts von den Frequenzen der gegenlaufenden Wellen abhängt. Eine Änderung der Geschwindigkeit ist also gleichbedeutend mit einer Änderung dieser Frequenzen.

Nach Voraussetzung ist  $\Psi'$  in Bezug auf  $S'$  eine stehende Welle mit Frequenz  $v_T$ . Nehmen wir nun an,  $\Psi'$  sei durch *Beschleunigung* entlang einer Strecke AB aus einer in Bezug auf  $S$  stehenden Welle  $\Psi$  mit der Frequenz  $v$  hervorgegangen. (Ein ruhendes Objekt wurde auf die Geschwindigkeit  $v$  beschleunigt.) Welche Frequenzänderungen der gegenlaufenden Wellen entsprechen dieser Beschleunigung?

Für die Frequenzen der nach rechts laufenden Wellen soll im Fall einer Geschwindigkeitsänderung ganz allgemein gelten

$$\forall v_{\rightarrow}: v_{\rightarrow} \mapsto v_{\rightarrow}' = f(v_{\rightarrow}) \quad (5)$$

und – da jede Welle, die die Strecke AB durchlaufen hat, nach dem umgekehrten Durchlaufen dieser Strecke wieder die ursprüngliche Frequenz haben soll – für die Frequenzen der nach links laufenden Wellen:

$$\forall v_{\leftarrow}: v_{\leftarrow} \mapsto v_{\leftarrow}' = f^{-1}(v_{\leftarrow}) \quad (6)$$

Die Geschwindigkeitsänderung soll frequenzunabhängig sein. Durch Einsetzen von (5) und (6) in (3)

$$v / c = (f(v) - f^{-1}(v)) / (f(v) + f^{-1}(v)) \quad (\text{Man beachte: } v_{\rightarrow} = v_{\leftarrow} = v) \quad (7)$$

ist leicht zu erkennen, dass diese Forderung am einfachsten dadurch zu erfüllen ist, dass

$$v_{\rightarrow}' = f(v_{\rightarrow}) = q v_{\rightarrow} \quad \text{und} \quad v_{\leftarrow}' = f^{-1}(v_{\leftarrow}) = q^{-1} v_{\leftarrow} \quad (q \in \mathbb{R}, q > 0) \quad (8)$$

gesetzt wird. Die Gleichung für die Geschwindigkeit der stehenden Welle lautet dann:

$$v/c = (q v - q^{-1} v) / (q v + q^{-1} v)$$

oder – nach dem Herauskürzen der Frequenz

$$v/c = (q - q^{-1}) / (q + q^{-1})$$

$$v/c = (q^2 - 1) / (q^2 + 1) \quad (9)$$

Es gilt nach (1) und (8):

$$v_T = v q (1 - v/c) = v q^{-1} (1 + v/c)$$

also  $v_T^2 = v^2 (1 - v^2/c^2)$

und somit  $v_T = v (1 - v^2/c^2)^{1/2}$  (10)

Die Frequenz von  $\Psi'$  hat sich also gegenüber der Frequenz von  $\Psi$  um den Faktor  $(1 - v^2/c^2)^{1/2}$  vermindert.

In diesem Modell sind Zeiten und Längen durch die Frequenzen und Wellenlängen stehender Wellen *definiert*. Deshalb bedeutet (10):

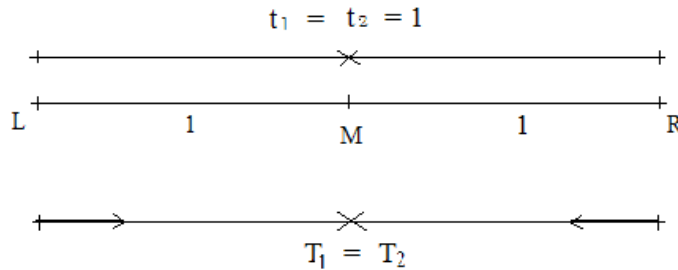
*In einem relativ zu S mit der Geschwindigkeit v bewegten System S' vergeht die Zeit langsamer, und zwar um den Faktor*

$$k = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (11)$$

Nun zur grundlegenden Frage der speziellen Relativität, die im Abschnitt 2.3. vorgestellt wurde – der Frage also, warum alle Signale (oder Objekte, oder Prozesse), die bei einem ruhenden Beobachter *gleichzeitig* eintreffen, einen bewegten Beobachter stets *mit der gleichen Zeitdifferenz* erreichen wie Lichtsignale, die zur selben Zeit und an denselben Orten ausgesendet wurden.

Da hier weder die Gültigkeit des Relativitätsprinzips noch die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit vorausgesetzt wird, kann die Gleichheit dieser Zeitdifferenzen nicht *postuliert*, sondern muss erst *gezeigt* werden.

Wir betrachten zunächst das ruhende System S. M sei der Mittelpunkt der Strecke LR.



(S4)

Die oberen Pfeile bezeichnen Lichtstrahlen.  $t_1$  bzw.  $t_2$  sind die Zeitpunkte des Eintreffens der Lichtstrahlen von R bzw. L bei M ( $t_1 = t_2$ ).

Die unteren Pfeile stellen Objekte dar, die sich von L und R auf M zu mit gleich großer Geschwindigkeit bewegen.  $T_1$  und  $T_2$  bezeichnen die Zeitpunkte ihres Eintreffens ( $T_1 = T_2$ ). Die Entfernung zwischen M und R sowie zwischen M und L ist 1.

Das Objekt in L wird durch eine Überlagerung von Wellen mit den Frequenzen  $v_{\rightarrow} = a$  und  $v_{\leftarrow} = b$  repräsentiert, das in R daher durch Wellen mit den Frequenzen mit  $v_{\rightarrow} = b$ ,  $v_{\leftarrow} = a$  ( $a > b$ ). In M befindet sich ein ruhendes Objekt mit  $v_{\rightarrow} = v_{\leftarrow} = m$ .

Die Geschwindigkeit des Objekts bei L sei  $v_L$ , die des Objekts bei R sei  $v_R$  ( $v_L = -v_R$ ) und die des Objekts bei M sei  $v_M$  ( $v_M = 0$ ).

Wir gehen nun auf ein gleichförmig mit der Geschwindigkeit  $v_M'$  in Richtung  $\rightarrow$  bewegtes System S' über, das folgendermaßen definiert ist: Zur selben Zeit  $t = 0$  und an denselben Orten – die wir jetzt aber als L', M' und R' bezeichnen – befinden sich *dieselben* Objekte wie zuvor in S, aber *nach einer Beschleunigung*, d.h. transformiert gemäß (8). Ihre Frequenzen lassen sich also dadurch bestimmen,

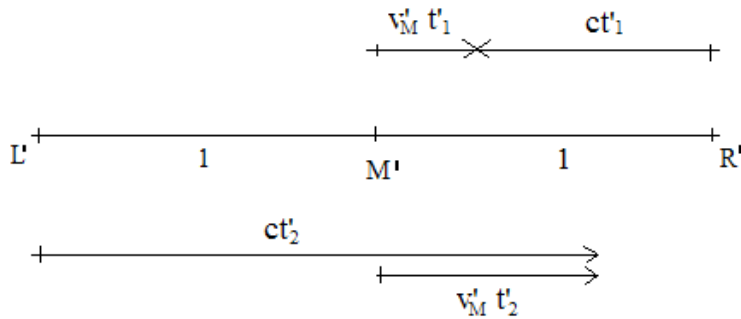


das die Frequenzen der entsprechenden Objekte von S mit einer reellen Zahl  $q > 0$  multipliziert bzw. durch diese Zahl dividiert werden.

*Mit dieser Voraussetzung soll nun die Gleichheit der Zeitdifferenzen des Auftreffens der Lichtsignale und der auf  $M'$  zu bewegten Objekte gezeigt werden.*

Zunächst berechnen wir die Zeitdifferenz, mit der die Lichtsignale, die gleichzeitig (bezogen auf das Ruhesystem) von  $L'$  und  $R'$  ausgesendet werden, in  $M'$  eintreffen.

Aus der nachstehenden Skizze



(S5)

lassen sich folgende Beziehungen ablesen:

$$v_M' t_1' + c t_1' = 1, \quad -v_M' t_2' + c t_2' = 1$$

Nach (9) gilt

$$v_M' = c(q^2 - 1)/(q^2 + 1)$$

Demnach ist

$$(c(q^2 - 1)/(q^2 + 1)) t_1' + c t_1' = 1, \quad t_1' = (1/c) ((q^2 + 1)/(2q^2))$$

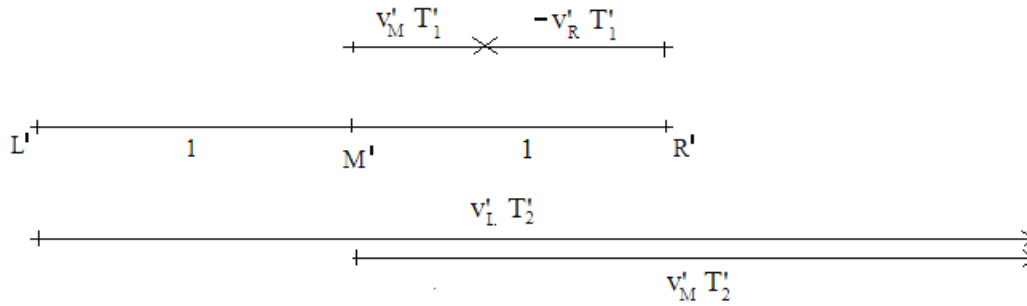
$$-(c(q^2 - 1)/(q^2 + 1)) t_2' + c t_2' = 1, \quad t_2' = (1/c) ((q^2 + 1)/2)$$

Daraus folgt

$$t_2' - t_1' = (1/c) \left( (q^4 - 1)/(2q^2) \right). \quad (12)$$

Das ist also die Zeitdifferenz, mit der die *Lichtstrahlen* in  $M'$  eintreffen.

Nun zur Differenz der Zeiten, die die *Objekte* von  $L'$  und  $R'$  bis  $M'$  benötigen.



(S6)

$$-v_R' T_1' + v_M' T_1' = 1, \quad v_L' T_2' - v_M' T_2' = 1$$

Nach (3) und (8) gilt

$$v_L'/c = (a q - b(1/q)) / (a q + b(1/q)) = (a q^2 - b) / (a q^2 + b)$$

$$v_R'/c = (b q - a(1/q)) / (b q + a(1/q)) = (b q^2 - a) / (b q^2 + a)$$

Wie zuvor ist  $v_M' = c(q^2 - 1)/(q^2 + 1)$

Die kurze Rechnung ergibt:

$$T_2' - T_1' = (1/c) \left( (q^4 - 1)/(2q^2) \right). \quad (13)$$

Der Vergleich mit (12) zeigt:

$$T_2' - T_1' = t_2' - t_1'.$$

*Die Zeitdifferenz des Eintreffens der bewegten Objekte bei M' ist gleich der des Eintreffens der Lichtsignale.*

Damit ist gezeigt:

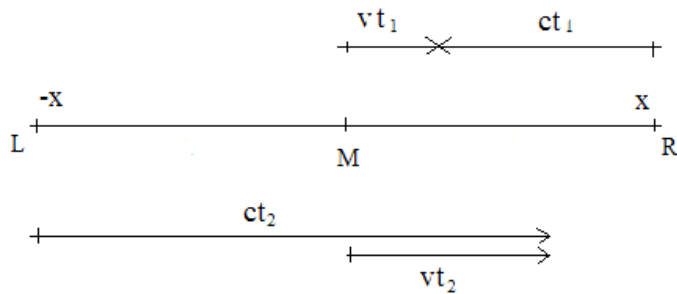
Wenn ein ruhendes System S durch Transformation aller Objekte gemäß (8) in ein gleichförmig bewegtes System S' übergeht, dann erreichen alle *mit Lichtgeschwindigkeit oder mit beliebigen anderen Geschwindigkeiten* bewegten symmetrischen Signale (Prozesse, Objekte), die in S beim Punkt M gleichzeitig eintreffen, in S' den Punkt M' mit *derselben* Zeitdifferenz  $\Delta t$ . Punkte, die *vor* M' liegen, müssen also für einen Beobachter in M' in die Vergangenheit versetzt werden, und analog Punkte *hinter* M in die Zukunft.

## ***2.8. Ableitung der Lorentz-Transformation***

Wenn *jetzt* die Zeit- und Längenverhältnisse durch Licht (auf der Basis von  $\Delta t$ ) bestimmt werden, dann ist dies *nicht* wegen des Relativitätsprinzips und wegen des Prinzips der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit für alle gleichförmig bewegten Beobachter gerechtfertigt, sondern deshalb, weil durch das eben abgeleitete Resultat schon bekannt ist, dass die durch Licht bestimmten Verhältnisse für *alle* physikalischen Vorgänge gelten.

Der Einfachheit halber lassen wir im Folgenden die Striche weg, durch die die Größen des bewegten Systems gekennzeichnet waren, und bezeichnen  $v_M'$  mit  $v$ .

Das in der Skizze dargestellte Szenario ist nun wieder das von Einstein entworfene. Von L und R aus werden, bezogen auf einen in M ruhenden Beobachter gleichzeitig, Lichtsignale ausgesendet.



(S7)

Die Skizze zeigt, dass

$$t_1 = x/(v + c) \quad t_2 = x/(-v + c)$$

$$t_2 - t_1 = 2vx/(c^2 - v^2) = 2(vx/c^2)/(1 - v^2/c^2)$$

Wenn also, bezogen auf das Ruhesystem, das Signal vom Punkt R zur Zeit  $t_R = 0$  ausgesendet wird, dann muss für den bewegten Beobachter dieser Zeitpunkt um

$$(vx/c^2) / (1 - v^2/c^2)$$

*in die Vergangenheit* verschoben werden: das Signal erreicht ihn früher als den ruhenden Beobachter. (Die Hälfte der Zeitdifferenz deshalb, weil der Koordinatenursprung beider Systeme in der Mitte zwischen L und R liegt und die Abhängigkeit der Zeitdifferenz von x linear ist.)

Für den Zeitpunkt  $t_R^\circ$  des Aussendens des Signals von R (bezogen auf den bewegten Beobachter) gilt somit:

$$t_R^\circ = -(vx/c^2)/(1 - v^2/c^2)$$

Nehmen wir nun an, das Signal werde nicht zur Zeit 0, sondern zu einer beliebigen Zeit t von jenem Punkt gesendet, der denselben Abstand x vom ruhenden Beobachter hat. Dann hat sich für den

bewegten Beobachter die x-Koordinate dieses Punkts um  $vt$  verringert und es folgt (durch Einsetzen für  $x$  und Addition von  $t$ )

$$\begin{aligned}
 t^\circ &= t - (v(x - vt)/c^2)/(1 - v^2/c^2) \\
 t^\circ &= (t - v^2t/c^2 - vx/c^2 + v^2t/c^2)/(1 - v^2/c^2) \\
 t^\circ &= (t - vx/c^2)/(1 - v^2/c^2)
 \end{aligned} \tag{14}$$

Die Koordinate  $x^\circ$ , die zu dieser veränderten Zeit  $t^\circ$  gehört, ergibt sich aus

$$\begin{aligned}
 x^\circ &= x - vt^\circ \\
 x^\circ &= x - v(t - vx/c^2)/(1 - v^2/c^2) \\
 x^\circ &= (x - xv^2/c^2 - vt + xv^2/c^2)/(1 - v^2/c^2) \\
 x^\circ &= (x - vt)/(1 - v^2/c^2)
 \end{aligned} \tag{15}$$

Bisher wurde lediglich die Versetzung der Zeit entlang der x-Achse durchgeführt. Jetzt berücksichtigen wir das gemäß (11) um den Faktor  $k$  verlangsamte Vergehen der Zeit im bewegten System.

Wir setzen also

$$t' = t^\circ \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Aus Gleichung (14) folgt dann:

$$\begin{aligned}
 t' &= ((t - vx/c^2)/(1 - v^2/c^2)) \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \\
 t' &= (t - vx/c^2) / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}
 \end{aligned} \tag{16}$$

Da Längen und Zeiten durch  $x^\circ = ct^\circ$  verbunden sind, muss auch gelten:

$$x' = x^\circ \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$x' = (x - vt) / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (17)$$

(16) und (17) sind zwei von den vier Gleichungen der Lorentz-Transformation. Über die beiden anderen muss nichts weiter gesagt werden.

## 2.9. Ergänzungen

1. Ausgangspunkt unserer Überlegungen war die Zeitdifferenz  $\Delta t$ . Wir hätten aber auch von der Formel für die Addition von Geschwindigkeiten ausgehen können, die hier nach (9) folgende Form annimmt:

$$\text{Sei } v = c(q_1^2 - 1) / (q_1^2 + 1), \quad w = c(q_2^2 - 1) / (q_2^2 + 1)$$

Dann kann durch eine einfache Rechnung gezeigt werden, dass für die aus  $v$  und  $w$  zusammengesetzte Geschwindigkeit  $W$  gilt:

$$W = c \frac{q_1^2 q_2^2 - 1}{q_1^2 q_2^2 + 1} = \frac{v + w}{1 + vw/c^2}$$

( $q$  entspricht übrigens dem Faktor des relativistischen Dopplereffekts:

$$\text{aus Gleichung (9) folgt } q = \sqrt{\frac{1 + v/c}{1 - v/c}})$$

2. Ich habe hier die spezielle Relativität aus der Annahme abgeleitet, dass es nur Lichtgeschwindigkeit gibt.

Der Gedankengang, durch den man zur Erkenntnis gelangt, dass es nur eine einzige Geschwindigkeit geben kann, ist ohne jede physikalische Voraussetzung durchgeführt worden. Die spezielle Relativität erscheint somit als Ergebnis einer Reihe ontologischer Schlussfolgerungen. Hier eine kurze Wiederholung:

Der erste Schritt besteht in der Einsicht, dass die Zusammenhänge zwischen den an verschiedenen Orten geltenden Zeiten nicht aufgrund einer hypothetischen Wesenheit bestehen, die *universelle Zeit* genannt werden könnte, sondern dass sie durch physikalische Prozesse vermittelt werden müssen: Wenn ich mich *jetzt hier* befinde und wissen will, *welche Zeit dort* ist, dann kann ich das nur durch Signale bzw. Prozesse herausfinden.

Die auf diese Weise festgelegten Zeiten ändern sich mit dem Bewegungszustand eines Systems: Die zur Ermittlung der Zeiten verwendeten Signale erreichen einen Beobachter A nicht zur selben Zeit wie einen relativ zu A bewegten Beobachter B.

An die Zeiten, die durch Signale bzw. Prozesse ermittelt werden, ist die *Forderung der Eindeutigkeit* zu richten: gleichgültig, welche Prozesse zur Zeitbestimmung verwendet werden, sie müssen für jeden Beobachter (in seinem Bezugssystem) in jedem Fall zu denselben Ergebnissen führen.

Damit sind wir zu dem Punkt gelangt, an dem wiederum die Überlegungen der Abschnitte 2.3, 2.4 und 2.5 greifen: Die Forderung der Eindeutigkeit kann ausschließlich dadurch erfüllt werden, dass es *nur eine einzige Geschwindigkeit* gibt. Das bedeutet: *Die Wirklichkeit ist aus fundamentalen Prozessen gebildet, die sich alle mit derselben Geschwindigkeit im Raum ausbreiten.* (Es ist auch möglich, dass nur ein einziger solcher Prozess existiert.)

Aus den Überlegungen der Abschnitte 2.6 und 2.7 geht hervor, dass diese fundamentalen Prozesse *wellenartig* sein müssen; Alle anderen Geschwindigkeiten werden also durch Wellenüberlagerungen erzeugt.

Daraus folgt, dass alles, was existiert, *alle* Objekte und Wechselwirkungen, letztlich als Superposition der fundamentalen wellenartigen Prozesse aufgefasst werden muss. Die Grenzgeschwindigkeit dieser Superpositionen ist dann natürlich die Geschwindigkeit der Wellen selbst.<sup>31</sup>

---

<sup>31</sup> Im zweiten Teil werden dieselben Aussagen aus völlig anderen Voraussetzungen abermals abgeleitet.

Wie in 2.7 gezeigt, ist in einer solchermaßen bestimmten Wirklichkeit die Forderung nach Eindeutigkeit der Zeiten erfüllt, die in verschiedenen Bezugssystemen gelten. Gemäß 2.8 folgt schließlich, dass die Transformation zwischen relativ zueinander bewegten Systemen die Lorentz-Transformation ist.

## 2.10. Was wurde erreicht?

1. Die relativistischen Raum- und Zeitphänomene sind vollkommen einsichtig.

Die Annahme: "*Alles, was existiert und was sich ereignet, ist eine Superposition von Wellen mit Lichtgeschwindigkeit*" macht es möglich, von der Wirklichkeit (Dynamik im dreidimensionalen Raum) her kommend die relativistischen Raum-Zeit-Verhältnisse zu *konstruieren* und dadurch zu verstehen.

Damit erübrigt sich eine *Begründung* des Relativitätsprinzips, was deshalb wichtig ist, weil dieses im Rahmen der üblichen Modellvorstellungen gar nicht begründet werden *kann*. Folgendermaßen:

Wenn es keine Bewegung gegen den Raum gibt, sondern nur Bewegung relativ zu Objekten, dann muss das für *jede* – also auch für beschleunigte Bewegung gelten: gegen den Raum kann auch keine Beschleunigung behauptet werden. Es gibt also keinen Grund für die Auszeichnung gleichförmig bewegter Bezugssysteme.

Die Allgemeine Relativitätstheorie löst dieses Problem nicht. Eine Verallgemeinerung der SRT stellt sie nur formal dar, und zwar hinsichtlich berechtigter Koordinatensysteme, aber nicht hinsichtlich der Relativität der Bewegung: diese wird durch die ART *nicht* auf beschleunigte Systeme erweitert. Tatsache ist, dass als Folge einer Beschleunigung *Trägheitskräfte* auftreten. Natürlich kann man diese Trägheitskräfte lokal als Folge eines zeitlich veränderlichen Gravitationsfeldes interpretieren – aber das ist ein rein formaler Akt. Hat man dadurch die Relativität beschleunigter Bewegung gezeigt? Keineswegs! – da *ist* eben kein Gravitationsfeld, und die Frage bleibt offen, *worauf* die beschleunigte Bewegung zu beziehen sei und warum die Natur gleichförmige Bewegung auszeichnet.

Es könnte scheinen, als wäre der Vorschlag Machs ein Ausweg, dass Bewegung relativ zu den Massen im Universum definiert werden müsse. Dann könnte auf die Behauptung der Beschleunigung gegen den Raum verzichtet werden. Wenn allerdings die Masse als Bezugspunkt für beschleunigte Bewegung dienen soll, dann muss nicht nur die Bewegung selbst, sondern auch das damit verbundene Phänomen, d.h. die *Trägheit*, auf die umgebende Masse bezogen werden. Aber auch in der ART ist die gesamte Masse, die irgendetwas – relativ zu dieser Masse beschleunigtes, z.B. rotierendes – Objekt



umgibt, nicht die Quelle der infolge der Beschleunigung auftretenden Trägheitskraft, sondern sie liefert nur einen kleinen Beitrag dazu.<sup>32</sup>

Es steht also in der Frage nach der Bewegungsrelativität, entgegen allgemeiner Überzeugung, zwischen Einstein und Newton 1:1 *unentschieden*: gleichförmige Bewegung ist *relativ*, und beschleunigte Bewegung ist *absolut*. Das ist aber kein mögliches Resultat, sondern ein Widerspruch im Konzept der Bewegungsrelativität, und das bedeutet, dass das spezielle Relativitätsprinzip im Rahmen der üblichen Modellvorstellungen nicht konsistent begründet werden kann.

Tatsache ist jedoch, dass das Relativitätsprinzip *gilt*. Aber so klar und einfach der Gedanke auch scheinen mag, dass es keine Bewegung gegen den Raum geben kann und *deshalb* Bewegung relativ sein muss – das Relativitätsprinzip lässt sich dennoch aus diesem Gedanken nicht ableiten.

Bei unserer Zugangsweise verschwindet dieses Problem. Das Relativitätsprinzip bildet hier nicht den notwendigen Ausgangspunkt der SRT. An seine Stelle tritt die Grundannahme "*Es gibt nur Lichtgeschwindigkeit*", aus der sich der direkte Aufbau der relativistischen Raum-Zeit-Verhältnisse ergibt, wie er im vorigen Abschnitt durchgeführt wurde. Das Problem der Bewegung gegenüber dem Raum tritt gar nicht auf, weil Bewegung als Interferenzphänomen *definiert* ist und sich als solches *von selbst* relativistisch verhält. Daraus *folgt* das Relativitätsprinzip.

2. Aus der hier vorgeschlagenen Interpretation der SRT ergibt sich eine maximale Erweiterung des naturgesetzlichen Status der Lichtgeschwindigkeit und der Bedeutung der Konstanten *c*: "*Es gibt nur Lichtgeschwindigkeit*" kann in dieser Hinsicht nicht überboten werden.

3. Wenn es nur Lichtgeschwindigkeit gibt, dann sind Teilchen Wellenüberlagerungen. Daraus folgt unmittelbar, dass die Größen Energie und Impuls durch Frequenz und Wellenlänge definiert werden müssen, und dass Beschleunigung Frequenzänderung ist. Die Ableitung der de Broglie'schen Materiewellen in 2.6. zeigt außerdem, dass zur Definition des Impulses eine Phasenwellenlänge erforderlich ist.

4. Formal ist die Spezielle Relativitätstheorie zunächst nichts anderes als das System der Transformationsgleichungen. Einstein übernahm es von Lorentz. Der einzige – aber bedeutende! – Unterschied bestand in der Interpretation: die von Lorentz – als mechanische Deformation des Äthers

---

<sup>32</sup> Siehe z.B. H. Thirring: *Über die Wirkung rotierender ferner Massen in der Einsteinschen Gravitationstheorie*, Phys. Zeitschr. 19, 33 (1918).

– war *ad hoc*, die von Einstein ergab sich dagegen aus allgemein gültigen Prinzipien. Nur durch Einsteins Interpretation konnte die Lorentz-Transformation zur Grundlage der neuen Physik werden.

Nun wird die Transformation abermals neu interpretiert, und zwar so, dass die bisher existierende rein formale Sichtweise durch das Verständnis des Begründungszusammenhangs vertieft wird.

An der Transformation selbst und ihrer Gültigkeit für alle physikalischen Phänomene ändert sich nichts. Aber durch dieses Verständnis kommt erstmals die fundamentale Ebene der Wirklichkeit in den Blick, und es muss wohl nicht eigens hervorgehoben werden, dass die Folgen mindestens so gravierend sind wie beim ersten Wechsel der Interpretation: mit einem Schlag ändert sich die begriffliche Basis der Physik, und unsere Vorstellung von der Wirklichkeit wird radikal umgestaltet.<sup>33</sup>

## ***2.11. Naturphilosophische Anmerkungen***

### **Die Problematik des Verhältnisses der Konzepte *Existenz* und *Zeit* in der Physik**

Jedes Konzept der Wirklichkeit, dessen konstituierende Elemente *Raum* und *materielle Objekte* sind – d.h. *im Raum* existierende elementare Entitäten –, unterwirft unser Verständnis der *Zeit* einer prinzipiellen Beschränkung:

Der Begriff des materiellen Objekts ist hier *zeitlos*. Daher ist es – in einem Konzept dieser Art – auch der Begriff der *Existenz*.

Der Vorstellung eines materiellen Körpers im Raum *fehlt* Zeit. Sie wird als *zusätzliches*, diesem Bild an sich fremdes Element hinzugefügt. Es gibt Existenz, *und* es gibt Zeit.

Bei Newton ist das explizit der Fall: die *Zeit* fließt vermöge ihres "Wesens", unaufhaltsam und geheimnisvoll.

Diese Vorstellung wird zwar durch Quantentheorie und Relativitätstheorie korrigiert – durch die Quantentheorie, weil infolge der Tatsache, dass die Energie nicht Null werden kann, ein vollständig statisches Szenario unmöglich ist, und durch die Relativitätstheorie, weil Raum und *Zeit* formal zur Raumzeit vereinigt werden – aber dennoch gibt es immer noch die Vorstellung von *etwas*, *was* sich

---

<sup>33</sup> An dieser Stelle ist dazu nicht mehr zu sagen. Alle Ausführungen des ersten Teils weisen auf diese neue Sicht der Wirklichkeit hin. Eine deutlichere Gestalt wird sie aber erst im zweiten Teil der Arbeit annehmen.

bewegt. Und dieses "etwas" ist *als bloß Existierendes* zeitfrei; in ihm bleibt der Begriff der *zeitlosen materiellen Existenz* erhalten. (Bewegung ist nur ein Akzidens des Existierenden.)

Dem Begriff der Existenz fehlt also die Beziehung zur Zeit; Diese konzeptuelle Unverbundenheit von Zeit und Existenz ist ein im Rahmen der Standardphysik unbehebbarer Mangel.

Im hier vorgeschlagenen Modell ist die Wirklichkeit *dynamische Form*. Eine Welle ist – anders als ein Teilchen – ohne Bewegung *undenkbar*. Es gibt also keine Wirklichkeit ohne Bewegung und somit auch nicht ohne Zeit. Zeit ist daher kein *zusätzliches*, sondern ein *notwendiges* Element des Konzepts "Existenz". Ihr Fließen ist nicht aus ihrem "Wesen" bedingt (und deshalb geheimnisvoll), sondern folgt unmittelbar aus der Definition der Wirklichkeit. Es gibt nicht die Vorstellung eines Objekts als materieller Entität, die sich bewegen kann oder nicht; Die Wirklichkeit *ist* Bewegung.

### **Was ist Zeit?**

"Zeit" ist eine Wesenheit, über die wir mit großer Selbstverständlichkeit verfügen, von der wir aber keinen Begriff haben. Ganz anders verhält es sich im Fall von "Bewegung". Dafür gibt es ein intuitives Verständnis. Wir wissen, was Bewegung ist.

Durch die Hypothese "*Es gibt nur Lichtgeschwindigkeit*" wird nicht nur jede Art von Dynamik, sondern auch jede Art von Existenz an eine Bewegung mit stets derselben Geschwindigkeit geknüpft. Es ist dadurch möglich, nicht mehr *Zeit*, sondern *Bewegung* als Grundbegriff aufzufassen. Die Wirklichkeit ist dann also *Raum und Bewegung* – so, wie sie in diesem Kapitel immer schon verstanden worden ist.

Formal ändert sich dadurch nichts. Aber wir verstehen nun, was Zeit ist. Als Grundgröße ist sie für uns unzugänglich; aber als abgeleitete Größe, die dem Grundbegriff *Bewegung* entstammt, wird sie verständlich.

Diese Änderung betrifft die Basis unseres Weltverständnisses. Wir werden sicher weiterhin sagen, dass "die Zeit vergeht". Wegen der Unzugänglichkeit des Zeitbegriffs war dieser Satz aber bisher bloß rein assoziativ mit sich verändernden Sachverhalten verknüpft, genau genommen war jedoch völlig unklar, *was* da eigentlich *vergeht*. Jetzt aber erhält dieser Satz eine Bedeutung, die ihm durch das intuitiv gegebene Konzept der Bewegung vermittelt wird: Die *in der Zeit* sich ereignenden Veränderungen der Erscheinungen sind der Ausdruck einer einzigen, immerwährenden Bewegung, die Muster bildet, verändert und wieder auflöst.

## Substanz oder Form?

Wenn Materie aus *Teilchen* bestehend gedacht wird, dann ist sie *statisch*.

Wenn sie dagegen aus *Wellen* besteht, dann ist sie *dynamisch*.

Dann ist es aber eigentlich nicht angemessen zu sagen, Materie *besteht* aus Wellen – sie ist vielmehr ein dynamischer Prozess fortwährender Gestaltbildung durch Wellen.

Was über die Zeit gleich bleibt, ist also nicht die *Substanz* eines Objekts, sondern seine *Form* – als stationärer (oder annähernd stationärer) Zustand.

## 2.12. Was bleibt offen?

Die SRT enthält einen konzeptuellen Defekt, den wir nicht beseitigt haben. Dieser zeigt sich auf mehrere verschiedene Arten. Am einfachsten wird er durch die Frage offenbar:

*Was schwingt eigentlich im Fall von Lichtwellen?*<sup>34</sup>

Die Entgegnung: *Der elektrische und magnetische Feldvektor* kann nicht als Antwort gelten – das wäre, als würde man im Fall von Wasserwellen das Wasser entfernen und dann behaupten, kinetische und potentielle Energie würden nun die Stelle des Wassers einnehmen. Das *Subjekt* der periodischen Veränderung, die der Wellenbewegung zugrunde liegt, kann nicht einfach durch allgemeine Beschreibungsgrößen ersetzt werden.

Dieselbe Frage tritt uns auch im *Problem der Vermittlung* entgegen: Zwei Raumschiffe befinden sich in großer Entfernung voneinander. Die Frage ist:

*Wodurch* wird bewirkt, dass das Vergehen der Zeit in beiden Raumschiffen genau so erfolgt, dass bei einer späteren Begegnung der Raumschiffe der Uhrenvergleich der Voraussage der Relativitätstheorie entspricht? *Wodurch* wird die Beziehung zwischen den beiden Systemen vermittelt?

---

<sup>34</sup> Die schon erwähnte Gleichsetzung von Wirklichkeit und Beschreibung hat dazu geführt, dass diese Frage aus dem Bewusstsein der Physiker verschwunden ist. Aber Licht *ist nicht* einfach eine Wellengleichung – Licht *existiert*.

Die Relativitätstheorie selbst bietet hier nichts an. Das absolute System ist verschwunden, stattdessen existieren nur Koordinatensysteme. Ein Koordinatensystem ist aber nichts Seiendes – es kann also das Vergehen der Zeit nicht vermitteln.

Besonders deutlich tritt diese Frage nach dem "was" – d.h. nach dem Subjekt der Schwingung, die die Lichtwellen erzeugt, bzw. nach dem Subjekt der Vermittlung des Zeitvergehens – im folgenden Szenario auf: Man denke sich ein geschlossenes zweidimensionales Universum, dessen geometrische Struktur der einer Kugeloberfläche entspricht. In diesem Universum befinden sich zwei Beobachter A und B, die sich entlang desselben Großkreises auf der Kugeloberfläche relativ zueinander gleichförmig bewegen. Bei der ersten Begegnung stellen beide ihre Uhren auf 0.

Die Frage ist: *Wie wird der nächste Uhrenvergleich ausfallen?*

Darauf gibt es tatsächlich keine Antwort. Es herrscht völlige Symmetrie zwischen A und B. Beide bewegen sich auf Geodäten. Von A aus gesehen vergeht bei B die Zeit langsamer, von B aus gesehen bei A. Es können aber natürlich auch noch andere auf diesem Großkreis gleichförmig bewegte Beobachter mit verschiedenen Geschwindigkeiten eingeführt werden, die alle mit gleichem Recht die Vorgänge von ihrem Bezugssystem aus beurteilen und ein jeweils anderes Ergebnis erwarten. Erst der wirklich durchgeführte zweite Uhrenvergleich gibt darüber Auskunft, wie sich die verschiedenen Beobachterzeiten zueinander verhalten.

Unter allen überhaupt möglichen Beobachtern gibt es genau *einen*, der "im Recht" ist: Es ist derjenige, dessen Zeit am schnellsten vergeht. Sein Bezugssystem ist tatsächlich als *das absolut ruhende Bezugssystem* aufzufassen.

Würden wir den Großkreis öffnen und die Enden in unbegrenzte Entfernung hin ausdehnen, dann gäbe es kein Problem: A und B würden sich nur dann wieder begegnen, wenn einer der beiden umkehrte, wodurch die Symmetrie aufgehoben wäre. Alles bliebe dann relativ. Wenn wir die Enden wieder schließen, sind wir aber sofort wieder gezwungen, das absolute Ruhesystem einzuführen. Ein höchst eigenartiger Sachverhalt: Die Topologie des Universums, d.h. eine *globale* Eigenschaft, bestimmt unmittelbar, was *lokal* anzunehmen ist.

Entspricht die hier erzwungene Annahme eines Systems, das sich in absoluter Ruhe befindet, nicht einer Wiedereinführung des Äthers – umso mehr, als ja die Widersprüche der alten Ätherhypothese durch die Annahme, dass es nur Wellen gibt, eliminiert wären?<sup>35</sup>

---

<sup>35</sup> Das Problem des Äthers war, dass er einerseits – wegen des hohen Werts der Lichtgeschwindigkeit – von großer Härte sein musste, andererseits aber den materiellen Körpern überhaupt keinen Widerstand bieten

Obwohl dieser Schluss eigentlich unausweichlich erscheint, ist er tatsächlich *nicht* notwendig. Im zweiten Teil wird geklärt warum – zugleich mit der Frage, was bei Lichtwellen schwingt und wodurch die relativistischen Zeitverhältnisse vermittelt werden.

### **2.13. Michelson-Morley: Die übersehene Möglichkeit**

Durch das Experiment, das Michelson und Morley 1887 durchführten, sollte die Geschwindigkeit der Erde relativ zum Äther gemessen werden. Als sie keinen Unterschied zwischen den Geschwindigkeiten des Lichts in verschiedenen Richtungen feststellen konnten, hielten sie ihr Experiment für gescheitert. Die gegenwärtig für richtig gehaltene Schlussfolgerung ist jedoch, dass die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit für alle gleichförmig bewegten Beobachter ein Naturgesetz ist, dass der Äther nicht existiert und dass Licht für seine Ausbreitung kein Medium benötigt.

Hier wurde gezeigt, dass eine weitere Möglichkeit besteht: Das Medium existiert, aber es gibt keine Teilchen – jedenfalls nicht in der Form, wie sie gegenwärtig verstanden werden –, sondern nur Wellen. Die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit für alle gleichförmig bewegten Beobachter ist nicht naturgesetzlich festgelegt, sondern ableitbar.

Die Alternative, vor die wir uns gestellt sehen, lautet also wie folgt:

A: Wir verzichten auf die Annahme eines Mediums für die Lichtwellen.

B: Wir lassen die Annahme unteilbarer, stets mit sich selbst identischer *substanzieller* Objekte fallen.

Die Variante A ist – obwohl sie nun schon mehr als ein Jahrhundert lang für wahr gehalten wird und deshalb selbstverständlich erscheint – letztlich doch dem Verdacht ausgesetzt, bloß eine ontologische Verirrung zu sein: eine Welle ohne Medium ist unsinnig. Eine solche Annahme *kann* nur dann in Frage kommen, wenn sie unausweichlich ist, weil keine Alternative zur Verfügung steht.

Es gibt jedoch die Alternative B, und, wie sich im Folgenden herausstellen wird, ist sie – auch wenn sie mehr als hundertjährigen Überzeugungen widerspricht – durchwegs vernünftig und gut begründet.

Im Fall von A ist es unmöglich, die relativistischen Phänomene zu verstehen. Relativität ist eine rein formale Tatsache. Dagegen kann im Fall von B die spezielle Relativität abgeleitet *und* erklärt werden.

---

durfte. Eine offensichtlich absurde Begriffsbildung! In einem Modell, in dem es keine Teilchen gibt, sondern nur Wellen, wäre dieser Widerspruch aufgehoben.

### **3. Lokale und objektive Interpretation der Quantentheorie**

#### ***3.1. Vorbemerkung***

Der einfachste Weg, die Struktur der Quantentheorie zu skizzieren und zugleich die Problematik ihrer Interpretation aufzuzeigen, führt über paradigmatische Anwendungsfälle. Vor der Quantentheorie dienten solche Beispiele dazu, den Zusammenhang des jeweiligen Formalismus mit dem ihm zugrunde liegenden, *tatsächlich stattfindenden* physikalischen Vorgang verständlich zu machen. In der Quantentheorie aber dienen sie dem Gegenteil: sie demonstrieren, dass der Versuch, zu erklären, welches reale Geschehen sich hinter dem Formalismus verbirgt, aussichtslos ist.

Deshalb sollen nun als Einleitung zwei bekannte Szenarien präsentiert werden – zunächst in der gewohnten Form, um nochmals klar herauszustellen, zu welcher seltsamen, um nicht zu sagen: absurden Annahmen uns die Natur zu zwingen scheint. Eine solche Erinnerung ist vielleicht nicht ganz überflüssig – das reibungslose Funktionieren des Formalismus könnte leicht dazu führen, dass diese Interpretationsprobleme allzu weit in den Hintergrund treten.

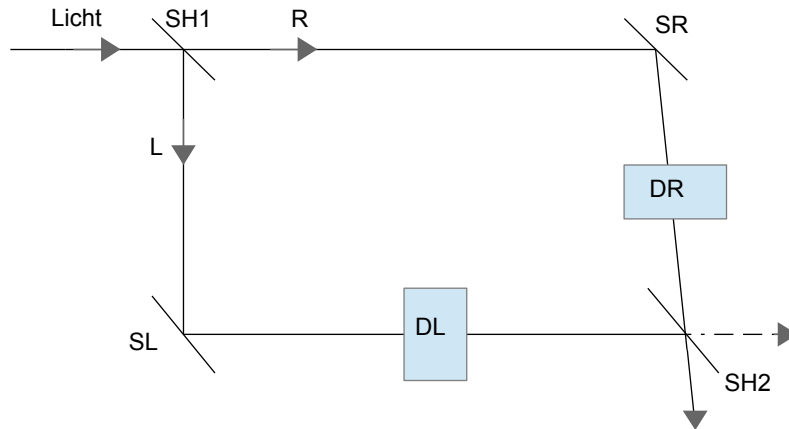
Danach werden Schritt für Schritt die Mittel erarbeitet, die für eine lokale und objektive Interpretation der Quantentheorie benötigt werden. Im weiteren Verlauf werden dieselben Szenarien – und einige andere – in den neuen Zusammenhang gestellt und auf eine Weise erklärt, die alle Absurditäten verschwinden lässt und einsichtig macht, was *wirklich* geschieht. Die neue Interpretation vermeidet aber nicht nur die Seltsamkeiten der üblichen Sichtweise, sie steht überdies auch dem Formalismus näher.

Wie zuvor bei der Erklärung der Relativitätstheorie kann auf das formale Instrumentarium weitgehend verzichtet werden – es handelt sich um reine Interpretationsfragen.

#### ***3.2. Einleitung: zwei Beispiele***

##### **Paradoxon der zwei Wege**

Betrachten wir folgendes Experiment:



(S1)

Ein Lichtstrahl läuft (links oben beginnend) durch die skizzierte Versuchsanordnung. Die Intensität des Lichts wird so gering gewählt, dass sich fast mit Sicherheit nur ein einziges Photon im dargestellten Bereich befindet.

Zunächst durchquert das Licht den halbdurchlässigen Spiegel SH1. Auf den beiden Wegen L und R wird es durch normale Spiegel SL bzw. SR so umgelenkt, dass sich die Strahlen an einem weiteren halbdurchlässigen Spiegel SH2 wieder vereinigen. Die Längen von L und R sind so abgestimmt, dass beim zweiten halbdurchlässigen Spiegel die Phase des den Weg L durchlaufenden Lichts nicht mit der Phase des den Weg R durchlaufenden übereinstimmt und einer der beiden Strahlen durch destruktive Interferenz verschwindet. In beide Strahlengänge können wahlweise Photonendetektoren (DL und DR) gebracht werden.

Der Verlauf des Versuchs zeigt folgende – in der üblichen Betrachtung unbehebbar – Absurdität:

Wenn sich die beiden Detektoren *nicht* in den Strahlengängen befinden, dann tritt nach dem zweiten halbdurchlässigen Spiegel *Interferenz* auf, das heißt: Das Photon bzw. die Lichtwelle muss *beide* Wege genommen haben – sonst wäre Interferenz unmöglich.

Dieses Faktum verdient besondere Beachtung:



*Es muss immer in beiden Strahlengängen zugleich irgendetwas unterwegs sein, sonst könnte nicht nach dem zweiten halbdurchlässigen Spiegel immer dann, wenn beide Wege frei sind, Interferenz beobachtet werden.*

Wenn nun aber die Detektoren in die Strahlengänge eingebracht werden, so spricht immer nur *ein* Detektor an: da das Photon unteilbar ist, kann es nur (mit einer Wahrscheinlichkeit von jeweils 1/2) *entweder* den Weg L *oder* den Weg R entlang laufen.

Auch diesem Sachverhalt gebührt unsere besondere Aufmerksamkeit:

*Es ist niemals auf beiden Wegen zugleich irgendetwas unterwegs, da niemals beide Detektoren zugleich ansprechen.*

Die beiden Sachverhalte widersprechen einander offenbar.

Wie wird dieser Widerspruch in der Standardinterpretation "gelöst"? Folgendermaßen:

Wenn ein Photon in einem der Detektoren gefunden wird, dann verschwindet das Wellenphänomen im anderen Strahlengang augenblicklich! – es ist gewissermaßen nicht existent, es war nur eine "Wahrscheinlichkeitswelle", was auch immer das bedeuten mag.

Das ist die sogenannte *Reduktion der Wellenfunktion*: Eine einzige der wellenartig sich ausbreitenden Möglichkeiten – in diesem Beispiel sind es nur zwei – wird wirklich, und alle anderen verschwinden augenblicklich, gleichgültig, wie weit entfernt sie auch sein mögen.

Wären die Amplitudenquadrate dieser quantentheoretischen Wahrscheinlichkeitswellen einfach nur Wahrscheinlichkeiten, wie beim Würfeln, dann gäbe es kein Problem – dann würde nichts verschwinden, weil es immer nur eine einzige Wirklichkeit gibt: eben den Würfel auf seiner Bahn, vom Beginn des Wurfs an, und weil die Wahrscheinlichkeit von 1/6 für jede Augenzahl bloß der Ausdruck dafür ist, dass wir diese eindeutige Bahn des Würfels einfach nicht kennen.

Von dieser Art können die quantentheoretischen Möglichkeiten aber nicht sein: Sie *interferieren* – es gibt Interferenz, wenn keine Detektoren die Lichtwege unterbrechen. Das *muss* bedeuten, dass in beiden Wegen irgendetwas vorhanden ist. Und was vorhanden ist, kann nicht einfach verschwinden! Es verschwindet aber doch. Und damit – so lautet jedenfalls das allgemeine Credo – müssen wir uns abfinden. Das Paradox ist auch, wie zu Anfang festgestellt, nicht dazu erdacht, um etwas zu erklären, sondern dazu, um zu demonstrieren, dass die Natur sich auf eine Weise verhält, die für uns gänzlich unbegreiflich ist.

Aber halt: vielleicht "weiß" das Photon ja, was wir tun? Wenn die Information darüber, ob die Detektoren in den Strahlengängen sind oder nicht, auf irgendeine Weise am ersten Strahlteiler SH1 vorhanden ist, dann könnte das Photon sich entscheiden, ob es *einen* Weg nimmt oder *beide*.

Auch diese selbst schon wenig plausible Vermutung stellt aber keine Lösungsmöglichkeit des Problems dar.

Wir können nämlich die Entscheidung, ob die Detektoren in die Strahlengänge eingebracht werden oder nicht, so lange hinausschieben, bis das Licht bereits den ersten halbdurchlässigen Spiegel durchquert hat, wenn also bereits entschieden ist, ob es nur *einen* oder ob es *beide* Wege genommen hat. Alles verläuft dann gleich: Ohne Detektoren beobachten wir Interferenz, mit ihnen aber kein gleichzeitiges Ansprechen, sondern eine statistische Folge abwechselnder Ereignisse in beiden Detektoren. Da aber jetzt die Entscheidung, ob das Licht einen oder beide Wege genommen hat, schon gefallen sein muss, scheinen wir *rückwirkend* bestimmen zu können, was es tut bzw. getan hat.

Die Formulierungen, die die Standardinterpretation hier anbietet, erinnern eher an blumentumkränzte Sprechblasen, als dass sie irgendetwas aufklären. Es wird etwa gesagt: "Die Ereignisse können nicht getrennt beschrieben werden. Sie bilden eine Einheit, die erst durch die Messung aufgehoben wird" oder: "Nichts ist ein Ereignis, solange es nicht beobachtet wird".

Tatsächlich mildern solche Äußerungen jedoch nicht im Geringsten die absurde Härte des paradoxen, im Grunde nicht zu akzeptierenden Sachverhalts, dass bei dem beschriebenen Szenario, nicht anders als bei allen quantentheoretischen Beschreibungen, irgendetwas verschwindet, was seine Existenz durch Interferenz beweist, und dass dieses Verschwinden *ohne jede physikalische Vermittlung* stattfindet.

Noch dazu soll dieses Verschwinden *gleichzeitig* mit der Messung erfolgen, also *in beliebiger Entfernung ohne zeitliche Verzögerung*, wobei allerdings nicht klar ist, was das zu bedeuten hat: Würden sich für relativ zueinander bewegte Beobachter die Zeitpunkte des Verschwindens aller Wahrscheinlichkeitswellen, die nicht wirklich werden, etwa ändern?

Genug der Absurditäten! Es ist sicher klar geworden, dass die Gründe, die die Physiker dazu veranlasst haben, das eben Gesagte nicht als *reductio ad absurdum* aufzufassen, sondern als *Interpretation* zu akzeptieren, danach beurteilt werden müssen, ob sie für eine derart extreme Entscheidung stark genug sind, und dass jede Alternative, die solch bizarre Annahmen vermeidet, der gegenwärtigen Sichtweise vorzuziehen ist.

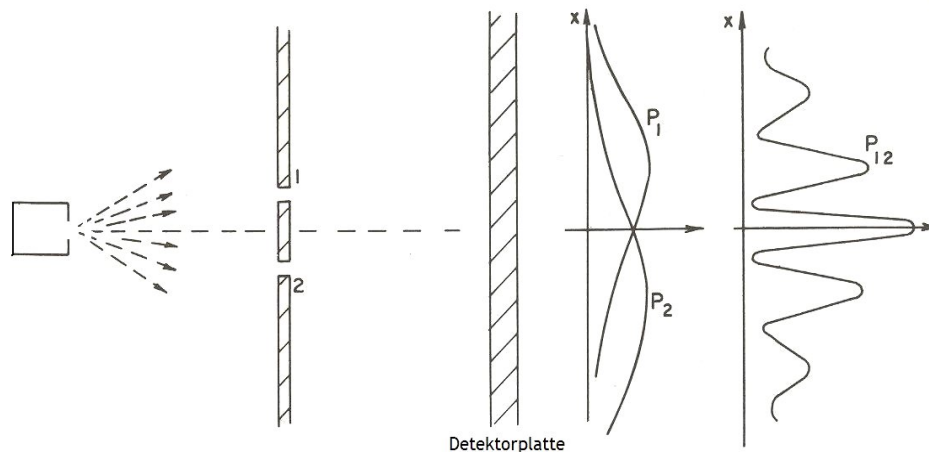
## Doppelspalt-Experiment

Lassen wir wieder Richard Feynman die einleitenden Worte sprechen:

"In diesem Abschnitt werden wir das Grundelement dieses mysteriösen Verhaltens in seiner seltsamsten Form in Angriff nehmen. Zur Untersuchung wählen wir ein Phänomen, das auf klassische Art zu erklären *absolut* unmöglich ist, und das in sich den Kern der Quantenmechanik birgt. In Wirklichkeit enthält es das *einzig*e Geheimnis. Wir können das Geheimnis nicht aufdecken, indem wir 'erklären', wie es funktioniert. Wir können nur berichten, wie es abläuft."<sup>36</sup>

Soweit also der *Status quo*.

Nun aber zur Beschreibung des Experiments:



(S2)

Links im Bild ist eine Vorrichtung zur Erzeugung irgendwelcher Teilchen. (Z.B. Elektronen, oder auch Photonen. Das Folgende gilt für *alle* Arten von Teilchen.) Wird dieser Apparat eingeschaltet, dann erscheint auf der Detektorplatte in unregelmäßiger Folge ein Schwärzungspunkt nach dem anderen. Im Lauf der Zeit ergeben die Schwärzungen das bekannte Interferenzmuster. ( $P_1$  zeigt die Verteilung der Punkte, wenn nur Spalt 1 offen ist,  $P_2$  für Spalt 2,  $P_{1,2}$  für beide Spalten.)

<sup>36</sup> Feynman, Leighton, Sands, "Vorlesungen über Physik" Bd. 1, S. 512, Oldenbourg 1987.

Das Scheitern aller Interpretationsversuche wird folgendermaßen dargestellt:

Einerseits treten Elektronen (oder Photonen usw.) ausschließlich als unteilbare Einheiten auf. Sie müssen daher als Teilchen beschrieben werden, das heißt: sie gehen *entweder* durch Spalt 1 *oder* durch Spalt 2.  $P_{1,2}$  ist aber nicht die Summe von  $P_1$  und  $P_2$  – es gibt Interferenz, was im Teilchenbild unmöglich ist. Wir müssen also andererseits das Wellenbild der Elektronen verwenden, um diese Interferenz zu beschreiben. In *diesem* Bild tritt eine Welle durch beide Spalten, wird durch diese gebeugt, interferiert mit sich selbst und trifft auf die Detektorplatte. Abhängig von der Entfernung der Platte vom Doppelspalt kann die Welle dabei beliebig ausgedehnt sein. Wir beobachten aber kein allmähliches gleichmäßiges Ansteigen der Schwärzung der Detektorplatte gemäß  $P_{1,2}$ , sondern eine Folge eng lokalisierter Ereignisse, das heißt einzelner winziger Schwärzungen, die durch jeweils ein Elektron ausgelöst werden, das also jetzt wieder der Teilchenvorstellung entspricht. Erst eine große Zahl solcher lokalen Ereignisse ergibt das Interferenzbild. Mit dem Auftreten des Teilchens verflüchtigt sich augenblicklich die ganze ausgedehnte Welle. (Das ist wieder die *Reduktion der Wellenfunktion*: wieder bleibt von allen wellenförmig sich ausbreitenden Möglichkeiten nur eine einzige übrig, die zum beobachteten Ereignis wird; alle anderen verschwinden.)

Teilchen- und Wellenbild sind miteinander unvereinbar. Dennoch benötigen wir *beide* zur Beschreibung. Somit scheinen wir also gezwungen, die Beschränktheit unserer Begriffe zuzugeben und uns dort, wo sie versagen, ins mathematische Schema zurückzuziehen.

Dieses Schema ist allerdings überraschend einfach: Der Vorgang wird durch eine Funktion  $\Psi$  beschrieben.  $\Psi$  genügt einer Wellengleichung. Tatsächlich stellt  $P_{1,2}$  genau die Verteilung dar, die sich auch durch die Interferenz ganz normaler Wellen ergeben würde, nur dass bei Wellen eben keine punkartigen Schwärzungen möglich wären, sondern überall eine allmähliche Zunahme der Schwärzung erfolgen müsste.

Deshalb wird die Amplitude von  $\Psi$  nicht als Amplitude einer wirklich existierenden Welle aufgefasst, sondern als *Wahrscheinlichkeitsamplitude*. Ihr Quadrat gibt die Wahrscheinlichkeit (bzw. im kontinuierlichen Fall die Wahrscheinlichkeitsdichte) der Ereignisse an.<sup>37</sup>

---

<sup>37</sup>Was beim Doppelspaltexperiment *wirklich* geschieht, wird im [Abschnitt 3.6](#) erklärt.

### 3.3. Zurück zu den Anfängen

Vor 1900 war die physikalische Wirklichkeit in zwei Klassen von Phänomenen aufgeteilt, denen verschiedene Modellvorstellungen zu Grunde lagen: solche, die wellenartiges, und solche, die teilchenartiges Verhalten zeigten. Auf dieser Basis gelang es aber nicht, die Wechselwirkung von Licht, das für eine Welle gehalten wurde, und Materie, die aus Teilchen bestehend gedacht wurde, in Übereinstimmung mit dem Experiment darzustellen. Dafür erschien es notwendig, dem Licht Teilchencharakter zuzuschreiben. Später wurde festgestellt, dass umgekehrt auch den Teilchen Welleneigenschaften zuerkannt werden müssen.

Aus Beobachtungen ergab sich zunächst, als Vorstufe der Quantentheorie, eine neue Einteilung der Phänomene: bei jeder Art von Ortsveränderung – Ausbreitung elektromagnetischer Strahlung, Bewegung und Verteilung atomarer und subatomarer Partikel – verhalten sich die Objekte wellenartig, was sich insbesondere durch Beugung und Interferenz zeigt; bei Wechselwirkungsprozessen hingegen – Absorption und Emission von Licht, Beschleunigung von Elektronen durch Licht-einstrahlung, Streuung von Licht an Elektronen – verhalten sich die Objekte wie Teilchen.

Der Zusammenhang zwischen den Modellen, die nun, obwohl unvereinbar, *beide* auf dieselben Objekte angewendet werden mussten, wurde durch die Gleichungen

$$E = h\nu \quad \text{und} \quad p = h/\lambda$$

geregelt, wobei  $h$  eine Konstante ist, die Planck bei dem Versuch ermittelt hatte, die Schwarzkörperstrahlung zu beschreiben. (Das gelang ihm nur unter der Voraussetzung, dass ein Oszillator der Frequenz  $\nu$  nicht beliebige Energiemengen aufnehmen kann, sondern nur ganzzahlige Vielfache der Energie  $h\nu$ .)

Wegen des Wellencharakters der Teilchen – genauer wegen der Zuordnung des Impulses zu einer reziproken Wellenlänge – ging die gleichzeitige Existenz von Ort und Impuls verloren. Das Minimum der Ungenauigkeit ihrer gleichzeitigen Bestimmbarkeit wurde durch die Gleichung

$$\Delta x * \Delta p \geq h$$

festgelegt, die sogenannte Unschärferelation.

Ich nehme an, Sie fragen sich, warum das hier noch ein weiteres Mal erzählt wird. Das hat den folgenden einfachen Grund:

Die Struktur der Quantentheorie ergibt sich aus der Tatsache, dass darin all die experimentellen Erfahrungen eingehen, von denen soeben die Rede war.

Will man also die Quantentheorie anders interpretieren, ohne sie jedoch formal zu ändern, dann ist es zunächst notwendig, jene Experimente umzuinterpretieren, die zur Theorie Anlass gaben und durch sie beschrieben werden konnten.

Genau das soll nun geschehen.

Nach Auffassung der meisten Physiker müssen die theoretischen Konstrukte der Physik nach 1900 als Ergebnisse einer Reihe formal und logisch notwendiger Schritte verstanden werden. Ich will das nicht in Abrede stellen. Vielmehr versuche ich, zu zeigen, dass der *erste* Schritt falsch war und somit der Fehler immer schon *vorausgesetzt* wird.

Wenden wir uns nun also diesem ersten Schritt zu, und nehmen wir, nach mehr als hundert Jahren, die Frage nach der Natur der Wechselwirkung von Licht und Materie wieder auf, wie sie sich Einstein vor 1905 darbot.

### ***3.4. Der Lichtelektrische Effekt***

Die experimentellen Fakten zum Lichtelektrischen Effekt:

Wird eine Metallplatte mit UV-Licht bestrahlt, dessen Frequenz  $\nu$  über einer Grenze  $\nu_{\min}$  liegt, dann werden ohne messbare Verzögerung Elektronen freigesetzt, deren kinetische Energie nur von der Frequenz  $\nu$  der Strahlung abhängt.

Das steht in eklatantem Widerspruch zum Wellenbild des Lichts, demzufolge die Energie der Elektronen von der Intensität des Lichts abhängen müsste und ihre Ablösung bei jeder beliebigen Frequenz erfolgen sollte. Überdies wäre eine geradezu enorme Verzögerung (unter realistischen Bedingungen tausende Stunden) bis zur Ablösung des ersten Elektrons zu erwarten, wenn man annimmt, dass die auf eine Fläche der Größenordnung des Elektronenquerschnitts eingestrahlte Lichtenergie sich bis zum erforderlichen Wert summieren müsste.

Einsteins Lösung ist bekanntlich, die Wechselwirkung zwischen Licht und Materie als *Stossprozess* von Teilchen aufzufassen, und zwar eines Lichtquants mit der Energie  $h\nu$  und eines Elektrons, das mit der Energie  $A$  gebunden ist. Aus der Energiebilanz ergibt sich dann die Beziehung

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2} \quad (A \dots \text{Ablösearbeit}) \quad (1)$$

Durch die Gleichung wird der Vorgang auf eine Weise beschrieben, die mit dem Experiment übereinstimmt. Insofern ist es sicher gerechtfertigt, dies als korrekte, erfolgreiche Beschreibung aufzufassen.

Allerdings würde man es doch vorziehen zu wissen, *wie* diese wunderbare Verwandlung einer Welle in ein Teilchen vor sich gegangen ist – immerhin ist eindeutig bewiesen, dass Licht eine Welle ist.

Man stelle sich vergleichsweise folgende Szene vor: ein Zauberer stellt einen leeren Zylinderhut auf einen Tisch, legt eine Trompete hinein und spricht seine Zauberformel. Aus dem Zylinder springt ein Schwein – und nun weiß man bloß die Geschwindigkeit des Schweins. Trotz des zweifellos vorhandenen praktischen Nutzens – man könnte dem nächsten Schwein wahrscheinlich ausweichen – wäre man damit wohl kaum zufrieden!

In diesem Fall würden wir aber doch keineswegs annehmen, dass eine wirkliche Verwandlung der Trompete in ein Schwein stattgefunden hat. Warum nicht? Ganz einfach: es gibt keine Zauberei.

Warum nehmen wir aber dann die Verwandlung der Welle in ein Teilchen als Tatsache hin?

Der übliche Kommentar – der sich als Erklärung ausgibt – lautet: Unser Denken ist nur für mittlere Größenordnungen geeignet. Sehr Kleines entzieht sich unserem Begriff.

Ersetzen wir doch diese haltlose Behauptung, die für sich allein genommen völlig aus der Luft gegriffen ist und bloß dazu dient, Widersprüche zu vernebeln, ganz einfach durch die

***No-Nonsense Hypothese:*** *Es gibt keine Zauberei. Es gibt in der Natur überhaupt keinen Unsinn irgendwelcher Art.*

Mit dieser Hypothese gerüstet wenden wir uns nun wieder dem Lichtelektrischen Effekt zu.

Dass Licht sich wellenartig verhält, ist vollständig gesichert. Also *ist* es eine Welle. Da es keine Zauberei gibt, verwandelt es sich *nicht* in ein Teilchen – somit muss es in die Wechselwirkung als Welle eintreten.

Zugleich ist aber bekannt, wie eingangs festgestellt, dass es nicht möglich ist, den Lichtelektrischen Effekt als Wechselwirkung zwischen Welle und Teilchen darzustellen.

Also gibt es nur eine einzige Möglichkeit: auch das Elektron muss eine Welle sein.

Aber das Elektron ist doch ein Teilchen! Machen wir uns mit der Annahme, es sei nun eine Welle, nicht erst recht wieder des Glaubens an Hexerei schuldig?

Keineswegs. Ein Teilchen ist nämlich mit seinen Attributen (Wechselwirkungen) nicht *logisch*, sondern bloß *per definitionem* verbunden, und somit ändert sich seine Definition zugleich mit der Änderung der Beschreibung der Wechselwirkung. Wenn es also gelingt, die Wechselwirkung unter der Voraussetzung zu beschreiben, dass das Elektron eine Welle ist, dann hat sich seine Definition geändert – mit anderen Worten: dann war es auch schon vorher eine Welle.

Hingegen ist eine Welle mit ihren Attributen (Wechselwirkungen) *logisch* verbunden: ihre Attribute folgen aus ihrer eigenen Dynamik. Bei einer Welle besteht daher keine Möglichkeit zu einer anderen Definition. Eine Beschreibung der Wechselwirkung, in die eine Welle nicht als Welle eintritt, sondern als Teilchen – wie das in der Darstellung von Einstein der Fall ist – kann also die Definition der Welle nicht ändern; in diesem Fall bleibt die Annahme der Verwandlung (bzw. des Dualismus) unumgänglich.

Die No-Nonsense Hypothese hat uns also zu der Annahme geführt, dass sowohl Licht als auch Elektron *Wellen* sind.

Wie können Wellen *als Wellen* überhaupt wechselwirken? Am einfachsten durch *Superposition*. Wir werden also die Wechselwirkung als Überlagerung der beiden Wellen darstellen.

Zunächst eine Vorüberlegung: Angenommen, in einem Elektron existiere eine Schwingung mit der Frequenz  $\nu$ . Was bedeutet dann, dass das Elektron *ruht*? Es bedeutet, dass die Schwingung *gleichphasig* ist, denn bei Gleichphasigkeit gibt es keine Bewegung. Also gilt für ein ruhendes Elektron

$$y = \cos 2\pi t \nu$$

(Das ist die bekannte Schlussfolgerung von de Broglie.) Für ein mit der Geschwindigkeit  $v$  bewegtes Elektron ergibt die Lorentz-Transformation

$$y = \cos 2\pi \left( t \nu \frac{1}{k} - x \nu \frac{v}{c^2} \frac{1}{k} \right) \quad \left( k = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right)$$



Die Frequenz  $\nu_e$  eines mit der Geschwindigkeit  $v$  bewegten Elektrons verhält sich zur Frequenz  $\nu_{e_0}$  eines ruhenden Elektrons also wie

$$\frac{\nu_e}{\nu_{e_0}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{k} \quad (2)$$

Für nichtrelativistische Elektronen ist  $v$  klein gegen  $c$  und daher gilt

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \approx \frac{1}{1 - \frac{v^2}{2c^2}} \approx 1 + \frac{v^2}{2c^2} \quad (3)$$

Jetzt zur Wechselwirkung. Zunächst betrachten wir die Wechselwirkung zwischen Licht und einem freien Elektron.

Sei also  $\nu_{e_0}$  die Frequenz eines ruhenden, nicht gebundenen Elektrons vor der Wechselwirkung,  $\nu_e$  die Frequenz des nach der Wechselwirkung mit der Geschwindigkeit  $v$  bewegten Elektrons.

Wir bilden eine Überlagerung aus der das Elektron repräsentierenden<sup>38</sup> gleichphasigen Schwingung

$$y = \cos 2\pi t \nu_{e_0}$$

und einer das Licht repräsentierenden ebenen Welle

$$y = \cos 2\pi \left( t \nu_L - x \frac{1}{\lambda_L} \right)$$

Aus dem Summensatz für Winkelfunktionen

---

<sup>38</sup> Es kann natürlich nicht behauptet werden, das Elektron *sei* diese Schwingung. Aber aus der Tatsache, dass diese Schwingung auftritt, lassen sich Schlüsse ziehen.

$$2 \cos a \cos b = \cos(a + b) + \cos(a - b) \quad (4)$$

folgt, dass wir durch die Überlagerung zwei Wellen mit den Frequenzen

$$\nu_{e_0} \pm \nu_L$$

erhalten (wo  $\nu_L$  die Frequenz des Lichts ist).

Die höhere Frequenz muss der Frequenz  $\nu_e$  des durch die Wechselwirkung *beschleunigten* Elektrons entsprechen, also nach (2)

$$\nu_e = \nu_{e_0} + \nu_L = \nu_{e_0} \frac{1}{k} \quad (5)$$

(Die zweite Frequenz diskutieren wir gleich anschließend.)

Dann ist  $\nu_L = \nu_{e_0} \left( \frac{1}{k} - 1 \right)$  und nach (3)

$$\nu_L = \nu_{e_0} \frac{v^2}{2c^2} \quad (6)$$

***Das Quadrat der Geschwindigkeit des Elektrons nach der Wechselwirkung ist also auch hier proportional zur Frequenz des Lichts.***

(Für die zweite Frequenz müssten wir setzen

$$\nu_e = \nu_{e_0} - \nu_L = \nu_{e_0} k \quad (5')$$

Nach (3) ist aber  $k \approx 1 - \frac{v^2}{2c^2}$

und wir erhalten wieder  $\nu_L = \nu_{e_0} \frac{v^2}{2c^2}$

Die Frequenz der zweiten Welle entspräche also der Frequenz eines Elektrons, dessen Geschwindigkeit infolge der Wechselwirkung um  $v$  *vermindert* ist. Da wir aber von einem ruhenden Elektron ausgegangen sind, so dass  $\nu_{e_0}$  nicht weiter verkleinert werden kann, entfällt dieser Teil.)

Bisher haben wir bloß einfache Wellenmathematik angewendet. Um in die Welt der physikalischen Modellbildungen zurückzukehren, multiplizieren wir (6) mit  $h$ :

(Hier ist aber die Tatsache, dass  $h$  eine fundamentale *Einheit* darstellt, ohne Bedeutung – die Multiplikation ist nur aus Dimensionsgründen erforderlich, um auf die "mechanische" Beschreibung überwechseln zu können. Wir werden diesen Schritt anschließend ausführlicher besprechen.)

$$h\nu_L = h\nu_{e_0} \frac{v^2}{2c^2} = m_e c^2 \frac{v^2}{2c^2} \quad (6')$$

Wir erhalten 
$$h\nu_L = \frac{m_e v^2}{2} \quad (7)$$

Um dieses Verfahren auf die Wechselwirkung von Licht mit einem gebundenen Elektron zu übertragen, müssen wir nur in (5) den Frequenzunterschied  $\delta_\nu$  zwischen einem gebundenen und einem freien Elektron einfügen

$$\nu_e = \nu_{e_0} + \nu_L - \delta_\nu = \nu_{e_0} \frac{1}{k} \quad (8)$$

und dieses  $\delta_\nu$  mitlaufen lassen, also

$$h\nu_L - h\delta_\nu = h\nu_{e_0} \frac{v^2}{2c^2} = m_e c^2 \frac{v^2}{2c^2} \quad (8')$$

So gelangen wir schließlich zu 
$$h\nu_L = \frac{m_e v^2}{2} + h\delta_\nu \quad (9)$$

und das ist identisch mit (1).

Vergleichen wir nun die beiden Modelle – das übliche, einem mechanischen Stoß analoge Modell und das hier vorgeschlagene Wellenüberlagerungsmodell.

Die Tatsache, dass die Geschwindigkeit bzw. die Energie der Elektronen nach der Wechselwirkung nur von der Frequenz des Lichts abhängt, lässt sich im mechanischen Stoßmodell nur so erklären, dass immer gleiche, unteilbare, durch ihre Frequenz definierte Lichtteilchen mit den Elektronen in Wechselwirkung treten. (Gäbe es auch andere oder geteilte Lichtteilchen, dann wären nach dem Stoß auch Elektronen mit anderen Geschwindigkeiten zu erwarten.)

Im Wellenmodell hingegen ist diese Tatsache selbstverständlich: Hier verlassen die "Elektronen" die Metallplatte in einem stetigen Prozess, *als Wellen*, deren Frequenz aus der Überlagerung von Licht- und Elektronenwellen folgt. Gemäß Gleichung (4) sind daher nach der Wechselwirkung keine anderen Frequenzen und damit auch keine anderen Energien und Geschwindigkeiten möglich – Wellenüberlagerungen lassen keine anderen Resultate zu. In diesem Modell ist somit klar ersichtlich, warum die Amplitude bzw. die Intensität des Lichts gleichgültig ist, und ebenso, warum keine Verzögerung bis zur ersten Messung auftritt: der Überlagerungsprozess setzt augenblicklich ein. Die Annahme unteilbarer Lichtteilchen ist im Wellenmodell also überflüssig.

Der wichtigste Punkt ist aber der folgende, denn hier wird zum ersten mal der Kern der neuen Interpretation erkennbar:

Die Gleichung 
$$v_L = v_{e_0} \frac{v^2}{2c^2} \quad (6)$$

enthält bereits das wesentliche Ergebnis: das Quadrat der Geschwindigkeit eines freien Elektrons nach der Wechselwirkung mit Licht ist nur von der Frequenz des Lichts abhängig (– für ein gebundenes Elektron muss links noch der Term  $-\delta_v$  eingefügt werden).

Für die Ableitung dieser Gleichung werden nur zwei Voraussetzungen benötigt:

1. Sowohl Licht als auch Elektron sind *Wellen*.
2. Die Lorentz-Transformation gilt.

Ansonsten gehen *keine physikalischen Voraussetzungen* in die Ableitung ein.

Erst nach der Multiplikation von (6) mit  $h$ , also für den Schritt von (6') auf (7):

$$h\nu_L = h\nu_{e_0} \frac{v^2}{2c^2} = m_e c^2 \frac{v^2}{2c^2} \quad (6')$$

$$h\nu_L = \frac{m_e v^2}{2} \quad (7)$$

– und für die physikalische Interpretation von (7) werden die Begriffe *Energie* und *Masse* gebraucht sowie die zwischen diesen Begriffen und der Frequenz geltende Beziehung

$$h\nu = mc^2 = E$$

Mit anderen Worten: Für die Beschreibung der Wechselwirkung zwischen Licht und Elektron beim Lichtelektrischen Effekt ist die Annahme ausreichend, dass beide Partner Wellen sind. Nicht nur die Annahme von Lichtquanten ist überflüssig – es kann auf *alle* physikalischen Begriffe und Zusammenhänge verzichtet werden. Erst beim Übergang zu einer mechanischen Beschreibung der gewohnten Art treten die Begriffe auf, die sonst die notwendige Basis der Beschreibung bilden: Masse, kinetische Energie, Gesamtenergie.

Hier stehen also die Beschreibungen durch Wellen und durch Teilchen nicht nebeneinander, sondern es besteht eine hierarchische Beziehung zwischen beiden: Die Wellenbeschreibung kommt zuerst – sie ist *fundamental*; die Teilchenbeschreibung ist ihr nachgeordnet – sie ist *abgeleitet*.

Die Gleichungen  $E = h\nu$  und  $p = h/\lambda$  sind daher in diesem Fall kein Beweis für den Welle-Teilchen-Dualismus; sie sind **Definitionsgleichungen** für die Größen Energie und Impuls.

Der Begriff *Energie* wird auf den Begriff *Frequenz zurückgeführt*, und der Begriff *Impuls* auf den Begriff *Wellenlänge*.<sup>39</sup>

Es ist klar: Wenn diese Interpretation, die sich beim Lichtelektrischen Effekt auf ganz natürliche Weise ergibt, tragfähig ist, dann ändert sich formal *nichts* – begrifflich und konzeptionell ändert sich aber *alles*.

---

<sup>39</sup> Vollständig wird diese Rückführung allerdings erst, wenn die Einheit der Masse als selbständiges Konzept beseitigt ist, so dass h seine Rolle als Bindeglied zwischen Wellen und Teilchen verliert. Das kann aber erst im zweiten Teil durchgeführt werden. (In 6. Ein Universum ohne Masse.)

Ich fasse zusammen. Wie zu sehen ist, lässt sich der Lichtelektrische Effekt auf zwei Arten darstellen:

1. Nach dem mechanischen Stoßmodell. Beide Partner werden als Teilchen aufgefasst.

Dann muss entweder eine *objektiv dualistische* Position eingenommen werden (Quanten, die die gesamte Energie tragen, sind in die Wellen eingebettet – dies war Einsteins, de Broglies und später Bohms Standpunkt) oder es muss *Komplementarität* angenommen werden (dies ist die Kopenhagener Interpretation).

Die dualistische Position führt zur expliziten Nichtlokalität, die Kopenhagener Interpretation führt zum Verzicht auf jede Art von Verständnis.

2. Durch Wellenüberlagerung. Beide Partner werden als Wellen aufgefasst.

Dann entfallen die Interpretationsschwierigkeiten, die mit den unter 1. erwähnten Positionen verbunden sind. Weder Dualismus noch Komplementarität sind erforderlich.

Das alles gilt vorläufig nur für den Lichtelektrischen Effekt. Der nächste Schritt, den wir auf unserer Abzweigung vom historischen Gang der Physik unternehmen müssen, ist die Erprobung der Modellannahmen an der Streuung von hochfrequentem Licht (Röntgenstrahlen) an Elektronen.

### ***3.5. Der Compton-Effekt***

Bei der Streuung von Röntgenstrahlen an Elektronen werden zwei Effekte beobachtet, die ebenfalls nicht mit der Annahme vereinbar scheinen, dass Licht nur eine Welle ist:

1. Die Wellenlänge der gestreuten Strahlung ist größer als die der einfallenden.

2. Die Streuwinkelverteilung ist bezüglich Vorwärts- und Rückwärts-Richtung asymmetrisch.

1922 gelang es Arthur Compton, die Streuung von Röntgenstrahlen an Graphit als Stoßprozess von Lichtquanten und Elektronen zu beschreiben.

Er leitete die gemessene, vom Streuwinkel  $\vartheta$  abhängige Differenz zwischen der Wellenlänge  $\lambda_2$  der gestreuten und der Wellenlänge  $\lambda_1$  der einfallenden Strahlung

$$\lambda_2 - \lambda_1 = \lambda_C (1 - \cos \vartheta) \quad (\lambda_C \text{ Compton-Wellenlänge des Elektrons})$$

aus der Annahme ab, dass Lichtteilchen an Elektron-Teilchen gestreut werden.

Der Unterschied zwischen Compton-Effekt und Lichtelektrischem Effekt besteht – aus konventioneller Sicht – darin, dass beim LE das Photon absorbiert wird, dass es also seine ganze Energie an das Elektron abgibt, während beim CE das Photon vom Elektron abgelenkt wird und nur einen Teil seiner Energie verliert.

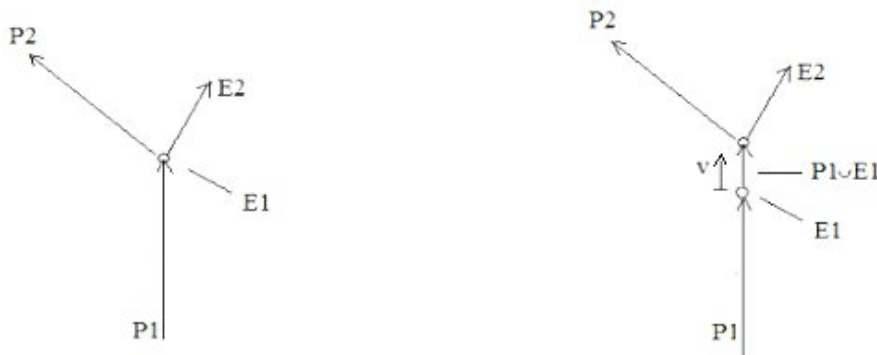
Von dem hier eingenommenen Standpunkt aus besteht der Unterschied zwischen beiden Effekten darin, dass beim LE die beiden Wellen eine dauernde Superposition bilden, während sie sich beim CE wieder trennen.

Aus dieser Sicht erfolgt der Streuprozess Photon-Elektron also in zwei Schritten:

A: Das Photon trifft auf ein ruhendes Elektron. Beide Wellen bilden eine Überlagerung.

B: Beide Wellen trennen sich wieder.

In der folgenden Skizze links der Streuprozess als Stoß, rechts die 2-Schritt Variante:



(S3)

$P1 \cup E1$  bezeichnet den kurzzeitig bestehenden Überlagerungszustand beider Wellen.

Der ganze Prozess lässt sich also wie folgt beschreiben:

Das ruhende Elektron  $E_1$  vereinigt sich mit dem Photon  $P_1$ . Es wird dadurch zu  $E_+$ . ( $E_+ = P_1 \cup E_1$ ).  $E_+$  bewegt sich mit der Geschwindigkeit  $v$ .  $E_+$  gibt das Photon  $P_2$  ab und wird zum Elektron  $E_2$ .

Nennen wir das Labor-Bezugssystem  $S$ . Wir betrachten nun die Verhältnisse in jenem relativ zu  $S$  mit  $v$  bewegten Bezugssystem  $S'$ , in dem  $E_+$  ruht.  $E_1'$  bewegt sich also relativ zu  $S'$  mit  $-v$ .

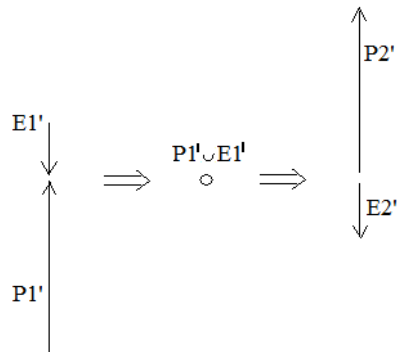
Ein mit  $v$  bewegtes Elektron hat eine de Broglie-Wellenlänge von

$$\lambda_B = \lambda_C \frac{c}{v} k \quad \left( \lambda_C \dots \text{Compton-Wellenlänge des Elektrons, } k = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right)$$

Bezüglich  $S'$  gilt also:

(1) Die Wellenlänge von  $E_1'$  beträgt  $\lambda_C \frac{c}{v} k$ .

Wir bleiben in  $S'$ . Nehmen wir nun zunächst den Fall an, dass sich die beiden Wellen genau entlang der Geraden trennen, auf der sich  $P_1'$  zu  $E_1'$  hin bewegt hat.



(S4)

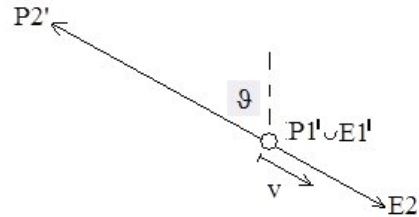
Dann ist der Trennungsprozess  $TP(0^\circ)$  offenbar die Umkehrung des Vereinigungsprozesses  $VP$ , und das führt zu

$$P_2' = P_1' \quad \text{und} \quad E_2' = E_1'.$$

$E_2'$  hat dann in  $S'$  wieder (so wie vorher  $E_1'$ ) die Geschwindigkeit  $-v$ .  $P_2'$  wäre in der üblichen Darstellung ein *nicht gestreutes* Photon.



Jetzt gehen wir zu einer beliebigen Trennungsrichtung  $\vartheta$  über. In bezug auf  $S'$  entfernen sich  $P2'$  und  $E2'$  voneinander wieder entlang einer Geraden.



(S5)

Gegenüber dem Trennungsprozess  $TP(0^\circ)$  ist dieser Trennungsprozess  $TP(\vartheta)$  nur gedreht, ansonsten aber unverändert. Es ist also *derselbe* Prozess, der Betrag der Geschwindigkeit von  $E2'$  in  $S'$  ist daher wiederum  $|v|$ , und das aus  $TP(\vartheta)$  hervorgegangene Photon ist bis auf die Richtung identisch mit dem aus  $TP(0^\circ)$  hervorgegangenen Photon.

In Verbindung mit dem Vorhergehenden ergibt sich, dass in  $S'$  gilt:

(2) Das einfallende Photon  $P1'$  und das gestreute Photon  $P2'$  sind bis auf die Richtung identisch.

Es ist somit  $\lambda_{P1'} = \lambda_{P2'}$  für alle Streuwinkel  $\vartheta$ .

Zuletzt benötigen wir noch Folgendes:

In  $S'$  hat  $E1'$  die Geschwindigkeit  $-v$ .  $E_+$  ist relativ zu  $S'$  in Ruhe.

Die Frage ist: Was muss bezüglich  $P1'$  gelten, damit, wie gefordert, in  $S'$  die Geschwindigkeit der Vereinigung  $E_+$  der beiden Wellen  $E1'$  und  $P1'$  gleich 0 wird?

Die de Broglie-Wellenlänge  $\lambda_B = \lambda_C \frac{c}{v}$  des Elektrons ist ein relativistisches Phänomen: Durch

Lorentz-Transformation einer gleichphasigen Schwingung in ein mit  $v$  bewegtes System wird die Phasengleichheit aufgehoben und es entsteht eine Phasenwelle mit ebendieser Wellenlänge. Wenn die

dadurch erzeugte Bewegung wieder verschwinden soll, muss diese Phasenverschiebung aufgehoben werden.

Betrachten wir den kurzzeitigen Überlagerungszustand  $E_+$  der Wellen, die  $P1'$  und  $E1'$  repräsentieren:

$E1'$  wird gemäß (1) repräsentiert durch ( $f_e$  ... Frequenz des ruhenden Elektrons)

$$\cos 2\pi \left( t f_e \frac{1}{k} + x \frac{1}{\lambda_C} \frac{v}{c} \frac{1}{k} \right) = \cos 2\pi \left( t f_e \frac{1}{k} + x \frac{1}{\lambda_B} \right)$$

$P1'$  wird repräsentiert durch

$$\cos 2\pi \left( t f_{P1'} - x \frac{1}{\lambda_{P1'}} \right)$$

Setzen wir nun die Wellenlänge von  $P1'$  gleich der von  $E1'$ , also

$$\lambda_{P1'} = \lambda_B = \lambda_C \frac{c}{v} k,$$

dann entstehen durch die Wellenüberlagerung  $E1' * P1'$  gemäß dem Summensatz für Winkelfunktionen

$$2 \cos a \cos b = \cos(a + b) + \cos(a - b)$$

(genau wie beim Lichtelektrischen Effekt) zwei Wellen:

Bei der ersten Welle verschwindet der  $x$ -Term, was nichts anderes bedeutet, als dass hier tatsächlich die Phasenverschiebung aufgehoben und deshalb die Geschwindigkeit von  $E_+$  gleich 0 ist.

Die zweite Welle würde sich, von  $S$  aus gesehen, entgegen der Richtung des einfallenden Photons bewegen, die Frequenz wäre aber zugleich gegenüber der Frequenz des in  $S$  ruhenden Elektrons  $E1$  verringert, was nicht möglich ist. Wie beim Lichtelektrischen Effekt entfällt also auch hier dieser zweite Teil.

Somit gilt:

(3) Das einfallende Photon P1' hat im Bezugssystem S' die Wellenlänge

$$\lambda_{P1'} = \lambda_B = \lambda_C \frac{c}{v} k$$

Nun muss nur noch von S' ins Laborsystem S transformiert werden.

Für die Berechnung der Wellenlängen von P1 und P2 benötigen wir lediglich den relativistischen Dopplereffekt für beliebige Winkel  $\vartheta$ , also:

$$\lambda' = \lambda \left(1 - \frac{v}{c} \cos \vartheta\right) \frac{1}{k}$$

In unserem Fall ist 
$$\lambda_{P1} = \lambda_{P1'} \left(1 - \frac{v}{c}\right) \frac{1}{k}$$

und, wegen (2) 
$$\lambda_{P2} = \lambda_{P1'} \left(1 - \frac{v}{c} \cos \vartheta\right) \frac{1}{k}$$

Daraus folgt 
$$\lambda_{P2} - \lambda_{P1} = \lambda_{P1'} \frac{1}{k} \frac{v}{c} (1 - \cos \vartheta)$$

Wird nun der Wert für  $\lambda_{P1'}$  aus (3) eingesetzt, ergibt sich

$$\lambda_{P2} - \lambda_{P1} = \lambda_C (1 - \cos \vartheta)$$

und das ist das gewünschte Resultat.

Was ist mit der Asymmetrie der Streuwinkelverteilung?

In S' sind alle Streurichtungen gleich wahrscheinlich, d.h. gleichverteilt zwischen  $0^\circ$  bis  $360^\circ$ . Bezüglich des Laborsystems S folgt dann die beobachtete, mit der Frequenz der einfallenden Photonen zunehmende Asymmetrie der Streuwinkelverteilung.

Auch bei der Beschreibung der Streuung von hochfrequentem Licht an Elektronen ist es also gelungen, ohne alle physikalischen Voraussetzungen, nur auf die Annahme gestützt, dass sowohl Licht als auch Elektron Wellen sind, das richtige Resultat abzuleiten. Da dieses Resultat als Differenz von

Wellenlängen angegeben ist, war es hier – anders als beim Lichtelektrischen Effekt – bis zum Schluss nicht notwendig, auf die übliche mechanische Beschreibung überzuwechseln oder auch nur irgendeinen der dort notwendigen Begriffe zu erwähnen.

Wie zu sehen war, sind in die Ableitung Symmetrieanahmen eingegangen; sie dienten aber nicht, wie üblich, der Begründung von Erhaltungssätzen, sondern wurden für die Annahme benötigt, dass sich in Bezug auf S' nur die Ausbreitungsrichtung der beiden Wellen ändert, nachdem sie sich getrennt haben, dass sie aber ansonsten für alle Streuwinkel identisch sind.

Alles, was am Ende des vorigen Abschnitts zum Lichtelektrischen Effekt gesagt wurde, gilt identisch oder analog auch hier. Eine Zusammenfassung oder ein Kommentar erübrigen sich somit.

Damit sind die beiden Experimente, durch die der Welle-Teilchen-Dualismus der Strahlung in die Physik Eingang fand, durch *Wellenüberlagerungen* beschrieben worden. Die Annahme von Licht-Teilchen erwies sich als überflüssig.

Der nächste Schritt wird nun sein, den Dualismus der Materie zu beseitigen. Diesem Vorhaben scheint die Tatsache entgegenzustehen, dass dieser Dualismus geradezu die Basis des quantenmechanischen Formalismus und seiner Interpretation darstellt.

### ***3.6. Die Reduktion der Wellenfunktion: Was wirklich geschieht***

"Unter den [...] Gegnern der "orthodoxen" Quantentheorie nimmt Schrödinger insofern eine gewisse Ausnahmestellung ein, als er nicht den Teilchen, sondern den Wellen die "objektive Realität" zusprechen will und nicht bereit ist, die Wellen nur als Wahrscheinlichkeitswellen zu interpretieren. [...] Freilich kann Schrödinger [...] nicht das Element von Diskontinuität aus der Welt schaffen, das sich in der Atomphysik überall [...] äußert. In der üblichen Deutung der Quantentheorie ist es an der Stelle enthalten, wo jeweils der Übergang vom Möglichen zum Faktischen vollzogen wird. Schrödinger selbst macht keinen Gegenvorschlag, wie er sich etwa die Einführung des überall zu beobachtenden Elements von Diskontinuität anders als in der üblichen Deutung vorstellen will."<sup>40</sup>

1926 fand Schrödinger seine "Wellenfunktion". Es war seine Intention, sie auf irgendetwas "Reales" zu beziehen. Er hielt es für erforderlich, zu diesem Zweck Wellengruppen zu finden, die nicht auseinanderlaufen, sondern ihre Ausdehnung im Raum beibehalten. Er wollte also *Teilchen*

---

<sup>40</sup>Werner Heisenberg, Phys. Bl. 12 (1956), S. 300.

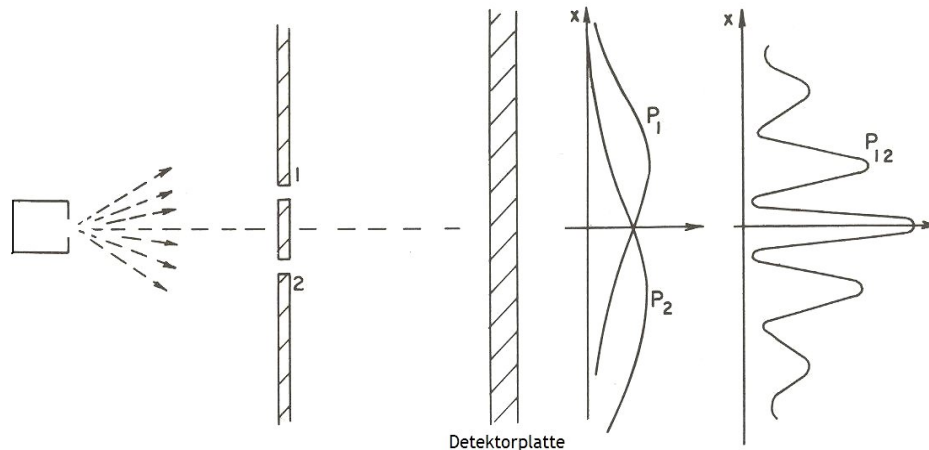
modellieren. Nachdem sich herausgestellt hatte, dass außer beim harmonischen Oszillator bei allen quantenmechanischen Systemen die Wellengruppen auseinanderlaufen, gab er sein Vorhaben auf.

Die entscheidende Frage ist:

*Ist die Möglichkeit, Wellengruppen zu konstruieren, die nicht auseinanderlaufen, tatsächlich eine notwendige Bedingung dafür, der Wellenfunktion irgendein Element der Realität zuzuordnen?*

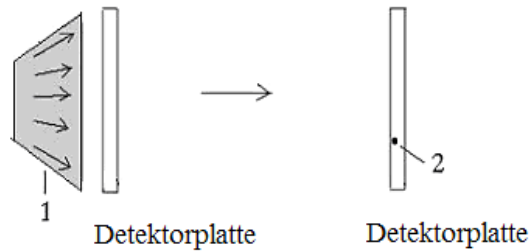
Die Antwort ist *nein* – aber die Begründung dieser Antwort erfordert eine radikale Umstellung unserer Sicht der (atomaren) Wirklichkeit. Die nun folgenden Erläuterungen verstehen sich als Einführung in diese Umstellung. Ich werde zunächst ein Modell präsentieren, anschließend die Modellannahmen verallgemeinern und danach – im Abschnitt 3.9. – einige mögliche Gegenargumente diskutieren.

Was Heisenberg mit der Diskontinuität gemeint hat, die an der Stelle des Übergangs vom Möglichen zum Faktischen auftritt, ist natürlich die *Reduktion der Wellenfunktion*. Der Sachverhalt lässt sich an Hand des Doppelspaltexperiments illustrieren:



(S2)

Diesmal konzentrieren wir uns auf folgenden Punkt:



(S6)

Links im Bild, mit **1** bezeichnet, der Zustand des Teilchens – sagen wir: eines Elektrons – im Augenblick des Auftreffens auf eine Detektorplatte: *eine ausgedehnte Welle*, die durch Beugung am Doppelspalt und nachfolgende Interferenz entstanden ist.

Rechts im Bild, mit **2** bezeichnet, die beobachtbare Folge des Zustands desselben Teilchens im nächsten Augenblick: *ein Schwärzungspunkt*.

Nun stehen wir also vor dem Innersten des Geheimnisses der Quantentheorie, das da heißt:

*Warum verschwindet die ausgedehnte Welle und verwandelt sich in ein Teilchen? Oder, in der Ausdrucksweise Heisenbergs: wie wird das Mögliche zum Wirklichen?*

*Was ist die Reduktion der Wellenfunktion?*

Die vor der Beschreibung des Lichtelektrischen Effekts aufgestellte *No-Nonsense Hypothese* lässt auch hier wieder nur eine einzige Möglichkeit der Interpretation dessen zu, was sich wirklich ereignet.

Ich wiederhole zunächst meine Argumentation bezüglich des sogenannten Welle-Teilchen-Dualismus:

Es gibt nichts, was Welle *und* Teilchen sein kann. Wenn also Objekte Eigenschaften von beidem aufweisen, dann muss zwischen den beiden Konzepten ein Abhängigkeitsverhältnis bestehen, d.h. eines der beiden Konzepte muss als aus dem anderen *abgeleitet* und seine Begriffe als durch die des anderen *definiert* aufgefasst werden.

Das Problem ist aber nicht symmetrisch: Eine Welle ist als dynamisches Gebilde definiert. Mit dieser Definition sind alle Welleneigenschaften, wie etwa Beugung und Interferenz, untrennbar verbunden. Sie können nicht auf etwas anderes zurückgeführt werden. Wenn das Konzept *Welle* durch etwas

anderes ersetzt wird, dann gehen auch die mit ihm verbundenen Eigenschaften verloren. Ein Teilchen dagegen ist *als solches* überhaupt nicht definiert, sondern erst durch die ihm zugeordneten Eigenschaften. Es erscheint also bloß als Träger dieser Eigenschaften, mit denen es – im Gegensatz zu den Verhältnissen bei Wellen – nur definitorisch und nicht logisch verbunden ist. Das Konzept *Welle* ist also nicht ersetzbar, das Konzept *Teilchen* dagegen kann ohne jeden Verlust ersetzt werden, wenn bei dieser Ersetzung die Eigenschaften erhalten bleiben (z.B. Lokalisierung, Diskretheit).

Richtet man unter dieser Voraussetzung den Blick auf das Doppelspaltexperiment, so erkennt man sofort, dass das Wellenkonzept eigentlich für alles, was zu beobachten ist, eine Erklärung bietet. *Alle* Arten von Wellen treten bekanntlich in zwei Gestalten auf: als laufende Wellen, die Beugung und Interferenz zeigen, und als stehende Wellen, die durch Randbedingungen in ihrer räumlichen Ausdehnung begrenzt sind und nur in bestimmten diskreten Zuständen existieren können. Genau diese beiden Gestalten finden wir beim Doppelspaltexperiment vor, und auch der Übergang zwischen beiden ist im Grunde selbstverständlich.

Da aber das allgemeine Denken hier in einer mittlerweile schon hundert Jahre dauernden, geradezu magischen Erstarrung eingefroren ist, erscheint es angebracht, den Vorgang ausführlicher zu beschreiben. Das soll nun geschehen.

Nach dem soeben Gesagten *ist* das Elektron eine Welle. Daher tut es genau das, was bei Wellen selbstverständlich ist, das heißt: Es läuft zunächst durch *beide* Spalten, wird durch sie gebeugt, läuft also nach dem Doppelspalt *tatsächlich* auseinander und interferiert mit sich selbst (wie das auch in der Schrödingerschen Darstellung der Fall ist).

Dann trifft die Elektron-Welle auf die Detektorplatte. Diese ist aber ebenfalls eine Welle, oder sagen wir besser: ein Wellenfeld. Das Eindringen der Elektron-Welle in das Wellenfeld "Detektorplatte" bedeutet also: es kommt zu Überlagerungen der Wellen.

Die Elektronenhüllen der Atome gleichen in ihrer räumlichen Begrenztheit einfachen stehenden Wellen, bei denen durch Randbedingungen festgelegt ist, in welchen stationären Zuständen sie in ihrer Gesamtheit schwingen können bzw. in welchen Schwingungszuständen sie stabil sind.

Was geschieht mit einer stehenden Welle bei einer stetigen Änderung der Anregungsbedingungen?

Betrachten wir eine stehende Luftwelle in einem Rohr. Die allmähliche Änderung der Anregungsbedingungen bewirkt zunächst nichts Hörbares – wir hören einen gleichbleibenden Ton; wenn diese Änderung aber groß genug wird, *springt* die stehende Welle *in den nächsten stabilen Zustand*: Wir hören den benachbarten Oberton. Würden wir die Wellen im Rohr zählen, so sähen wir, dass *nach* dem

Umspringen der stehenden Welle ein Schwingungsknoten *mehr* (oder weniger) im Rohr ist. Es ist aber klar, dass nicht etwa ein Schwingungsbereich hinzugefügt worden ist, sondern dass die stehende Welle *im ganzen* sich – entsprechend den Randbedingungen – neu organisiert hat.

Hörbar (beobachtbar) ist daher auch bei *stetiger Änderung* der Anregung eine *diskrete Folge* von Tönen, entsprechend den möglichen stabilen Zuständen der stehenden Welle, also das Umspringen der ganzen Welle auf einen Zustand mit einer (Teil-)Welle mehr (oder weniger), während das tatsächliche, ursächliche Geschehen *stetig* verläuft.

Ähnliches erwarten wir also auch bei Atomen und Molekülen. Elektronenhüllen können demnach nur in bestimmten, diskreten Zuständen existieren bzw. sind nur in solchen stabil. Wenn der Zustand der *gesamten* Hülle – d.h. der Gesamtschwingungszustand des entsprechenden Raumbereichs – sich *stetig* verändert, geschieht so lange nichts Beobachtbares, bis die Veränderung groß genug ist, um den (scheinbar) unstetigen Übergang auf den nächsten stabilen Zustand zu erzwingen. So wie bei der stehenden Welle im Rohr beobachten wir auch hier die *diskrete Folge* möglicher stabiler Zustände des gesamten räumlichen Schwingungsbereichs. Das Umspringen zwischen den stabilen Zuständen äußert sich *lokal*, als Auftreten einer *zusätzlichen* Knotenfläche und damit eines *zusätzlichen* Schwingungsbereiches. Auch hier ist dieser aber natürlich nicht *als einzelner hinzugefügt* worden (wie das bei der Teilchenvorstellung der Fall wäre), sondern er erscheint als Folge der Neuorganisation der ganzen räumlichen Wellenstruktur. Und auch hier gilt: Das eigentliche Geschehen verläuft *stetig*.

Zurück zum Doppelspaltversuch. Es ist nun schon fast alles gesagt. Es muss nur noch angenommen werden, dass das, was gerade eben im Fall von stehenden Luftwellen als "stetige Änderung der Anregungsbedingungen" bezeichnet worden ist, im Fall der Elektronen-Wellen der *stetigen Akkumulation von Wellenintensitäten* entspricht.

Die Annahme lautet:

*Die unstetige Änderung des lokalen Schwingungszustands, die sich als Messergebnis präsentiert, wird durch einen stetigen Prozess verursacht – durch Wellen, deren Amplitudenquadrate sich summieren, bis es zu einem Übergang kommt.<sup>41</sup> Die lokale Wellen-Intensität bestimmt daher die lokale Wahrscheinlichkeit eines solchen Übergangs.*

Es ist also ganz einfach: Wellen treffen auf die Platte, dringen ein und überlagern sich den schon vorhandenen. Die Wellen-Intensitäten, deren Verteilung der quantentheoretischen Wahrscheinlich-

---

<sup>41</sup> Ich erinnere daran, dass genau diese Annahme – auf *Photonen* angewendet – im 1. Kapitel die lokale Darstellung verschränkter Photonen ermöglicht hat.



keitsdichte (den Kurven in (S2)) entspricht, summieren sich am Ort des Eindringens, bis der an diesem Ort vorhandene räumliche Schwingungszustand (die Elektronenhülle) in den nächsten stabilen Zustand "springt", in der üblichen Sichtweise also "ein zusätzliches Elektron erscheint". Diese Übergänge sind somit eine Folge lokaler Gegebenheiten, unabhängig von den gleichzeitig an anderen Stellen stattfindenden Summationsprozessen gleicher Art, die *später* ebenfalls zu Übergängen führen.

Insbesondere erfolgt zum Zeitpunkt eines Übergangs *kein Verschwinden anderer Wellen*.

Unter dieser Voraussetzung besteht dann rein formal kein Unterschied zur üblichen Sichtweise – nur die Interpretation des Amplitudenquadrates ändert sich: anstelle einer Wahrscheinlichkeitsdichte, die sich auf *nichts* bezieht und ein rein formales Hilfsmittel darstellt, tritt eine Wahrscheinlichkeitsdichte, die ihre Existenz einer *physikalischen Größe* verdankt: der Intensität einer Welle. Das Resultat ist offensichtlich identisch.

Um vollständige Übereinstimmung mit den quantentheoretischen Vorgaben zu erreichen, muss dieser Modellvorstellung nur noch ein Zufallselement hinzugefügt werden. Das ergibt sich im Wellenmodell aber von selbst, denn es kann nicht vorausgesetzt werden, dass sich vor dem Eintreffen der Elektron-Wellen alle Elektronenhüllen in *genau* denselben Zuständen befinden.

Kehren wir zur Veranschaulichung wieder kurz zu den analogen Verhältnissen bei stehenden Luftwellen zurück: Betrachten wir eine große Zahl gleicher Rohre, in denen die Luftsäule im dritten Oberton schwingt. Daraus folgt nun nicht, dass die Zustände der Luftsäulen in allen Rohren identisch sind. Bei einigen könnte die geringste Änderung der Anregungsbedingungen dazu führen, dass sie in den zweiten Oberton kippen, bei anderen wiederum zu einem Sprung in den vierten Oberton, während wieder andere gegen kleine Änderungen unempfindlich sind.

Analog zu dieser Vorstellung nehmen wir an, dass die Zustände der Elektronenhüllen innerhalb des ganzen Bereichs. in dem der Schwingungszustand sich nicht sprunghaft verändert, zufallsverteilt sind.

*Damit sind die quantentheoretischen Voraussagen im Fall des Doppelspaltexperiments vollständig auf stetige, lokale und objektive Prozesse zurückgeführt.*

In diesem lokalen und objektiven Modell gibt es kein Geheimnis. Alle Absurditäten haben sich verflüchtigt: es gibt keine *Reduktion der Wellenfunktion* – jedenfalls nicht in dem Sinn, dass irgendetwas verschwindet; die Annahme *objektiver Wahrscheinlichkeiten* ist überflüssig; nichts ist zugleich *Welle und Teilchen*; der *Messakt* ist ohne Bedeutung; kein *Beobachter-Bewusstsein* mischt sich ein; das *Universum spaltet* sich nicht in unendlich viele fast identische Kopien seiner selbst auf; und so weiter und so weiter...

Wir sehen klar, worin wir getäuscht waren: Es gibt keine Teilchen. Elektronen (und andere Elementarteilchen) sind keineswegs "unteilbare Einheiten". Wir erliegen dieser Suggestion nur, weil sie *in allen Beobachtungen* als solche auftreten. ("Ereignisse" sind immer Übergänge!) Tatsächlich sind es stetige, auseinanderlaufende Wellen oder Wellenpakete, die nur unter bestimmten, in Materie gegebenen Randbedingungen *lokalisiert* und in immer gleichen Gestalten erscheinen.

Die Reduktion der Wellenfunktion – das Verschwinden eines ausgedehnten Wellen-Phänomens und scheinbar übergangslose Auftreten eines lokalisierten Ereignisses – findet nicht statt. Sie wird im Wellenmodell durch einen gewöhnlichen physikalischen Vorgang ersetzt.

Wir sind also vom Welle-Teilchen-Dualismus zum Wellen-Monismus gelangt. Das ist jedoch kein Verlust – was zuvor als "Teilchen" bezeichnet worden ist, bleibt ja als *dasselbe Phänomen* erhalten: lokalisiert, diskret und stets formal identisch. Nur die Definition hat sich geändert: Objekte, die ursprünglich dem Vorbild makroskopischer Gegenstände entsprechend gedacht wurden, aber diese Vorgabe von Anfang an nicht erfüllten und deshalb im Grunde undefiniert waren, werden nun als stationäre Wellenzustände bzw. Übergänge zwischen solchen Zuständen aufgefasst.

So stellt sich tatsächlich heraus: Das ein Jahrhundert andauernde Unvermögen, sich von mechanistischen Vorstellungen zu lösen (Teilchen, Stoßvorgänge usw.), hat die Interpretation der physikalischen Theorien auf einen falschen Weg geführt und darauf festgehalten.

## **Bemerkungen**

1. Die lokale und objektive Erklärung des Doppelspaltexperiments ist dermaßen einfach, dass man kaum glauben mag, dass sie bisher nicht existierte. Woran liegt es also, dass sie so lange unentdeckt bleiben konnte? Es ist die folgende suggestive Vorstellung, die das bewirkt hat:

Nehmen wir an, eine Person A wirft einer Person B einen Ball zu. Dann kann natürlich nicht der geringste Zweifel bestehen, dass der Ball, den B fängt, *derselbe* Ball ist, den A geworfen hat. Dieser Sachverhalt ist so selbstverständlich, dass er gedanklich überhaupt nicht in Erscheinung tritt: niemand käme auf die Idee, zu fragen, ob es derselbe Ball ist – die Frage wäre einfach absurd.

Genau dieses Konzept – mitsamt der eben erwähnten unhinterfragten Selbstverständlichkeit der Identität des geworfenen und des gefangenen Balls – ist jedoch auf das Doppelspaltexperiment übertragen worden. Der Grund für diese vollständige Übertragung ist die *Teilchenvorstellung*: Wenn das Elektron als *Teilchen* aufgefasst wird, dann erscheinen die Bedingungen beim Doppelspaltexperiment analog zu denen beim Ballwurf.

Das Elektron *ist* aber kein Teilchen, sondern eine Welle bzw. ein Übergang zwischen zwei Wellenzuständen, und der "Elektron" genannte Übergang, der sich auf der Detektorplatte zeigt, *ist nicht identisch* mit der "Elektron" genannten Welle, die unmittelbar vorher den Doppelspalt durchquert und dann die Detektorplatte erreicht hat. Dieser Übergang, also das beobachtete Ereignis, enthält nicht nur Anteile von *dieser* Welle, sondern auch von Wellen, die schon früher aufgetroffen sind, und auch von Wellen, die schon vor Beginn des Experiments da waren (und dazu führten, dass etliche Schwingungszustände sich schon vorher nahe an der Grenze befanden, über der ein Übergang stattfindet).

Mit anderen Worten: **Das Elektron, das jetzt auf der Detektorplatte erscheint, ist nicht identisch mit dem Elektron, das unmittelbar vorher erzeugt worden ist** – oder, um es genauer zu sagen: es ist nicht *substanziell*, sondern nur *formal* identisch mit diesem.

In der Ballwurf-Analogie hieße das: *Der gefangene Ball ist nicht identisch mit dem geworfenen Ball*, er sieht nur genauso aus. Solange man an diese Analogie gebunden bleibt, ist es offensichtlich unmöglich, das Doppelspaltexperiment zu verstehen, und dasselbe gilt für alle anderen quantenmechanischen Messungen.

2. In der Standardinterpretation des Doppelspaltexperiments gibt es im Inneren der Detektorplatte keine stetigen Prozesse, sondern nur sprunghafte Übergänge. In der neuen Interpretation hingegen werden diese Übergänge durch stetige Prozesse verursacht. Was sind das für Prozesse? Genau diejenigen, die bei Wellen *immer* auftreten: wenn die Frequenzen der eindringenden und der schon vorhandenen Wellen gleich sind, dann summieren sich die Amplituden, wenn sie verschieden sind, dann bilden sich Kombinationsfrequenzen.

Es ist möglich, die Energie proportional zum Amplitudenquadrat zu setzen. Dadurch kann auch den Zuständen, die zwischen den stationären Zuständen liegen, eine bestimmte Energie zugeordnet werden. (Im Grund ist diese Proportionalität auch in der Standardinterpretation vorhanden. Man denke z.B. an den Lichtelektrischen Effekt: zwar ist hier die Energie der austretenden Elektronen von der Amplitude des Lichts unabhängig, aber die Zahl der detektierten Elektronen hängt natürlich davon ab.)

3. Ich habe die einfachste Modellversion vorgestellt. Verschiedene Erweiterungen sind erforderlich. Zumindest eine davon erscheint mir wichtig genug, um sie hier zu erwähnen:

Durch Randbedingungen ist lokal festgelegt, welche Schwingungszustände stabil sind. Diese Zustände müssen als *Attraktoren* aufgefasst werden. (Das gilt für stehende Wellen ganz allgemein.) Das bedeutet, dass ein lokaler Schwingungszustand sich auf den Attraktor hin bewegen wird, wenn der Punkt des Phasenraums, der ihn repräsentiert, sich im Einzugsbereich des Attraktors befindet. Nehmen wir an, ein lokales Wellensystem (eine Elektronenhülle) befindet sich genau auf einem Attraktor. Wenn

nun Wellen von außen eindringen und sich den schon vorhandenen überlagern, dann ist das System in einer gewissen Entfernung vom Attraktor. Es wird dann dem Attraktor wieder zustreben, d.h. es wird versuchen, Wellen zu emittieren. Wohin? An die benachbarten Wellensysteme. Es finden also *Austauschprozesse* statt, für die folgende einfache Regel gilt: Die Tendenz eines lokalen Wellensystems, dem Attraktor zuzustreben, wird umso größer sein, je näher der Zustand des Systems dem Attraktor ist. Das bedeutet: bei zwei einander benachbarten räumlichen Schwingungszuständen wird derjenige, dessen Entfernung vom Attraktor-Zustand geringer ist, die zusätzlichen Wellen an den anderen abgeben. Wird aber ein Systemzustand durch die Wellen-Akkumulation über die Grenze zwischen den Einzugsbereichen des aktuellen und des nächsthöheren Attraktors hinaus getrieben, dann wird das System diesem nächsten Attraktor zustreben, d.h. es wird Wellen von den umgebenden Systemen aufnehmen.

An den grundsätzlichen Überlegungen ändert sich durch diese Ergänzung nichts, aber die Dynamik des Verlaufs wird doch erheblich modifiziert. Nehmen wir als Beispiel die Verteilung  $P_1$  in der Skizze (S2). Sehen wir für den Augenblick von allen Zufallsschwankungen ab und gehen wir davon aus, dass sich alle Systeme genau im Attraktor-Zustand befinden.

Betrachten wir zwei benachbarte Systeme (lokale Schwingungszustände, Elektronenhüllen), die an einer beliebigen Stelle auf der Oberfläche der Detektorplatte lokalisiert sind. In jenem System, das vom Maximum der Kurve  $P_1$  weiter entfernt ist, wird das Amplitudenquadrat der eindringenden Wellen (entsprechend der Kurve  $P_1$ ) geringer sein als im anderen. Das System bleibt also näher am Attraktor-Zustand und wird daher diese Wellen an das andere System abgeben. Dieser Prozess findet bei allen Paaren benachbarter lokaler Systeme gleichzeitig und auf gleiche Weise statt. Somit werden die Wellen schließlich bei jenem System landen, das genau dort liegt, wo die Kurve  $P_1$  ihr Maximum hat. In diesem System werden also die Amplitudenquadrate aller in die Platte eingedrungenen Wellen aufsummiert.

Dies wäre allerdings nur dann der Fall, wenn es keine Zufallsschwankungen gäbe, und daher kann es sich nicht in dieser Form ereignen. Aber dieses idealisierte Beispiel zeigt doch, dass die in die Platte eindringenden Wellen nicht nur genau am Ort des Auftreffens zu einem Übergang führen können, sondern dass sie durch Austauschprozesse auch in größere Entfernungen transportiert werden und dort zu Übergängen beitragen. Möglicherweise sind das Attraktor-Konzept und die daraus folgende Hypothese der Austauschprozesse in einigen Fällen zur Erklärung der Abfolge von Ereignissen erforderlich, z.B. beim Photoeffekt, um zu verstehen, warum nie mehrere Elektronen gleichzeitig detektiert werden.

4. Was soeben von der *Entstehung* der Elektronen an der Oberfläche der Detektorplatte gesagt wurde, muss analog für den Prozess ihrer *Erzeugung* gelten:

Wenn also links in der Skizze (S2) Elektronen "erzeugt" werden, bedeutet das nicht, dass *ein Teilchen nach dem anderen* sich löst. Es ist vielmehr ein *stetiger* Vorgang.<sup>42</sup> Es findet eine stetige Abstrahlung von Wellen statt, bis es irgendwo zu einem Übergang kommt – ein lokaler Gesamtschwingungszustand geht in einen anderen über, der eine Knotenfläche weniger hat. Diese Änderung selbst ist wiederum unstetig. In der üblichen Sichtweise: Ein Elektron hat sich gelöst. (Auch hier ist es wieder möglich, die unter Punkt 3 beschriebenen Austauschprozesse anzunehmen.) Die Wellengruppen, die nun unterwegs sind, entstammen also nicht einem einzigen Übergang, d.h. sie entsprechen nicht *einem* Elektron, vielmehr enthalten sie Wellen aus vielen solchen als *Elektron* definierten Übergängen.

5. Alles, was hier über Elektronen gesagt wurde, gilt in gleicher Weise auch für Photonen.

### 3.7. Die Reduktion der Wellenfunktion: Verallgemeinerung

Um unsere Modellannahmen in einen allgemeineren Zusammenhang zu setzen, müssen wir einen kurzen, einfachen Ausflug in den formalen Teil der Quantentheorie unternehmen.

Sei  $\Psi(x)$  der Zustandsvektor eines Objekts T, an dem die Messung eines Attributs vorgenommen werden soll, das dem Operator A entspricht. Es gelte

$$A\Psi(x) = \sum_{i=1}^n s_i U_i(x) \quad (U_i \text{ Eigenfunktionen, } s_i \text{ Koeffizienten})$$

Seien  $a_i$  Eigenwerte der entsprechenden  $U_i$ . Dann wird sich bei der Messung einer der Werte  $a_i$  ergeben.

Soweit die Vorgaben, deren Gültigkeit so weit erwiesen ist, dass sie als Fakten gelten können. Nun aber beginnt schon der Bereich der Interpretation:

Wird der Wert  $a_j$  ( $1 \leq j \leq n$ ) gemessen, dann soll sich T – d.h. *dasselbe Objekt*, das zuvor durch

$\sum_{i=1}^n s_i U_i(x)$  repräsentiert wurde – im Zustand  $U_j$  befinden: die ganze Summe  $\sum_{i=1}^n s_i U_i(x)$  hat sich auf einen einzigen Ausdruck  $s_j U_j$  reduziert.

---

<sup>42</sup> Genau wie beim Lichtelektrischen Effekt im Abschnitt 3.4.

Nennen wir dies die Hypothese (H1). Sie bildet das Fundament der gegenwärtigen Interpretation der Quantentheorie:

(H1) *Die durch die Messung auf einen einzigen Term reduzierte Zustandsfunktion beschreibt **dasselbe Objekt** wie die Zustandsfunktion vor der Reduktion. Der eine Term entspricht dem Zustand des Systems nach der Reduktion.*



Eine einfache Veranschaulichung:

(S7)

T ist das Objekt, an dem das Attribut A gemessen werden soll. T1 bis T4 stellen 4 verschiedenen Möglichkeiten dar, T nach der Messung vorzufinden. Falls  $j = 3$ , wird also T3 zur gemessenen Wirklichkeit. T1, T2 und T4 verschwinden.

Die Hypothese (H1) besagt also: **T3 ist dasselbe Objekt wie T**. T ist der Zustand des Objekts *vor* der Messung, T3 ist der Zustand des Objekts *nach* der Messung.

Das hier präsentierte Modell beruht dagegen auf der folgenden Hypothese (H2):

(H2) *Das Objekt, das sich **nach** der Messung im Zustand  $U_j$  befindet, ist **nicht dasselbe Objekt** wie das durch  $\Psi(x)$  repräsentierte Objekt T **vor** der Messung. Keine der zur Repräsentation des Objekts T gehörenden Eigenfunktionen  $U_i$  mit  $i \neq j$  verschwindet, sondern alle liefern Beiträge zu nachfolgenden Messungen, bei denen dann andere, mit T formal identische Objekte (z.B. "Elektronen") in entsprechenden Zuständen vorgefunden werden. Es findet also gar keine "Reduktion" statt – jedenfalls nicht in dem Sinn, dass irgendetwas verschwindet.*

(H2) bedeutet:

1. *Ein Teil* von T – der, auf den T gemäß (H1) "reduziert" wurde – liefert einen Beitrag zum *aktuellen* Messergebnis – also zum entsprechenden Wert des Attributs A –, *alle anderen Teile* von T leisten Beiträge zu *anderen, künftigen* Messergebnissen.

2. Das aktuelle Messergebnis wird im Allgemeinen nicht nur durch Wellen aus T verursacht, sondern auch durch Wellen, die von anderen, mit T formal identischen Objekten stammen.

Bei dem in (S7) dargestellten Schema gilt also – im Gegensatz zur üblichen Interpretation:

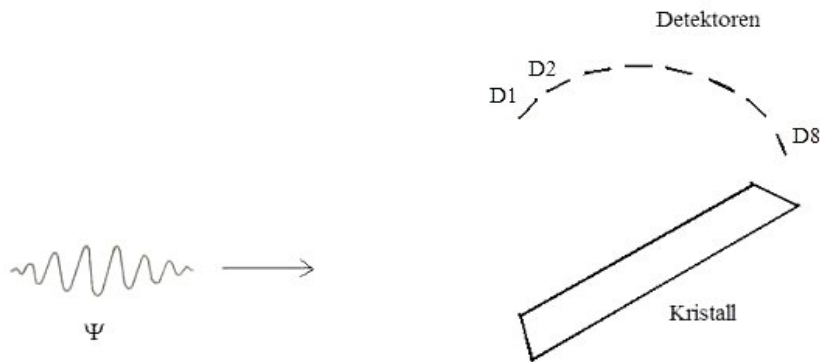
**T3 ist *nicht* dasselbe Objekt wie T.** Einerseits enthält T3 nicht nur Wellen aus T, und andererseits enthält T auch Wellen, die nicht zum Ereignis T3 beitragen, sondern zu (möglichen) späteren Ereignissen T1, T2 und T4.

Dazu ein Beispiel:

Nehmen wir an, T sei ein Elektron. Der Impuls von T soll zunächst berechnet und dann gemessen werden.

Um die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Messwerte zu berechnen, muss auf die Wellenfunktion  $\Psi$ , durch die T repräsentiert wird, der Impulsoperator angewendet werden. Dieses Verfahren ist eine *Spektralanalyse*:  $\Psi$  wird in Sinuswellen mit verschiedenen Wellenlängen zerlegt, und die zugehörigen Amplituden werden bestimmt. Deren Quadrate ergeben die gesuchten Wahrscheinlichkeiten.

Im Experiment wird das Wellenpaket *tatsächlich* geteilt. Das könnte z.B. durch folgende Versuchsanordnung ausgeführt werden:



(S8)

Das Wellenpaket wird an einem Kristall gestreut, das heißt: die darin enthaltenen Wellen mit verschiedenen Wellenlängen werden durch die Kristalloberfläche gebeugt. Diese wirkt wie ein ebenes Beugungsgitter, das das Wellenpaket in nahezu monochromatische Strahlenbündel zerlegt. In der Nähe der Kristalloberfläche kommt es zu Interferenz sämtlicher Wellen, in ausreichender Entfernung trennen sich aber die Strahlen, so dass alle Wellen, die auf einen bestimmten Detektor auftreffen, fast dieselbe Wellenlänge haben. Wir haben also die Wellengruppe nach Wellenlängen (bzw. Impulsen) sortiert.

Der *formalen* Zerlegung durch die Anwendung des Impulsoperators auf  $\Psi$  entspricht also die *reale* Zerlegung des Wellenpakets in Sinuswellen mit verschiedenen Wellenlängen durch die Versuchsanordnung.

Bei der Messung führt in der üblichen Interpretation eine der Eigenfunktionen des Impulsoperators zum Messergebnis, das heißt: sie wird *wirklich*, die anderen *verschwinden*. In einem Detektor befindet sich jetzt ein *Elektron* mit einem bestimmten Impuls – der vorher nicht existierte –, in den anderen Detektoren befindet sich *nichts*. In der hier vorgeschlagenen Interpretation gibt es dagegen keine Reduktion. Keine Eigenfunktion verschwindet. Alle Eigenfunktionen liefern Beiträge zu späteren Ereignissen bzw. Messungen. Die Amplitudenquadrate der Wellen mit identischer Wellenlänge werden summiert, bis es im betreffenden Detektor zu einem Übergang kommt: ein charakteristisches Schwingungsmuster entsteht – eine Impulsmessung hat stattgefunden (die auch hier wieder im Allgemeinen nicht die Folge einer einzelnen Wellengruppe ist, sondern der Summierung der Amplitudenquadrate von Wellen aus mehreren Wellengruppen bedarf).

Auch hier ist wieder klar zu erkennen, dass sich quantitativ nichts ändert: Die Wellenpakete werden in Sinuswellen mit verschiedenen Wellenlängen zerlegt, die auf die entsprechenden Detektoren treffen. Wenn nun, gemäß unserer Grundannahme, die charakteristische Neuorganisation eines lokalen räumlichen Schwingungszustandes – also das Erscheinen eines Elektrons – durch die Summierung von Wellenintensitäten *verursacht* wird, dann muss die Wahrscheinlichkeit der Ereignisse in einem bestimmten Detektor dem Quadrat der Amplituden der Wellen, die *tatsächlich* auf diesen Detektor auftreffen, proportional sein – also genau so, wie durch die Quantentheorie vorausgesagt.

Widerspricht es nicht eigentlich dem quantenmechanischen Formalismus, anzunehmen, dass das vor der Messung vorhandene Teilchen kurze Zeit später als *dasselbe* Teilchen wieder erscheint – selbst dann, wenn formal (*und* experimentell) eine Teilung erfolgt und die Teile sich beliebig weit voneinander entfernen? Es wäre nicht ganz abwegig, dies eine Interpretation *gegen den Formalismus* zu nennen. Und darüber hinaus treten nur unter diesen Bedingungen Paradoxien auf, etwa wenn gefragt wird, "welchen Weg" das "Teilchen" beim Doppelspaltexperiment nimmt.



Mein Vorschlag folgt dagegen einfach dem, was der Formalismus vorgibt, und erlaubt es, diese Vorgabe mit einer lokalen und objektiven Realität zu verbinden: Wenn ein Teilchen X *vor* der Messung an einer bestimmten Stelle erzeugt wird und *nach* der Messung an anderer Stelle ein *identisches* Teilchen erscheint, dann ist dies *nicht dasselbe* Teilchen; die Wellen, die aus der Auflösung des charakteristischen Schwingungsmusters X stammen, verteilen sich entsprechend ihrer formalen Beschreibung – sie laufen also tatsächlich auseinander – und tragen zur Entstehung eines anderen Schwingungsmusters X bei, das dieselbe Bezeichnung X aber nicht deshalb verdient, weil es *substanziell*, sondern weil es *formal* identisch mit dem ersten ist.

### ***3.8. Die zentrale Annahme der lokalen und objektiven Interpretation***

Die lokale und objektive Interpretation der Quantentheorie beruht auf einer einzigen Annahme. Alles andere kann darauf zurückgeführt werden. Sie lautet:

*Wenn durch eine quantenmechanische Wellenfunktion Ereigniswahrscheinlichkeiten vorausgesagt werden können, dann gibt es eine **wirklich existierende Welle**, die diese Ereignisse verursacht.*

Quantenmechanische Amplitudenquadrate sind also nicht bloß formale Hilfsmittel; sie entsprechen nur deshalb Wahrscheinlichkeiten, weil sie sich auf die Intensitäten existierender Wellen beziehen.<sup>43</sup>

Daraus folgt unmittelbar, dass **keine Reduktion der Wellenfunktion** stattfindet; Was existiert, kann nicht verschwinden.

Ebenso folgt daraus, dass es **keine Teilchen** im üblichen Sinn gibt: Da bei Wellenfunktionen von Teilchen, die sich außerhalb von Materie bewegen, die Wellen im Allgemeinen auseinanderlaufen, ist eine realistische Interpretation gleichbedeutend mit der Aufgabe des Teilchenbegriffs in der gewohnten Form. An dessen Stelle tritt ein anderer Teilchenbegriff, der folgendermaßen definiert ist:

---

<sup>43</sup> Was ist mit den Wahrscheinlichkeitsamplituden für *nicht* eintretende Ereignisse? (Der Zustand eines radioaktiven Kerns z.B. ist eine Überlagerung der Zustände *zerfallen* und *nicht zerfallen*.)

Dazu ist Folgendes zu sagen: Wenn Amplitudenquadrate als Wahrscheinlichkeiten definiert sind, dann erfordert dies die Einführung von Amplitudenquadraten, die die komplementären Wahrscheinlichkeiten darstellen. Es ist dieser Akt formaler Vervollständigung, dem die in diesem Sinn "komplementären" Amplituden ihre Existenz verdanken. Es lässt sich trotzdem behaupten, dass sie sich auf wirkliche Wellen beziehen, aber eben nur über den gerade beschriebenen formalen Zwischenschritt.

*Teilchen sind stationäre Zustände von Wellen oder durch Wellen vermittelte Übergänge zwischen solchen Zuständen.*

Dualismus bzw. Komplementarität treten also nur im Bereich der Phänomene auf. Die fundamentale, ursächliche Ebene der Wirklichkeit ist wellenartig.

### **3.9. Einwände**

In diesem Abschnitt sollen einige Einwände diskutiert werden, die gegen die realistische Interpretation der Wellenfunktion vorgebracht werden können (und in der historischen Diskussion auch tatsächlich vorgebracht worden sind), und ebenso einige Einwände gegen die daraus folgenden Hypothesen..

#### **1. Einwand**

*Die Darstellung findet im multidimensionalen Konfigurationsraum statt. Deshalb können die Elemente der Darstellung nicht real sein.*

Dies ist ein seltsames Argument, um nicht gleich zu sagen: überhaupt keines. Es ist bei der mathematischen Darstellung irgendeines Ausschnitts der Wirklichkeit *niemals* der Fall, dass die Darstellung mit dem realen Szenario einfach identisch ist. In manchen Fällen wäre diese Annahme geradezu lächerlich. Durch die schon früher erwähnte logistische Gleichung etwa kann die zeitliche Entwicklung der Fischpopulation in einem Teich beschrieben werden. Aber die logistische Gleichung *ist* keine Fischpopulation, und die Fische *sind* keine reellen Zahlen. Trotzdem käme niemand auf die Idee, die Existenz von Fischen zu bezweifeln.

Die *realistische* Interpretation eines mathematischen Formalismus bedeutet also nicht, die Elemente der Darstellung mit den Elementen der Wirklichkeit zu *identifizieren*, sondern anzunehmen, dass es zwischen den Elementen des Formalismus und Elementen der Wirklichkeit eine *Verbindung* gibt.

Im Fall einer realistischen QT-Interpretation ist es daher nicht erforderlich zu behaupten, dass die im QT-Formalismus auftretenden wellenartigen Phänomene reale Wellen *sind*. Es muss bloß die folgende schwächere Aussage gelten:

Der Zustandsvektor  $\Psi$  ist *nicht nur* ein mathematisches Hilfsmittel. Zu jedem  $\Psi$  gibt es eine wirklich existierende Welle, mit der  $\Psi$  in folgendem Zusammenhang steht: Jedes mögliche Ereignis, dessen

Wahrscheinlichkeit mit Hilfe von  $\Psi$  bestimmt werden kann, wird durch die mit  $\Psi$  verbundene reale Welle vermittelt

## 2. Einwand

*Es gibt keinen physikalischen Begriff, der der Amplitude in der Schrödingergleichung zugeordnet werden kann.*

Diese Behauptung ist richtig. *Was* hier eigentlich schwingt, kann nicht innerhalb der gegenwärtigen Physik beantwortet werden.

Somit richtet sich dieser Einwand aber nicht gegen die realistische Interpretation der Schrödingergleichung, sondern verweist lediglich darauf, dass man, um zu bestimmen, *wovon* die Gleichung handelt, aus dem Bereich der üblichen physikalischen Begriffsbildung heraustreten muss.

Sollte die Schrödingersche Wellenfunktion ein *wirklich fundamentales* Beschreibungsmittel darstellen, dann ist das aber eigentlich selbstverständlich, denn dann geht es hier um die Frage, wie *Existenz* letztlich physikalisch definiert werden soll. Damit ist zugleich klar, dass das, worauf sich die Amplitude der Gleichung bezieht, nicht einfach mit irgendeinem schon bekannten Element physikalischer Modellbildungen identifiziert werden kann.

## 3. Einwand

*Es gibt quantenmechanische Größen, die nicht als Eigenschaften realer Objekte interpretiert werden können.*

Als eine solche Eigenschaft gilt der *Spin*, den man die "quantenmechanischste" aller Eigenschaften nennen könnte.

Ein Teil der Argumentation, mit der dieser Einwand entkräftet werden kann, ist schon in dem Schema enthalten, das uns bereits zur lokalen und objektiven Interpretation quantenmechanischer Szenarios gedient hat. Ich zitiere aus Abschnitt 1.4, der die lokale Rekonstruktion der quantenmechanischen Voraussagen für verschränkte Photonen beinhaltet:

*"Das Messergebnis entspricht nicht direkt der Eigenschaft eines Objekts; erst die Akkumulation von Objekten löst das Messereignis aus."*

Und weiter unten: "Was bedeutet es, dass *ein Photon mit einer bestimmten Polarisierung* gemessen wird? Es bedeutet: Durch die *Wellen*, die einen auf genau diesen Winkel eingestellten Polarisator passiert haben, wird ein Übergang induziert. Diesem Übergang – d.h. dem "Photon" – kann dann die Eigenschaft *Polarisation in dieser Richtung* zugeschrieben werden. Nur in diesem Sinn kann von der Eigenschaft *Polarisation des gemessenen Photons* gesprochen werden."

Also kann behauptet werden: Nur dadurch, dass dieses Messereignis als *Objekteigenschaft* aufgefasst wird, entstehen Paradoxien. Als Eigenschaft des Objekts "Photon" kann der Spin nicht realistisch interpretiert werden.

Im Fall von Photonen ist diese Erklärung ausreichend, weil Photonen nur *Übergänge* zwischen räumlich begrenzten stationären Schwingungszuständen sind und *keine* Objekte. Elektronen sind jedoch nicht nur Übergänge zwischen Schwingungszuständen, sondern diese Schwingungszustände selbst, und das Problem ist, dass sie, auch wenn sie auf diese Weise aufgefasst werden, anscheinend nicht realistisch verstanden werden können. Es scheint, als wäre ihr Spin auch dann undenkbar, wenn sie als Schwingungszustände interpretiert werden und nicht als "Teilchen"..

Dieses Problem kann erst im zweiten Teil geklärt werden. Ich will hier nur kurz zur Frage: *Was ist real?* Stellung nehmen.

Die gegenwärtige Physik ist von der gegenständlichen Seite des Seienden her aufgebaut worden. Ihre Begriffe sind Abstraktionen von gegenständlichen Erfahrungen. Innerhalb der Grenzen dieser Begrifflichkeit kann der Spin tatsächlich nicht realistisch verstanden werden: er ist keine Eigenschaft eines denkbaren Gegenstandes oder Schwingungszustandes.

Im zweiten Teil des Buches wird die Physik von der anderen, der ungegenständlichen Seite her entwickelt. Dabei ist man zunächst gezwungen, Gegenständliches überhaupt erst zu rekonstruieren. Auf diesem Weg, der sich vom *Ursprung alles Seienden* bis zu den elementaren Gegenständen erstreckt, tritt der Spin als einfaches geometrisches Konzept auf. Er erweist sich als notwendiges Element der Rekonstruktion der Dingwelt von den abstrakten Grundlagen des Seienden aus.

*Gegenständlich* bedeutet: als Objekt in Raum und Zeit existierend.

*Real* aber ist ein viel abstrakterer Begriff.

Nehmen wir an, es gelänge, das, was existiert, auf etwas Elementares zurückzuführen, dessen Notwendigkeit eingesehen werden kann, und ferner gelänge es, von diesem Elementaren ausgehend, in Schritten, deren Notwendigkeit ebenfalls eingesehen werden kann, zum Gegenständlichen zu

gelangen, zurück zur Erfahrungswelt; dann kann auf folgende Weise definiert werden, was *real* bedeutet:

*Real* ist alles, was auf diesem Weg erscheint. Real bedeutet also: *Aus den als notwendig erkannten Voraussetzungen des Seienden mit Notwendigkeit folgend.*

Genau in diesem Sinn ist auch der Spin real, und er wird, wenn er auf diesem Weg erscheint, geometrisch einsichtig.

Das, was die Quantentheorie beschreibt, liegt an der Grenze zwischen dem nicht-gegenständlichen und dem gegenständlichen Bereich. Erst aus dieser Sicht – durch die Betrachtung von *beiden* Seiten – werden Quantenobjekte verständlich.

Allerdings ist es für die Auflösung der Paradoxien der QT-Interpretation gar nicht notwendig, *real* zu definieren; es ist völlig ausreichend, *real* einfach als *nicht verschwindend* aufzufassen, also zu behaupten, dass das, was existiert – wie auch immer es definiert ist – nicht verschwinden kann.

#### **4. Einwand**

*Die Amplituden in der Wellenfunktion sind komplexe Zahlen. Sie können sich daher nicht auf etwas Existierendes beziehen.*

Hier gilt genau dasselbe, was schon beim dritten Einwand gesagt wurde: erst beim Aufbau der Physik von den Voraussetzungen des Seienden her wird klar, warum zur Konstruktion von *Objekten* imaginäre Zahlen notwendig sind.

#### **5. Technische Einwände**

Es gibt auch einige Einwände gegen eine realistische Interpretation der Wellenfunktion, die auf "technische Probleme" bei solchen Interpretationsversuchen zurückgehen.

Ein wichtiges Beispiel: Auch schon vor der Quantentheorie konnten die Atomspektren als Teilfrequenzen eines Gesamtschwingungszustands, der durch eine Fourier-Analyse zerlegt wird, mit guter Näherung dargestellt werden – mit Ausnahme der Amplituden, die stark von den Anregungsbedingungen abhängen, während sie bei der Fourier-Analyse eindeutig sein müssten.

Ich habe dieses Beispiel deshalb gewählt, weil hier deutlich wird, dass Probleme dieser Art unter Umständen schon allein durch die Aufhebung einer unnötig starken Einschränkung in den Voraussetzungen gelöst werden können: Setzt man die Modellannahmen aus 3.6. voraus, verschwindet das Problem. Wenn man die Gesamtschwingungszustände als Attraktoren auffasst, wird sofort klar, dass die Fourier-Zerlegung nur in den Fällen exakt zutreffen kann, in denen der Zustand des schwingenden Systems genau auf einem Attraktor liegt. Alle anderen Zustände, die zwischen den Attraktoren liegen und in unserem Modell ebenfalls vorkommen, müssen sich hinsichtlich der Amplituden unterscheiden. Die "Unterschiede in den Anregungsbedingungen" beziehen sich in unserem Modell ja auf die jeweils neu hinzukommenden Wellen, die sich den schon vorhandenen überlagern. Unter dieser Voraussetzung wird die Änderung der Teilwellen-Amplituden selbstverständlich.

Wie schon bei meinen bisherigen Ausführungen will ich mich aber auch hier auf die wirklich grundsätzlichen Argumente beschränken und keine weiteren technischen Fragen diskutieren.

## 6. Weitere Einwände

Die bisher diskutierten Einwände waren alle gegen die realistische Interpretation der Wellenfunktion gerichtet. Den wichtigsten Bedenken gegen die daraus folgenden Hypothesen – dass *keine Reduktion* stattfindet und dass *Teilchen keine elementaren Objekte* sind, sondern stationäre Wellenzustände – wurde schon in den vorhergehenden Abschnitten entgegnet.

Es wurde gezeigt, dass der Verzicht auf die *Reduktion der Wellenfunktion* an den quantenmechanischen Voraussagen über Ereigniswahrscheinlichkeiten nichts ändert. An die Stelle der Reduktion tritt ein gewöhnlicher physikalischer Prozess. Die absurde Annahme, dass Wellenphänomene, die ihre Existenz durch Interferenz beweisen, einfach verschwinden, entfällt also.

Als Begründung dafür, dass bestimmte *Teilchen elementare Phänomene* sind, wird üblicherweise angeführt, dass sie *unteilbar* sind: sie treten stets als ganze und in identischer Weise auf.

Die alternative Hypothese, dass Teilchen stationäre Zustände von Wellen bzw. Übergänge zwischen solchen Zuständen sind, ändert daran allerdings nicht das Geringste: Diese Definition *erklärt* sogar, warum Teilchen *immer* als ungeteiltes Ganzes auftreten. Wie sollte ein stationärer Wellenzustand auch geteilt werden? Er ist nur *als Ganzes* stabil, und auch beim Übergang auf einen benachbarten stabilen Zustand wäre es unsinnig, von einer "Teilung" zu reden. Wiederum ist die Analogie zu stehenden Wellen hilfreich: Konstante Randbedingungen vorausgesetzt, gibt es nur die diskrete Folge möglicher Frequenzen und Wellenlängen und die – dem Beobachter un stetig erscheinenden – Übergänge

zwischen den Elementen dieser Folge. Die beobachtbaren Phänomene sind stets diskret, unteilbar und ununterscheidbar.

Das zweite wesentliche Element der üblichen Teilchenvorstellung ist die räumliche Begrenztheit. Aber gerade diese Begrenztheit ist ja auch das Charakteristikum stationärer Wellenzustände: sie sind durch räumliche Begrenzung *definiert* und können nur unter entsprechenden Randbedingungen, d.h. in *Feldern* auftreten. Außerhalb dieser Felder gibt es keine stationären Zustände, und die Wellen erscheinen wieder in ihrer anderen Gestalt – sie laufen auseinander.

### ***3.10. Erklärung der Unschärfe; Interpretation des Formalismus***

Jeder Gegenstand hat zu jedem Zeitpunkt einen Ort und eine Geschwindigkeit – jedenfalls, solange man sich einen Gegenstand als etwas vorstellt, was in jedem Augenblick ein wohldefiniertes Raumvolumen einnimmt. Von genau dieser Vorstellung ist die Physik vor dem 20. Jahrhundert ausgegangen, und deshalb war die Verwunderung groß, als sich herausstellte, dass es unmöglich ist, bei *sehr kleinen* Gegenständen beides, Ort und Geschwindigkeit, zur selben Zeit genau zu ermitteln. Anfangs wurde dies durch die Messung begründet, im Lauf der Zeit aber wurde klar, dass es sich um eine Begrenzung der Natur selbst handelt.

Am Beginn der objektiven und lokalen Interpretation der Quantentheorie (in den Abschnitten 3.4. und 3.5.) standen die alternativen Darstellungen des Lichtelektrischen und des Compton-Effekts, und zwar ohne alle physikalischen Begriffe und Zusammenhänge, allein auf die mathematische Definition von Wellen gestützt und auf die Annahme, dass beide Partner der Wechselwirkung, Licht und Elektron, Wellen sind, die sich überlagern. Im Fall der Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie steht damit fest, dass das Wellenkonzept fundamental ist und das Teilchenkonzept abgeleitet. Das bedeutet, dass hier die Gleichungen

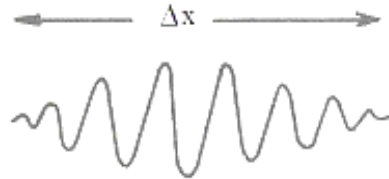
$$E = h\nu \quad \text{und} \quad p = h * 1/\lambda$$

nicht auf Dualismus oder Komplementarität hinweisen, sondern als *Definitionsgleichungen* für Energie und Impuls aufgefasst werden müssen.<sup>44</sup>

---

<sup>44</sup> Dass die ungerichtete Größe *Energie* durch Frequenz und die gerichtete Größe *Impuls* durch Wellenlänge definiert wird, ist in einer Welt aus Wellen selbstverständlich. Im Abschnitt 2.6. wurde gezeigt, dass die Konstruktion von Bewegung aus Wellenüberlagerungen direkt zu den de Broglie'schen Materiewellen führt. Daraus folgen dann auch die Definitionen von Energie und Impuls materieller Objekte. (Die Bedeutung der Konstanten  $h$  wird erst im zweiten Teil erörtert.)

Für die so definierte Größe *Impuls* gilt dann in Verbindung mit der Größe *Ort* eine "Unschärferelation", und zwar einfach deshalb, weil bei räumlich begrenzten Wellenzügen (Wellenpaketen) wie in der folgenden Skizze



(S9)

bekanntlich *immer* eine "Unschärferelation"

$$\Delta x * \Delta(1/\lambda) \geq 1$$

gilt. Solche Wellenzüge *haben* einfach keine eindeutige Wellenlänge. Sie sind aus Wellen mit verschiedenen Wellenlängen zusammengesetzt. Je kleiner die räumliche Eingrenzung  $\Delta x$  wird, umso größer wird das Intervall der benötigten Wellenlängen. Je genauer umgekehrt die Wellenlänge – und damit in unserem Fall zugleich die Geschwindigkeit – festgelegt ist, desto größer wird die Ortsunschärfe  $\Delta x$ . In Verbindung mit der Gleichung

$$p = h * 1/\lambda$$

ergibt sich also

$$\Delta x * \Delta p \geq h .$$

Das ist ja zur Genüge bekannt. Es musste aber dennoch erwähnt werden, weil es im Fall der üblichen Interpretation der Quantenmechanik nicht als *Erklärung* der Unschärfe betrachtet werden kann, sondern bloß als eine rein formale Tatsache. Zur Erklärung wird es erst durch die Annahme, dass Teilchen stationäre Wellenzustände sind und dass daher der Impuls durch die Wellenlänge *definiert* ist.

*Für die Größen Impuls und Ort gilt also Folgendes:*



1. Beide Größen sind als Welleneigenschaften *definiert*, und sie entsprechen bestimmten *Wellenarten*: dem Impuls werden Sinuswellen zugeordnet, dem Ort Pulswellen (das sind Wellen, deren Amplitude nur in einem Punkt ungleich 0 ist).

2. Zwischen beiden Größen besteht eine Unschärferelation. *Diese Unschärfe ist ein rein wellenmathematisches Faktum*. Sie wird auf die beiden physikalischen Größen durch deren Definition übertragen.

Was Ort und Impuls betrifft, sind damit alle Seltsamkeiten verschwunden: Während es im Rahmen der konventionellen Teilchenvorstellung absurd erscheint, dass Ort und Impuls nicht zugleich scharfe Werte haben können<sup>45</sup>, ist es bei der alternativen Teilchendefinition – bei der Gegenstände eben *kein* wohldefiniertes Raumvolumen einnehmen – vollkommen klar, dass das der Fall sein muss.

Die Frage ist, ob sich dieses Schema auf alle physikalischen Attribute von Objekten übertragen lässt. Die Antwort ist *ja*. Genau genommen gilt sogar, dass gar nichts übertragen werden muss – die Quantenmechanik *ist* dieses Schema. Sie muss also nur anders interpretiert werden.

Betrachten wir das quantenmechanische Schema in seiner einfachsten Form:

Messgrößen sind Observablen. Ihnen werden Operatoren zugeordnet. Durch die Anwendung eines Operators auf den Vektor im Hilbertraum, der den Zustand des Messobjekts repräsentiert, wird dieser Zustandsvektor in eine Reihe von Eigenfunktionen zerlegt, d.h. es wird eine *Spektralanalyse* durchgeführt: Eigenfunktionen sind Wellen, deren Form von der Art des Operators abhängt. (Z.B. sind die de Broglie'schen Materiewellen Eigenfunktionen des Impulsoperators, stehende Wellen auf Kugelflächen – d.h. Kugelflächenfunktionen – sind die Eigenfunktionen des Drehimpulsoperators.)

Die Zuordnung von Observablen zu Operatoren bedeutet damit zugleich eine Zuordnung zu *Klassen von Wellen*. Es gilt aber ganz allgemein, dass es unter den Klassen von Wellen, in die eine Wellengestalt zerlegt werden kann, stets Paare gibt, zwischen denen – wie bei Sinuswellen und Pulswellen – eine *Unschärferelation*<sup>46</sup> besteht. Das ist somit auch bei der spektralen Zerlegung des Zustandsvektors der Fall. Und diese Unschärfe überträgt sich wiederum auf die durch diese Wellenklassen *definierten* physikalischen Größen.

---

<sup>45</sup> Man versuche, sich ein Auto vorzustellen, das sich weder an einem genau bestimmten Ort befindet noch eine genau bestimmte Geschwindigkeit hat. Das ist unmöglich. Der konventionelle Teilchenbegriff ist aber eine Abstraktion solcher Objekte. In ihm hat sich der Begriff der *materiellen Substanz* erhalten.

<sup>46</sup> Bei einer Zerlegung in zwei solche Wellenklassen kann das Produkt der *Bandbreiten* nicht kleiner als 1 werden.

Das bedeutet: Das Schema, das gerade eben für Ort und Impuls beschrieben wurde, gilt in gleicher Weise für alle physikalischen Attribute (Observablen): Sie sind durch Wellenklassen definiert, und die für sogenannte kanonisch konjugierte Attribute gültige Unschärferelation ist eine rein wellenmathematische Gesetzmäßigkeit, die auf die Attribute durch deren Definition übertragen wird.

Wie ist nun dieses formale Schema von dem hier eingenommenen Standpunkt aus zu interpretieren?

Die wesentlichen Elemente der Interpretation wurden schon beschrieben und erklärt. Ich will sie hier zusammenfassen:

Das Objekt, das als Folge einer Messung auftritt, ist *nicht* dasselbe Objekt wie dasjenige, an dem die Messung vollzogen wird; dieses ist (im Allgemeinen) eine Wellengruppe, deren Teilwellen zu verschiedenen Messereignissen beitragen. (Siehe das Schema von 3.7.)

Der Zustandsvektor repräsentiert das Messobjekt. Er bezieht sich also auf das Wellenpaket *vor* der Messung, und die Spektralanalyse bezieht sich somit auf die Teilung dieses Wellenpakets in Wellen, die derjenigen Wellenklasse angehören, der die Eigenschaft zugeordnet ist, die gemessen werden soll.

Da die Klasse der Wellen, in die der Zustandsvektor geteilt wird, frei wählbar ist, enthält er alle messbaren Eigenschaften *als Möglichkeiten*, aber nicht etwa im Sinne Heisenbergs als eigenständige Form der Existenz bzw. Nicht-Existenz, sondern in einem völlig alltäglichen Sinn: Jede der im Wellenpaket enthaltenen Wellen, die zu irgendeiner Klasse gehören, kann zur Entstehung eines Objekts – des Objekts der aktuellen Messung oder des Objekts einer späteren Messung – beitragen.

Im Experiment ist es meist erforderlich, das Wellenpaket *tatsächlich* zu zerlegen, wie das etwa im Beispiel am Ende von 3.7. der Fall war. Die Verteilung der Messwerte wird dann, wie in diesem Beispiel erläutert, der Verteilung der Amplitudenquadrate der im Zustandsvektor enthaltenen Wellen entsprechen.

Das gemessene Objekt – der Träger der gemessenen Variablen – wird, sofern es sich um ein Objekt atomarer oder molekularer Größenordnung handelt, in jedem Fall durch den Messprozess *neu gebildet*.<sup>47</sup> Erst durch diese Neuformation der Messobjekte können die Wellen, die der Zustandsvektor

---

<sup>47</sup> Eine interessante Frage ist, wie groß bzw. wie komplex die Objekte sein können, die bei einem quantenmechanischen Messprozess (etwa beim Doppelspalt-Experiment) in Teilwellen zerlegt werden und sich dann an verschiedenen Orten neu formieren. Die Grenze muss jedenfalls dort liegen, wo die *Gestaltinformation* – die in den Frequenzen, Wellenlängen und Phasenbeziehungen der Wellen enthalten ist, aus denen die Objekte gebildet sind – verloren geht, so dass die Neubildung formal identischer Objekte nicht mehr möglich ist.

enthält, zu *gemessenen Eigenschaften* werden, mit anderen Worten: kann das Mögliche zum Wirklichen werden.

Es ist zu sehen, dass einige der bekannten Formulierungen völlig identisch in die realistische Interpretation übertragen werden können – nur ihr Sinn ändert sich: aus Aussagen, die auf die Unmöglichkeit hinweisen, sich von dem, was vorgeht einen Begriff zu machen, werden Aussagen über eine begreifbare Wirklichkeit.

Natürlich muss in jedem Fall der Zuordnung eines Attributs zu einer Wellenklasse erklärbar sein, was der physikalische Grund für diese Zuordnung ist. Im Fall von Energie und Impuls ist der Großteil der Erklärung schon geleistet worden. Eine kurze Wiederholung:

Bewegung (Geschwindigkeit) von Objekten ist durch *Superposition von Wellen* definiert. Die Existenz gleichförmiger Bewegung wird dadurch zu einer Selbstverständlichkeit. Änderung der Bewegung wird durch Änderung der Frequenzen verursacht. Damit ist die konzeptionelle Basis für die Definition von Energie und Impuls geschaffen, und es kann eingesehen werden, warum der Größe Energie die *Frequenz* zugeordnet wird und warum der Größe Impuls *Sinuswellen* (relativistische Phasenverschiebungswellen) zugeordnet werden. Formal wurden diese Definitionen bei der Beschreibung von Photoeffekt und Compton-Effekt demonstriert und bestätigt.

Warum in atomaren und molekularen Größenordnungen Spin und Drehimpuls *Kugelflächenfunktionen* (stehende Wellen auf Kugeloberflächen) zugeordnet sind, wird im zweiten Teil erklärt.

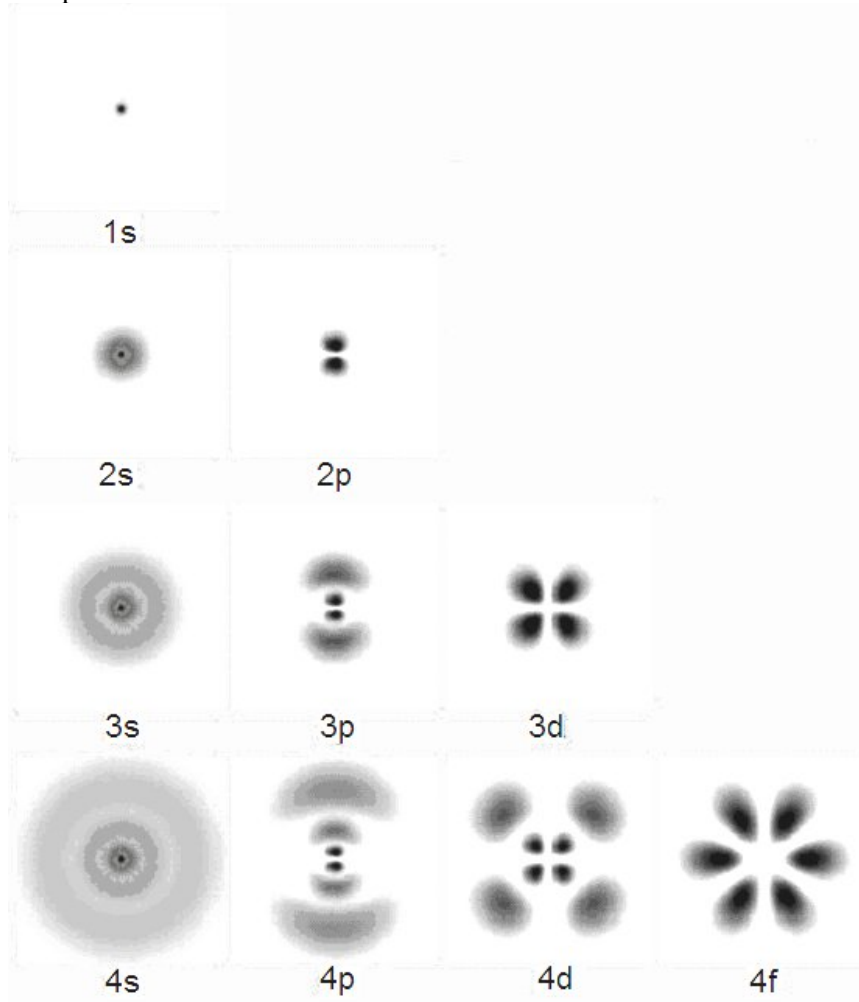
Damit sind die wichtigsten Zuordnungen auf einsichtige Zusammenhänge zurückgeführt. Allerdings muss hinzugefügt werden, dass alle Erklärungen erst dann vollständig sind, wenn die Größe "Masse" geometrisch definiert werden kann und wenn (was ebenfalls im zweiten Teil geschehen wird) die Existenz der Planckschen Konstante  $h$  (z.B. in der Gleichung  $E = h \nu$ ) so erklärt wird, dass sie nicht mehr als Beweis für die fundamentale Diskretheit des Seienden aufgefasst werden muss.

Die Quantentheorie vereinigt also nicht etwa die Wellen- und Teilcheneigenschaften von Objekten der fundamentalen Schicht der Wirklichkeit. Vielmehr treffen sich in ihr die fundamentale Wellenwelt und die daraus erzeugte gegenständliche Erfahrungswelt. Damit ist zugleich geklärt, weshalb die Quantentheorie unumgänglich ist: alle physikalischen Beschreibungen – seien sie auch noch so abstrakt – dienen letztlich der Erklärung erfahrbarer gegenständlicher Sachverhalte.

Zusammengefasst kann behauptet werden: *Die Quantentheorie ist genau jene Theorie, die es ermöglicht, das Fundament der Wirklichkeit, das ausschließlich aus Wellen besteht, durch Größen zu beschreiben, die der alltäglich erfahrbaren Gegenstandswelt entstammen und für diese geeignet sind.*

Wie hier gezeigt wurde, wurzelt die gegenwärtige erkenntnistheoretische Verwirrung nicht im Formalismus der Quantentheorie, sondern in ihrer Interpretation: erst die Unfähigkeit, sich von gegenständlichen Denkmustern zu lösen, erzeugt Paradoxien und führt zum Verlust jeglichen Begriffs der Wirklichkeit.

Betrachten wir als letztes Beispiel einige Eigenzustände des Wasserstoff-Atoms. Die folgende Skizze zeigt die Amplitudenquadrate der jeweiligen Wellenfunktionen – üblicherweise als "Dichteverteilung" interpretiert.



(S10)

Wir können nun entweder behaupten, diese Wellenfunktionen seien nichts als mathematische Hilfsmittel zur Bestimmung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit des (punktförmigen?) Elektrons – mit all den eben erwähnten absurden Konsequenzen, oder wir akzeptieren, was eigentlich evident ist: dass sich alle diese Bilder auf wirklich existierende stationäre Wellenzustände beziehen.

Wir haben also die Wahl:

Entweder wir wählen das *Nebeneinander* von Teilchen und Wellen.

Dann haben wir uns für einen Sachverhalt entschieden, der für sich allein schon absurd ist, und der überdies eine Reihe weiterer Absurditäten nach sich zieht: Reduktion der Wellenfunktion, objektive Wahrscheinlichkeiten, Nichtlokalität.<sup>48</sup>

Oder wir nehmen an, dass Teilchen nicht als *substanzielle Entitäten*, sondern als *dynamische Muster* unteilbar sind, weil sie stationären Wellenzuständen entsprechen, und dass Teilcheneigenschaften deshalb durch Wellenklassen *definiert* sind.

Dann verschwinden alle Absurditäten, und die Zusammenhänge werden einsichtig.

Ich schließe damit den allgemeinen Teil der lokalen und objektiven Interpretation der Quantentheorie ab. In den folgenden Abschnitten soll demonstriert werden, wie durch die Anwendung der Modellannahmen auf bekannte quantenmechanische Szenarien all das, was zuvor unerklärlich und paradox erschien, einfach verschwindet.

---

<sup>48</sup> Lässt man die Annahme der Reduktion der Wellenfunktion fallen, dann kann die Bellsche Ungleichung nicht mehr abgeleitet werden, wie gleich anschließend gezeigt wird.

### ***3.11. Anwendungen***

Der entscheidende Schritt zur Klärung der nun folgenden, bekannten Paradoxien ist in allen Fällen die Annahme, dass keine Reduktion der Wellenfunktion stattfindet – oder um es ausführlicher zu sagen: dass quantenmechanische Amplitudenquadrate niemals verschwinden, weil sie sich immer auf die Intensitäten existierender Wellen beziehen, und dass sie nur deshalb die Wahrscheinlichkeiten von Messereignissen wiedergeben, weil die Ereignisse Übergänge sind, die durch stetige Summierung ebendieser Wellenintensitäten ausgelöst werden.

Die Paradoxien lösen sich dann ganz von selbst auf und es wird unmittelbar klar, was eigentlich geschieht. So etwa bei dem Paradoxon von de Broglie, dem

#### **Elektron in der Schachtel**

Nehmen wir an, in Paris wird ein Elektron in einer Schachtel eingefangen, deren Wände das Elektron reflektieren. Nach kurzer Zeit wird die Wellenfunktion des Elektrons über die ganze Schachtel verteilt sein. Nun teilt man die Schachtel durch einen Schieber in zwei gleich große Hälften und bringt eine Hälfte nach Tokio. Dann hat man in jeder Hälfte eine Wahrscheinlichkeit von je  $1/2$ , das Elektron vorzufinden oder nicht. Wird die Hälfte in Paris geöffnet, dann findet man darin ein Elektron oder nicht, aber jedenfalls "reduziert" die Pariser Messung die gesamte Wellenfunktion und verwandelt dadurch den Zustand der in Tokio befindlichen Hälfte von einer Überlagerung der Zustände *vorhanden* und *nicht vorhanden* in eine eindeutige Wirklichkeit. Auch hier stößt man also auf die Nichtlokalität der üblichen Sichtweise.

Aus unserer Sicht ergibt sich dagegen Folgendes:

In jeder Schachtelhälfte sind Elektron-Wellen, also kann in jeder Schachtelhälfte ein Elektron gefunden werden. Ob das der Fall ist, hängt von den Ausgangsbedingungen in den zum Auffinden verwendeten Detektoren ab, d.h. davon, ob darin einer der lokalen Schwingungszustände (eine der Elektronenhüllen) nahe genug an der Grenze zum "Umspringen" in den nächsten stabilen Zustand ist oder nicht (siehe Abschnitt 3.6.). Da im Fall des Erscheinens des Elektrons in einer Schachtelhälfte die Wellenfunktion in der anderen Hälfte *nicht* verschwindet, löst sich der Zusammenhang zwischen den Schachtelhälften auf, der dem Paradoxon zugrunde liegt.

## Schrödingers Katze

Der Sachverhalt ist so klar, dass dazu nichts gesagt werden muss. Es findet ein Übergang (Ereignis) statt oder nicht, und die Katze ist tot oder nicht.

Nicht benötigt werden: *Mess-Akt, Beobachter, Bewusstsein, Aufspaltung des Universums, Dekohärenz, Krötenpulver, Furunkelextrakt usw.*

## EPR-Paradoxon

Nun also zum zweiten Durchgang der lokalen Rekonstruktion des EPR-Szenarios. Diesmal soll der Zusammenhang zwischen der lokalen Auflösung des Paradoxons und der zentralen Annahme der Alternativinterpretation der Quantentheorie im Mittelpunkt stehen.

Es wird gezeigt:

*Lässt man die Annahme der "Reduktion der Wellenfunktion" fallen und nimmt stattdessen an, dass alle in ihr enthaltenen Wellen zu Übergängen (Messereignissen) beitragen, dann kann die Bellsche Ungleichung nicht abgeleitet werden.*

Das lässt sich auf folgende Weise durchführen:

Wir betrachten wieder Photonenpaare, die durch den Zerfall eines Spin-0-Systems erzeugt werden.

Wir nehmen an, die Messungen auf einer Seite werden nicht von den Messungen auf der anderen Seite beeinflusst.

Sei  $\alpha$  der zufällige Winkel zwischen der Polarisation des linken Photons und der Richtung des linken Polarisators. Dann gibt es zwei Wahrscheinlichkeitsamplituden:  $\cos \alpha$  und  $\sin \alpha$ ; Die Wahrscheinlichkeit des Durchgangs ist  $\cos^2 \alpha$ , die des Nicht-Durchgangs  $\sin^2 \alpha$ .

Setzt man nun, wie üblich, die Reduktion der Wellenfunktion voraus, dann verschwindet die Wahrscheinlichkeitsamplitude  $\cos \alpha$ , falls das Photon nicht durchgeht, und die Ausgangsbedingungen der nächsten Messung sind identisch mit den Ausgangsbedingungen der soeben durchgeführten, d.h. der folgende Messvorgang ist unabhängig von dem Messvorgang, der soeben stattgefunden hat.

Lässt man dagegen die Annahme der Reduktion der Wellenfunktion fallen, dann ist  $\cos^2 \alpha$  nicht mehr bloß die Wahrscheinlichkeit des Erscheinens eines Photons, sondern *auch* das Amplitudenquadrat einer *wirklich durchgegangenen Welle*, die anschließend den Detektor erreicht.

Da diese Welle nicht verschwindet, aber auch keinen Übergang auslöst, verbleibt sie im Detektor und trägt zu den nachfolgenden Übergängen (Messungen) bei. Dadurch ändern sich die Ausgangsbedingungen der nachfolgenden Messungen: diese sind dann nicht nur von den Wellen abhängig, die den Detektor seit der vorherigen Messung erreicht haben, sondern auch von Wellen, die schon früher angekommen sind. Die Winkel  $\alpha$  sind jedoch zufällig, die Folge der Winkel ändert sich somit bei jeder Versuchsreihe. Das bedeutet, dass die Anfangsbedingungen der Messungen niemals gleich sind und dass die Messergebnisse untrennbar mit dem Verlauf des jeweiligen Experiments verbunden sind.

Um die Bellsche Ungleichung ableiten zu können, müssen aber Aussagen über weitere Messungen an denselben Objekten möglich sein. Die Annahme der Reduktion der Wellenfunktion garantiert, dass jede einzelne Messung vom Versuchsverlauf unabhängig ist. Unter dieser Voraussetzung ist die Information bezüglich weiterer Messungen an denselben Objekten verfügbar.

Ohne Reduktion können aber die Messereignisse nicht aus dem Versuchsverlauf gelöst werden, weil sie vom spezifischen, unwiederholbaren Ablauf des Versuchs abhängen. Daher kann überhaupt nichts darüber gesagt werden, was der Fall wäre, wenn dieselben Objekte ein weiteres Mal gemessen würden. Das hat zur Folge, dass die Bellsche Ungleichung nicht mehr abgeleitet werden kann. (Diese Überlegungen finden sich ausführlich im ersten Kapitel.)

Das heißt: Die Reduktion der Wellenfunktion ist eine notwendige Voraussetzung der Bellschen Ungleichung. Lässt man die Annahme der Reduktion fallen – mit anderen Worten: gesteht man den Wellen Existenz zu, so dass sie sich nicht einfach in Nichts auflösen können – dann verschwindet der Beweis der Nichtlokalität.

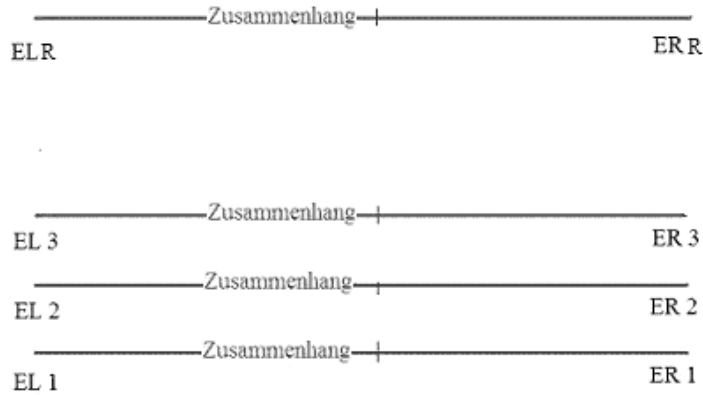
Hier ist also der Verzicht auf die Reduktion der Wellenfunktion zwar nicht gleichbedeutend mit der Auflösung des Paradoxons, aber der entscheidende Schritt ist getan: das Szenario ist aus dem Griff der Bellschen Ungleichung befreit und offen für lokale Beschreibungen. Es gibt keinen Grund mehr, anzunehmen, dass es *nicht* lokal beschrieben werden kann.

Zur Illustration zwei Skizzen:

In der Standardinterpretation ist jedes Ereignispaar ( $EL_i, ER_i$ ) von allen vorhergehenden Ereignispaaren und damit vom Verlauf des Experiments unabhängig. Dann gilt die Bellsche Ungleichung, und

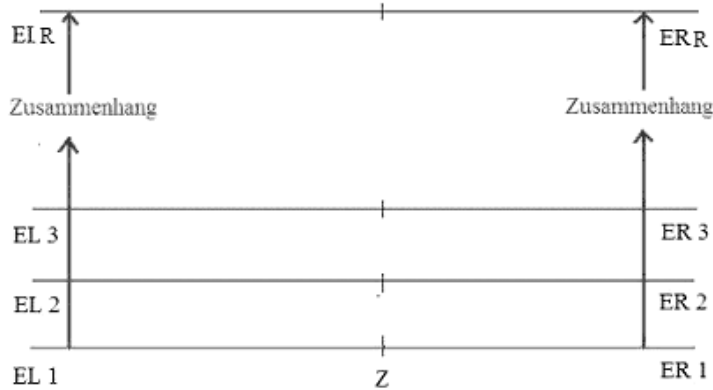


es ist daher notwendig, zwischen  $EL_i$  und  $ER_i$  einen *nichtlokalen* Zusammenhang anzunehmen, wie in der folgenden Skizze dargestellt (R ist die Anzahl der Ereignispaare):



(S11)

Ohne die Reduktion ist dagegen jedes Ereignispaar von allen vorhergehenden Ereignispaaren und damit vom spezifischen Versuchsverlauf abhängig:



(S12)

Die Bellsche Ungleichung kann hier nicht abgeleitet werden. An die Stelle des *nichtlokalen* Zusammenhangs zwischen *räumlich* getrennten Ereignissen  $EL_i$  und  $ER_i$  in der Standardinterpretation tritt also in der Alternativinterpretation der *lokale* Zusammenhang zwischen *zeitlich* getrennten Ereignissen (im selben Detektor).

Wie im ersten Kapitel festgestellt, sind an eine lokale Beschreibung des Szenarios folgende Forderungen zu stellen:

Die von der Quantenmechanik vorausgesagten Wahrscheinlichkeiten müssen in konsistenter Weise als Funktionen von Variablen dargestellt werden, deren Träger direkt am Ort der Messung – also in den Detektoren – lokalisiert sind. Außerdem muss die Struktur des Szenarios übernommen werden, d.h. die Objekte, die die Träger dieser Variablen sind, müssen vom Zerfallsort  $Z$  stammen, dann die Polarisatoren durchqueren und schließlich die Detektoren erreichen.

Die Modellierung selbst ergibt sich aus den allgemeinen Annahmen der lokalen und objektiven Interpretation, wie sie in diesem Kapitel präsentiert worden ist:

Stetige Wellenabstrahlung führt zu unstetigen Übergängen ("Photonen"). Statt der Abstrahlung von Photonenpaaren, die zueinander rechtwinkelig polarisiert sind, nehmen wir daher die Abstrahlung von Paaren von *Wellen* an, die zueinander rechtwinkelig polarisiert sind und aus denen sich die abgestrahlten Wellengruppen zusammensetzen.

Im lokalen Modell muss die Zahl der Ereignisse in einem Detektor der *Gesamtintensität* der Wellen proportional sein, die auf den Detektor treffen.

Wir definieren also Zufallsvariable folgendermaßen:

( $\delta$  ist der Winkel zwischen den Polarisatoren,  $\alpha_i$  der zufällige Winkel zwischen der Wellenpolarisation und der Ausrichtung des Polarisators links, somit  $(\alpha_i + 90 - \delta)$  der entsprechende Winkel rechts)

$$X_i = \cos^2 \alpha_i \quad (1 \leq i \leq n) \quad (1)$$

$$Y_i = \cos^2 (\alpha_i + 90 - \delta) \quad (1 \leq i \leq n) \quad (1')$$

Die Wahrscheinlichkeit  $w_L$  ( $w_R$ ) eines Übergangs links bzw. rechts (d.h. des Auftretens eines "Photons" im linken bzw. rechten Detektor) ist unseren Modellannahmen zufolge gleich dem Erwartungswert der Zufallsvariablen:

$$w_L = w_R = E(X) = E(Y) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \cos^2 \alpha \, d\alpha = \frac{1}{2} \quad (2)$$

Das entspricht der quantenmechanischen Voraussage.

Der Erwartungswert ist aber nur zur Berechnung der Häufigkeit der Ereignisse in *einem* Detektor geeignet. Er enthält keine weitere Information. Um die Korrelation der Ereignisse auf beiden Seiten zu ermitteln, benötigen wir jedoch Information über den zeitlichen Zusammenhang zwischen diesen Ereignissen.

Wovon hängen die Zeitpunkte des Eintretens von Ereignissen ab? Mit Sicherheit vom zeitlichen Verlauf der beim Detektor ankommenden Intensitäten, d.h. von den zeitlichen Intensitätsschwankungen. Das Ausmaß dieser Schwankungen ist durch die *Varianz* der Zufallsvariablen gegeben.

Die Wahrscheinlichkeit der Ereignisse in *einem* Detektor lässt sich auf folgende Weise durch die Varianz der Zufallsvariablen ausdrücken: (Die Faktoren 2 und 1/4 erscheinen zunächst willkürlich. Sie werden gleich anschließend begründet.)

$$w_L = 2 * \text{Var}(X) + 1/4 = 1/2 \quad (3)$$

( Beweis:  $2 * \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (\cos^2 \alpha - 0.5)^2 d\alpha + \frac{1}{4} = \frac{1}{2}$  )

Der Zusammenhang zwischen den Intensitätsschwankungen auf *beiden* Seiten wird durch die *Kovarianz* der Zufallsvariablen ausgedrückt. Das legt die Vermutung nahe, dass die Wahrscheinlichkeit  $w_{LR}$  des Auftretens *gleichzeitiger* Übergänge auf beiden Seiten durch eine zu (3) analoge Gleichung gegeben ist, die statt der Varianz die Kovarianz enthält.

Für die Kovarianz gilt:

$$\begin{aligned} \text{Cov}(X,Y) &= E[(X - E(X))(Y - E(Y))] = \\ &= \int_0^{2\pi} (\cos^2\alpha - 0.5)(\cos^2(\alpha + 90 - \delta) - 0.5) d\alpha \frac{1}{2\pi} = -\frac{1}{8} + \frac{1}{4} \cos^2(90 - \delta) \end{aligned} \quad (4)$$

Daraus folgt, dass tatsächlich, analog zu (3), gilt:

$$W_{\text{LR}} = 2 * \text{Cov}(X,Y) + 1/4 = 1/2 \cos^2(90 - \delta) = 1/2 \sin^2\delta \quad (5)$$

Nach (4) liegt die Kovarianz – abhängig vom Winkel  $\delta$  – im Intervall zwischen  $-1/8$  und  $+1/8$ . Die Faktoren 2 und  $1/4$  haben also den Zweck, das Intervall  $[-1/8, +1/8]$  auf das (für die Wahrscheinlichkeit erforderliche) Intervall  $[0, 1/2]$  abzubilden.

Die Nummern der Zufallsvariablen geben ihre zeitliche Ordnung an. Deshalb bedeutet (5):

*Die Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Auftretens von Photonen in beiden Detektoren hängt vom Ausmaß der Übereinstimmung des Intensitätsverlaufs auf beiden Seiten ab.*

Für  $\delta = 0^\circ$  erreicht die Kovarianz ihr Minimum, und es gibt überhaupt keine gemeinsamen Ereignisse. Für  $\delta = 90^\circ$  erreicht sie ihr Maximum: in diesem Fall sind die Intensitäten auf beiden Seiten zu jedem Zeitpunkt einander gleich, und alle Ereignisse sind gemeinsame Ereignisse.

Gleichung (5) lässt sich leicht verallgemeinern. Nehmen wir an, dass der Winkel zwischen den Polarisierungen der gemessenen Photonen – der in unserem Modell gleich dem Winkel zwischen den Polarisierungen der abgestrahlten Wellen ist – nicht  $90^\circ$  beträgt, sondern den beliebigen Wert  $\zeta$  hat. Für die Zufallsvariablen muss dann gesetzt werden

$$X_i = \cos^2 \alpha_i \quad (1 \leq i \leq n) \quad (1a)$$

$$Y_i = \cos^2 (\alpha_i + \zeta - \delta) \quad (1 \leq i \leq n) \quad (1a')$$

(4) bleibt gültig, wenn  $90^\circ$  durch  $\zeta$  ersetzt wird, und (5) wird dann zu

$$W_{LR} = 2 * \text{Cov}(X,Y) + 1/4 = 1/2 \cos^2(\zeta - \delta) \quad (6)$$

**(6) führt in *allen* möglichen Fällen zu Resultaten, die mit der Quantenmechanik übereinstimmen.**

Der entscheidende Punkt ist:

**Die durch (6) ermittelten Resultate sind *lokal*.**

Warum? – Das folgt daraus, dass die Zufallsvariablen selbst objektiv und lokal sind: es sind Amplitudenquadrate von Wellen, die von  $Z$  aus abgestrahlt werden, nach dem Durchqueren der Polarisatoren die Detektoren erreichen und dort Übergänge auslösen.

Die Kovarianz selbst ist nichts anderes als eine Formel, die den Grad des linearen Zusammenhangs zwischen zwei Reihen von Zufallsvariablen ausdrückt. Sie ist vollständig durch die beiden objektiven, lokalen Zufallsvariablen bestimmt, und es ist kein Platz für verborgene Nichtlokalität.

Die Behauptung der Nichtlokalität von Gleichung (6) ist also keine mögliche Position. Wer nun dennoch weiterhin die Nichtlokalität der quantenmechanischen Voraussagen behaupten will, die in allen Fällen mit den aus Gleichung (6) ermittelten übereinstimmen, dem verbleibt als einziger Ausweg, diese vollständige Übereinstimmung als ***Zufall*** aufzufassen.

Die Annahme der Zufälligkeit dieser Übereinstimmung erscheint allerdings aus drei Gründen wenig plausibel:

1. Die Bellsche Ungleichung kann nicht abgeleitet werden. Es kann also gar kein Grund mehr dafür angegeben werden, warum eine lokale Interpretation *nicht* möglich sein sollte
2. Das Szenario wurde komplett in das lokale Modell übernommen.
3. Die Modellierung folgt genau den allgemeinen Annahmen der lokalen und objektiven Interpretation der Quantentheorie.

Gleichung (6) liefert nicht nur die korrekten Wahrscheinlichkeiten, sie erfüllt auch die an eine lokale Lösung gestellte Forderung, die Ereignisse – den Modellannahmen entsprechend – in den spezifischen Verlauf einer Mess-Serie einzubetten.

## Computersimulation

Zur Feststellung des Konvergenzverhaltens habe ich einige Computersimulationen von (5) durchgeführt. Hier die Ergebnisse für 30, 100 und 1000 Paare von Zufallsvariablen und für einige charakteristische Winkel  $\delta$ . (Für die Kovarianz sind jeweils drei Resultate angegeben. Ganz rechts der QM-Sollwert. Alle Resultate beziehen sich auf Spin-0-Systeme.)

n = 30	delta	E(X)	2*Cov(X,Y)+1/4			QM Sollwert
	0	0.486	-0.010	0.006	0.020	0.
	22.5	0.492	0.039	0.075	0.111	0.073
	45	0.502	0.212	0.248	0.283	0.25
	67.5	0.511	0.407	0.421	0.436	0.427
	90	0.479	0.457	0.481	0.494	0.5
n = 100	delta	E(X)	2*Cov(X,Y)+1/4			QM Sollwert
	0	0.497	-0.012	0.000	-0.029	0.
	22.5	0.484	0.060	0.062	0.042	0.073
	45	0.481	0.243	0.228	0.234	0.25
	67.5	0.488	0.431	0.409	0.436	0.427
	90	0.530	0.498	0.497	0.529	0.5
n = 1000	delta	E(X)	2*Cov(X,Y)+1/4			QM Sollwert
	0	0.499	0.001	0.004	-0.011	0.
	22.5	0.491	0.073	0.070	0.066	0.073
	45	0.506	0.251	0.241	0.250	0.25
	67.5	0.508	0.431	0.417	0.434	0.427
	90	0.509	0.502	0.500	0.506	0.5

Abschließend soll noch erwähnt werden, dass sich  $W_{LR}$  auch durch Zufallsvariable auf *einer* Seite ausdrücken lässt:

Sei  $I = \{ i \mid 1 \leq i \leq n \}$  die Menge der Nummern der Zufallsvariablen bei insgesamt n Paaren.

Sei  $I_E = \{ i \mid \text{sign}(X_i - 1/2) = \text{sign}(Y_i - 1/2) \}$ ,  $I_D = \{ i \mid \text{sign}(X_i - 1/2) \neq \text{sign}(Y_i - 1/2) \}$ .

$$\text{Sei } SL_E = \sum_{i \in I_E} |X_i - 1/2|, \quad SL_D = \sum_{i \in I_D} |X_i - 1/2|$$

Dann gilt:

$$W_{LR} = \frac{1}{2} \frac{SL_E}{SL_E + SL_D} = \frac{1}{2} \cos^2(\zeta - \delta) \quad (7)$$

(Der Beweis kann nahezu unverändert aus dem ersten Kapitel übernommen werden.)

Weitere Kommentare zum 2-Photonen-Szenario erübrigen sich, da alles Notwendige schon im ersten Kapitel gesagt worden ist.

Was ist mit anderen Verschränkungsszenarien? Sofern es sich um Photonenverschränkung handelt, kann es kein Problem geben: erstens bleibt formal alles gleich wie bisher, und zweitens gilt Gleichung (6) in *allen* Fällen, auch für den Einzelprozess. Damit ist die Ursache der Korrelationen aufgeklärt und in den Formalismus integriert. Daher muss sich jede Photonenkorrelation auf das angegebene Schema zurückführen lassen.

Andere Verschränkungen habe ich nicht untersucht. Was aber das ursprüngliche EPR-Szenario betrifft, das sich auf Ort- und Impulsmessungen bezieht, ist Folgendes zu sagen:

Die zu messenden Objekte (z.B. "Teilchen") sind Wellengruppen, also Überlagerungen von Wellen mit verschiedenen Wellenlängen. Das bedeutet: Vor der Messung ist es nicht möglich, den Objekten einen bestimmten Impuls oder einen bestimmten Ort zuzuordnen. Auch wenn nach der Messung an einem Objekt der Messwert für das andere Objekt vorausgesagt werden kann, existiert er dennoch vor der Messung nicht.

Vor der Messung gibt es also weder einen eindeutigen Ort noch einen eindeutigen Impuls. In diesem Sinn existieren die Eigenschaften "Ort" und "Impuls" vor der Messung nicht. Auch in der lokalen und objektiven Interpretation werden sie erst durch die Messung erzeugt – allerdings nicht durch die Reduktion der Wellenfunktion, sondern durch einen physikalischen Prozess. (Wie beim Beispiel am Ende von Abschnitt 3.7.)

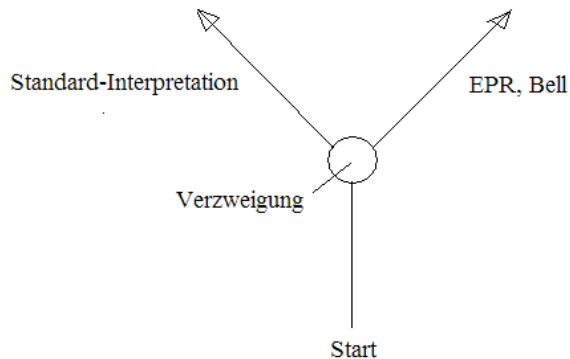
Die EPR-Annahme ist also falsch, und das EPR-Realitätskriterium<sup>49</sup> ist ungeeignet. Dass wir nach der Impulsmessung auf einer Seite das Ergebnis der Impulsmessung auf der anderen Seite voraussagen können, ist eine Folge der Symmetrie des Verlaufs auf beiden Seiten, und nicht, wie EPR irrtümlich annahmen, eine Folge davon, dass das "Teilchen" diesen Impuls schon vorher hatte. Vor der Messung gab es kein Teilchen und daher auch keinen eindeutigen Impuls.

## Bemerkungen

1. Bevor wir das EPR-Paradoxon endgültig verlassen, wenden wir uns noch kurz der Frage zu, inwiefern sich meine Argumente für eine lokale Wirklichkeit von den bisher zur Diskussion gestellten unterscheiden. (Ich beginne mit der Antwort. Die Erläuterung folgt unmittelbar anschließend.)

*Die hier vorgeschlagene Argumentation für eine lokale Interpretation verschränkter Systeme findet **in einem ganz anderen Bereich** statt als die bisherige Diskussion.*

Zunächst eine Skizze der Struktur des üblichen, wohlbekanntem Verzweigungs-Szenarios:



(S13)

Gemeinsamer Ausgangspunkt aller Varianten ist die quantenmechanische Beschreibung eines Paares verschränkter Objekte.

---

<sup>49</sup> Einstein, Podolsky und Rosen, a.a.O.: "Wenn wir, ohne auf irgendeine Weise ein System zu stören, den Wert einer physikalischen Größe mit Sicherheit [...] voraussagen können, dann gibt es ein Element der physikalischen Realität, das dieser physikalischen Größe entspricht."



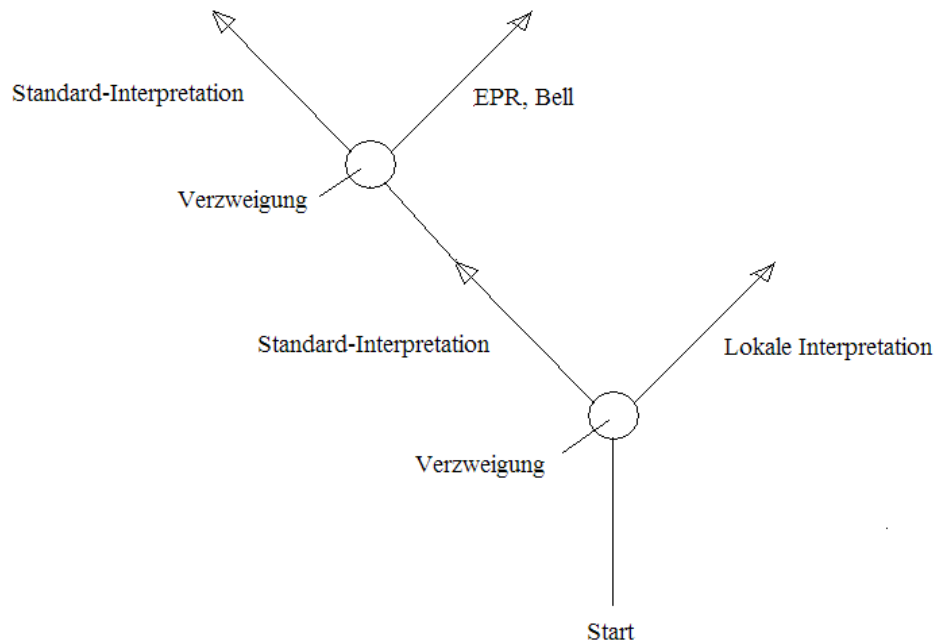
Am Verzweigungspunkt trennen sich dann die Auffassungen auf folgende Weise:

Die Verfechter der Standardinterpretation gehen davon aus, dass die beiden Mess-Ereignisse nicht voneinander getrennt werden können; Einstein, Podolsky und Rosen behaupten dagegen die Getrenntheit der beiden Ereignisse; Auch John Bell nimmt diesen Standpunkt ein, jedoch nur, um daraus einen Widerspruch zur Quantentheorie abzuleiten.

Soweit also das Szenario, in dem die Auseinandersetzung bisher stattgefunden hat.

Meine eigenen Argumente gehören jedoch nicht zu diesem Szenario. Sie greifen tiefer an, an einem Punkt, in dem von der Frage, ob die Messungen voneinander unabhängig sind oder nicht, noch gar nicht die Rede ist.

Die folgende Skizze dient dazu, diesen Sachverhalt zu illustrieren. Das Szenario der vorigen Skizze findet sich im linken oberen Teil wieder. Es ist hier also *nachgeordnet*. Bevor dieses Szenario überhaupt erreicht werden kann, muss erst ein anderes Verzweigungs-Szenario durchquert werden:



(S14)

Ausgangspunkt ist wieder die quantenmechanische Beschreibung eines Paares verschränkter Objekte.

Am ersten Verzweigungspunkt geht es jetzt aber *nicht* um die Frage der Lokalität. Hier muss vielmehr eine Entscheidung darüber getroffen werden, wie der *experimentelle Verlauf* interpretiert wird, und darüber, was ein *Ereignis* ist und wie es zustande kommt.

In der Standard-Interpretation wird jedes Ereignispaar als *selbständiges* Element einer Mess-Serie aufgefasst, das *unabhängig von den vergangenen Ereignissen* und somit auch unabhängig vom Versuchsverlauf ist. Diese Entscheidung führt zum linken Weg, und *erst nach dieser Entscheidung* kann das übliche, bekannte Verzweigungs-Szenario betreten werden.

Tatsächlich ist aber dann auch die Entscheidung über die Frage der Lokalität bereits gefallen, denn es kann ja nicht ernsthaft bezweifelt werden, dass der Weg, den EPR vorgeschlagen haben, durch die Bellsche Ungleichung und zahlreiche Experimente an verschränkten Systemen endgültig versperrt ist.

Daraus folgt, dass auf dem linken Pfad in der Skizze nur noch die Standardinterpretation möglich ist. Hier wird also die Nichtlokalität zur Gewissheit.

Wählt man hingegen die alternative Sichtweise des experimentellen Verlaufs, in der – wie am Beginn dieses Abschnitts beschrieben – die *Reduktion der Wellenfunktion nicht stattfindet* und in der deshalb die Ereignisse stets zu einer spezifischen, *nicht wiederholbaren* Mess-Serie gehören, so dass sie nicht losgelöst davon betrachtet werden können, dann ist man auf dem Pfad rechts in der Skizze, und das übliche Verzweigungs-Szenario wird überhaupt nicht erreicht.

Auf diesem Weg stellt sich die Frage der Nichtlokalität also gar nicht – die Verhältnisse sind hier einfach analog zu denen im Beispiel mit den Kugeln aus Abschnitt 1.3, wo es von Anfang an vollkommen klar ist, dass darin ausschließlich lokale Prozesse existieren.

In dieser Gegenüberstellung wird auch erkennbar, wie fundamental die für die Bewahrung der Lokalität erforderliche Änderung der Sichtweise der quantenmechanischen Wirklichkeit ist: Sowohl die Definition des *Ereignisses* als auch die des *Objekts* ändern sich. Auch die Definition der *Wechselwirkung* ist betroffen, und diese Aufzählung ließe sich nach Belieben fortsetzen.

2. Die Unabhängigkeit des aktuellen Ereignisses von allen vorhergehenden Ereignissen ist in der Standardinterpretation dermaßen selbstverständlich, dass die Frage, ob sie tatsächlich vorausgesetzt werden kann, niemals gestellt wird.

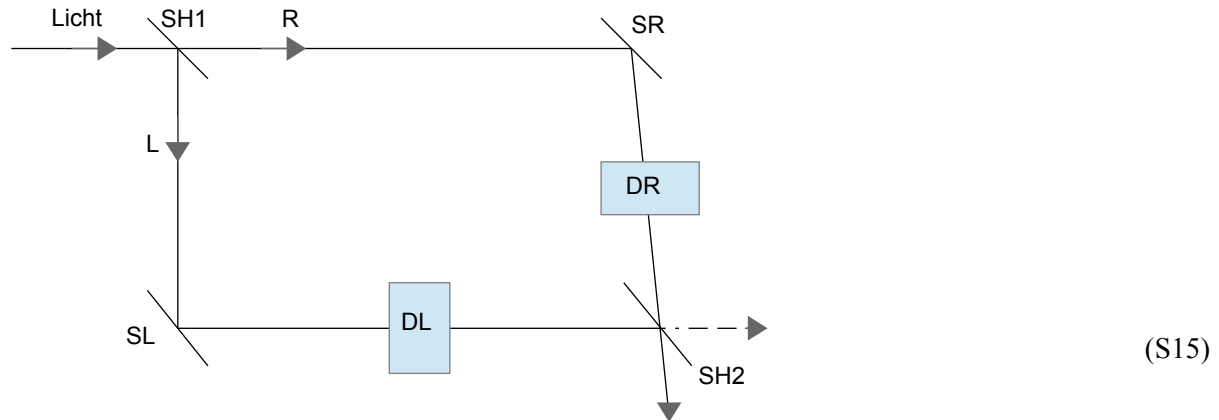
In der Standardinterpretation existiert das erste Verzweigungsszenario also überhaupt nicht.

Auch in diesem Fall ist der Grund dafür *letztlich* wieder, wie bei allen quantenmechanischen Interpretationsproblemen, die Bindung des Denkens an gegenständliche Analogien. Es sind diese Analogien – vor allem die Vorstellung von *Teilchen* – die die Interpretation in die Irre führen und Artefakte wie Nichtlokalität erzeugen.

Ein Modell des Messprozesses, in dem Objekte als *Teilchen* aufgefasst werden, isoliert den Messprozess und trennt ihn von der Vergangenheit, während das *Wellenmodell* ihn in einen Gesamtprozess integriert, wo jedes Ereignis von den vorausgegangenen Ereignissen abhängt – jedoch nur, wenn die Wellen *real* sind und nicht verschwinden, so dass die Reduktion der Wellenfunktion nicht stattfindet.

### Paradoxon der zwei Wege

Das Paradoxon, mit dem das Kapitel über Quantenmechanik begonnen hat, kann auf dieselbe Weise gelöst werden wie das EPR-Paradoxon.



Zur Erinnerung: In der üblichen Sichtweise zeigt der Verlauf des Versuchs folgende Absurdität:

a) Wenn sich die Detektoren in den Strahlengängen befinden, so spricht immer nur ein Detektor an: da das Photon unteilbar ist, kann es nur (mit einer Wahrscheinlichkeit von jeweils  $1/2$ ) *entweder* den Weg L *oder* den Weg R wählen.

b) Wenn wir aber die beiden Detektoren aus den Strahlengängen entfernen, dann beobachten wir nach dem zweiten halbdurchlässigen Spiegel Interferenz, das heißt: Das Photon bzw. die Lichtwelle muss *beide* Wege genommen haben, im Widerspruch zu a).

Da wir von Wellen ausgehen, muss zu b) nichts gesagt werden. Aufzuklären ist aber, warum bei a) niemals beide Detektoren ansprechen, da wir doch annehmen, dass *immer* auf *beiden* Wegen Wellen laufen.

Dazu benutzen wir das Schema des EPR-Szenarios. Dort waren die Zufallsvariablen X und Y durch die Amplitudenquadrate der Wellen auf beiden Seiten definiert. Ihre Beziehung war dadurch bestimmt, dass sich die Polarisationsrichtungen dieser Wellen immer um den gleichen Winkel unterscheiden.

Hier können ebensolche Zufallsvariablen auf folgende Weise definiert werden:

Wir setzen wieder voraus, dass sich die Wellengruppen auf beiden Wegen aus Teilwellen zusammensetzen. Nehmen wir nun an, die Amplitude einer solchen Welle *vor* dem ersten halbdurchlässigen Spiegel sei 1. Wenn sie durch den Spiegel in zwei Wellen mit den Amplituden  $A_L$  und  $A_R$  geteilt wird,

dann gilt  $A_L^2 + A_R^2 = 1$

Diese Bedingung ist erfüllt, wenn

$$A_L = \cos \alpha, \quad A_R = \sin \alpha$$

Die Teilung soll zufällig sein. Wir nehmen also an, dass  $\alpha$  zufällig ist. (Gleichverteilt zwischen 0 und  $2\pi$ .)

Da der Erwartungswert von  $\cos^2 \alpha$  und  $\sin^2 \alpha$  jeweils gleich  $1/2$  ist, beträgt das Amplitudenquadrat auf beiden Wegen im Mittel gleich  $1/2$ , also ist die Ereigniswahrscheinlichkeit gleich  $1/2$ , in Übereinstimmung mit der quantenmechanischen Voraussage.

Sei nun  $X_i = \cos^2 \alpha_i$

– wobei hier  $X_i$  für die Intensität einer Welle steht, die den Weg L entlang läuft. Für  $Y_i$ , das für die Intensität der Welle steht, die auf R unterwegs ist, gilt dann

$$Y_i = \sin^2 \alpha_i = \cos^2(\alpha_i - 90)$$

X und Y entsprechen den Zufallsvariablen des vorigen Abschnitts, wenn in (1a') gesetzt wird

$$(\zeta - \delta) = -90^\circ$$

Die Wahrscheinlichkeit gleichzeitiger Ereignisse in beiden Detektoren ist somit nach Gleichung (6) gegeben durch

$$W_{LR} = 2 \text{Cov}(X, Y) + 1/4 = 1/2 \cos^2(\zeta - \delta) = 1/2 \cos^2(-90) = 0$$

Das heißt: Obwohl immer auf beiden Wegen Wellen unterwegs sind, sprechen niemals beide Detektoren zugleich an.

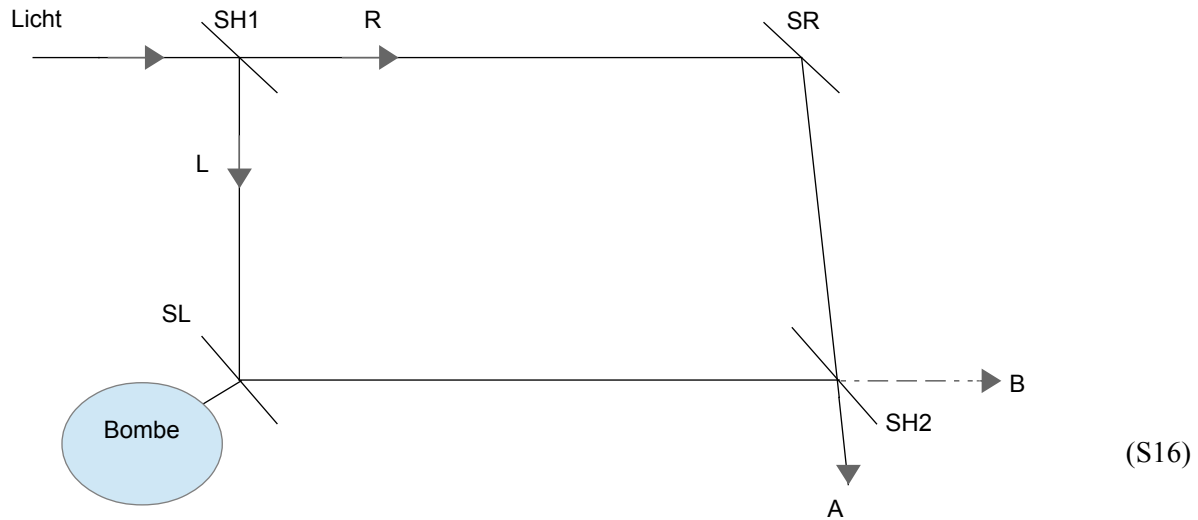
### Wechselwirkungsfreie Quantenmessungen

sind in der üblichen Sichtweise Messungen, bei denen *überhaupt nichts* geschieht und dennoch etwas gemessen wird.

Das Szenario ist dem des vorigen Abschnitts ähnlich.<sup>50</sup>

---

<sup>50</sup> Es wurde – in geringfügig anderer Form – 1993 von Elitzur und Vaidman vorgestellt. (Elitzur A. C. and Vaidman L. (1993), *Quantum mechanical interaction-free measurements*. Found. Phys. 23, 987-97.)



Zunächst wieder die übliche Beschreibung – vorläufig ohne die Bombe links unten:

Ein Photon bewegt sich – links oben beginnend – durch die Versuchsanordnung. Es wird durch den ersten halbdurchlässigen Spiegel SH1 in die 2 Zustände *durchgegangen* und *nicht durchgegangen* aufgespaltet, beide mit der gleichen Wahrscheinlichkeit  $1/2$ . Beim zweiten halbdurchlässigen Spiegel SH2 kommt es zur Interferenz der beiden Zustände. Die Längen der Wege sind so aufeinander abgestimmt, dass in Richtung B destruktive Interferenz auftritt. Das Photon kommt also mit Sicherheit bei A an.

Nehmen wir nun an, wir hätten eine Serie von Bomben mit folgendem Zündmechanismus: Ein beweglicher Spiegel, der mit dem Zünder verbunden ist, löst die Explosion aus. Der Mechanismus ist so empfindlich, dass dafür schon der Impuls genügt, den ein einziges Photon auf den Spiegel überträgt, wenn es auf ihn trifft.

Einige Bomben sind defekt: ihr Zündspiegel klemmt. Die Aufgabe ist, eine intakte Bombe zu finden, ohne sie zugleich explodieren zu lassen.

Mit der skizzierten Versuchsanordnung ist das auf folgende Weise möglich:

Man bringt die Bomben, eine nach der anderen, genau so an, dass der Zündspiegel die Stelle des Spiegels SL einnimmt. Wenn es sich um eine defekte Bombe handelt, dann ist der Spiegel fixiert und alles bleibt gleich: das Photon erreicht mit Sicherheit A.

Was ist aber nun, wenn die Bombe einwandfrei funktioniert und der Spiegel beweglich ist? Dann wird die Bombe zu einem *Messgerät*: Sie misst, welchen Weg das Photon nimmt.

Ist das Photon auf dem Weg L unterwegs, dann führt die Wechselwirkung mit dem Spiegel zur Explosion.

Falls es aber *nicht* zur Explosion kommt, dann wurde durch die Bombe gemessen, dass das Photon den anderen Weg genommen hat. Da nun aber eine Messung erfolgt ist, ändert sich die Interferenz bei SH2, und das bedeutet, dass jetzt die Wahrscheinlichkeit, dass das Photon B erreicht, nicht mehr 0 ist.

Wir müssen also nur abwarten, bis ein Photon in B detektiert wird. Die Bombe, die sich gerade in der Versuchsanordnung befindet, ist dann ein funktionsfähiges Exemplar.

In dieser Beschreibung ist also eine Messung durch eine Wechselwirkung erfolgt, die überhaupt nicht stattgefunden hat, mit einem Objekt (Photon), das gar nicht dort war. Wir gewinnen Information aus einer Veränderung, die durch etwas verursacht wurde, was gar nicht geschehen ist.

Jeder, der bis hierher gelesen hat, weiß natürlich, wie sich dieser *unglaublich interessante* Sachverhalt durch die alternative Interpretation in einen *völlig trivialen und verständlichen* Sachverhalt verwandelt, an den kein weiterer Gedanke mehr verschwendet werden muss. Der Vollständigkeit halber will ich es aber dennoch ein weiteres mal vorexerzieren.

Zur Erklärung wird benötigt, dass

1. die Annahme von Lichtteilchen bei der Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie überflüssig ist (wie bei der Beschreibung des Lichtelektrischen Effekts und des Compton-Effekts gezeigt wurde).
2. die un stetigen Übergänge, die Photonen genannt werden, durch stetige Akkumulation von Wellenintensitäten verursacht werden.

Daraus folgt, dass nicht etwa *nichts* geschieht oder *nichts* vorhanden ist, wenn kein Übergang erfolgt, sondern dass bloß die Intensität der vorhandenen Wellen nicht ausreicht, um einen solchen Übergang auszulösen.

Bezogen auf das Bomben-Szenario bedeutet das Folgendes:

Falls – in der üblichen Sichtweise – durch die Bombe gemessen wird, dass das Photon den anderen Weg nimmt, so dass sich die Interferenz ändert und das Photon nun B erreichen kann, dann geschieht aus unserer Sicht nicht etwa *nichts*, sondern es treffen Lichtwellen am Bombenspiegel auf, deren Gesamtintensität zwar für eine Zündung nicht genügt (es reicht sozusagen nicht für einen Übergang, also für ein ganzes "Photon"), die aber dennoch den Spiegel ein (winziges) Stück bewegen, wodurch die Weglänge und damit zugleich die Interferenz verändert wird. (Und man sollte hinzufügen, dass das der Fall sein *muss*, wenn es sich um existierende Wellen handelt.)

Von diesem Standpunkt aus stellt sich die übliche Auffassung des Szenarios und die Einbettung in das allgemeine Interpretationsschema also folgendermaßen dar:

Zuerst wird behauptet, dass die un stetigen Übergänge zwischen verschiedenen Zuständen von Elektronenhüllen elementar und *unzerlegbar* sind. Die Differenz zwischen zwei Zuständen wird *Photon* genannt.

Daraus folgt, dass – falls kein *ganzes* Photon vorhanden ist – *überhaupt nichts* vorhanden ist und deshalb auch nichts verursacht werden kann, sodass sich also *nichts* ereignet.

Dann ereignet sich aber *doch* etwas.

Das wird aber nicht etwa als Widerspruch oder wenigstens als Grund zu zweifeln aufgefasst, sondern es folgt bloß großes allgemeines Staunen über dieses weitere Wunder der Natur. Es wird gesagt: "Oh, das ist seltsam – etwas, was gar nicht vorhanden ist, bewirkt eine Veränderung. Etwas, was sich gar nicht ereignet, ist dennoch eine Messung. Das ist wahrlich ein tiefes Geheimnis."

Das kann wohl nur *Eulenspiegelei* genannt werden. Man stelle sich vor, eine Person A behauptet, die Person B, die sich im selben Raum aufhält, existiere überhaupt nicht. Dann *sagt* B irgendetwas. Daraufhin revidiert A nicht etwa seine Behauptung, er ist bloß verwundert und ruft aus: "Um Himmels Willen, wie kann es sein, dass jemand, der nicht existiert, sprechen kann?"

Das ist aber nun zugleich die Schlusspointe unserer Aufklärung quantenmechanischer Paradoxien. Ruhigen Gewissens beenden wir damit den Rundgang durch die quantenmechanische *Freakshow* – nun, da wir alle Freaks befreit und in normale Wesen zurückverwandelt haben.



### ***3.12. Geschichtlicher Kommentar***

Die Frage drängt sich auf, warum die lokale und objektive Interpretation bisher noch nicht existierte.

Der wichtigste Grund ist zweifellos die historisch gewachsene Bindung der physikalischen Begriffe und Konzepte an die Objektwelt. Diese Bindung erscheint unvermeidlich: die messbare Wirklichkeit präsentiert sich in gegenständlicher Form. Physik muss also mit der Beschreibung der Eigenschaften und des Verhaltens von Objekten beginnen, genau so, wie es sich tatsächlich ereignet hat.

Was ist zu erwarten, wenn die Erforschung der Natur, deren Basis die Gleichung

$$\text{Kraft} = \text{Masse} * \text{Beschleunigung}$$

darstellt, im Zuge ihres immer tieferen Eindringens in die Mikrowelt auf die Tatsache der fundamentalen Wellennatur des Seienden stößt? Genau das, was zu Beginn des 20. Jahrhunderts geschehen ist: Die Wellennatur des Seienden wird zwar erkannt, aber die Teilchenvorstellung kann nicht aufgegeben werden, *weil das ganze Beschreibungssystem darauf beruht*.

Das führt dann zu der paradoxen und – um es ganz klar zu sagen – *unmöglichen* Vorstellung von Objekten, die Welle *und* Teilchen sind, und daraus folgt dann alles Weitere: Reduktion der Wellenfunktion, objektiver Zufall, Nichtlokalität und was sonst noch an absurden Begriffsbildungen existiert.

Um allerdings das geringe Ausmaß der Gegenwehr zu verstehen, die sich gegen die Absurditäten der neuen Sichtweise formierte, muss man den Bereich der Physik selbst verlassen. Dass Unsinnigkeiten dieser Art nicht nur akzeptiert, sondern sogar als intellektuelle Errungenschaften oder auf irgendeine andere Weise – z.B. als "tiefe Wahrheiten" – verklärt wurden, lässt sich nur vom kulturellen Hintergrund der Zeit aus verstehen, der sich auch in den Biographien der Quantentheoretiker der ersten Generation spiegelt und ihre Überzeugungen mitbestimmt. Die Verachtung, die etwa Heisenberg oder Pauli den Versuchen einer realistischen und verständlichen Interpretation entgegenbrachten, die von Einstein, Schrödinger und de Broglie unternommen wurden, ist von genau derselben Art wie die Verachtung, die ein Dadaist für die realistische Malerei empfand.

Hier ist klar zu sehen, auf welche Weise die kulturelle Entwicklung in die Physik einzudringen vermag: die *formale Struktur* der Theorien bleibt zunächst unangetastet – sie ist der experimentellen Überprüfung verpflichtet, die keine Phantastereien zulässt; die *Interpretation* aber – also der ganze

begriffliche Unterbau – wird Teil des historischen Gesamtprozesses und fügt sich den kulturellen Zwängen. In den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts bedeutet das: sie wird "dadaistisch".

Leider ist das aber noch nicht alles. Die Interpretation bestimmt nämlich in jedem Fall ganz wesentlich die künftige Entwicklung. Auf diese Weise dringt der kulturelle Hintergrund also schließlich doch in den formalen Teil der Physik ein, und das ist auch der Grund, weshalb die theoretische Physik in die Sackgasse geraten ist, in der sie sich heute befindet. Kurz gesagt: Wenn *Teilchen* selbst nicht fundamental sind, dann wird das Ziel der theoretischen Physik – die Theorie von Allem – nicht dadurch erreicht werden können, dass die zwischen Teilchen auftretenden Wechselwirkungen vereinheitlicht werden.

### ***3.13. Schlussbetrachtung***

Wir setzen großes Vertrauen in die Naturwissenschaft und in den rationalen Diskurs. Zu Recht! – es ist das Beste, was wir haben.

Und doch ist es leider eine Tatsache, dass gerade zur Klärung von wirklich grundsätzlichen Fragen eine rationale Argumentation nicht immer ausreicht. Es gibt weltanschauliche Positionen, die ganz offensichtlich unsinnig, aber dennoch unwiderlegbar sind. Eine solche Position ist z.B. der Solipsismus.

Oder betrachten wir zwei andere Beispiele: die Annahme eines "übernatürlichen" Wesens, das "außerhalb" von Raum und Zeit existiert, und die Annahme eines von jeder materiellen Grundlage unabhängigen Geistes. Beide Annahmen sind offenbar unsinnig. Diese Gewissheit steht auch nicht etwa an der äußersten Grenze des Denkens, zu der man erst nach einem langen Weg gelangt – nein, sie folgt aus dem *ersten* Schritt, den das vernünftige Denken auf dem Weg zur Erkenntnis unternimmt: der Feststellung, dass die *Natur* – oder das Seiende, oder wie auch immer man es nennen mag – *in sich geschlossen* ist, mit anderen Worten: dass alles, was sich ereignet, eine natürliche Ursache hat, und dass nichts aus diesem Bereich herausführen kann. Der Versuch, der Naturkausalität ein zweites Erklärungsprinzip zur Seite zu stellen, scheitert augenblicklich und endgültig an der Frage des Zusammenwirkens der beiden Prinzipien: Wo und wie sollte dieses zweite Prinzip Anwendung finden, wenn doch überall und jederzeit die Naturgesetze gelten?

Das bedeutet: Wenn es uns nicht gelingt, das, was existiert und was sich ereignet, in einem natürlichen Zusammenhang zu begreifen, oder wenn unsere Modellbildungen – wie etwa beim sogenannten *Urknall* – über diese Grenze hinaus zu weisen scheinen, dann ist das *niemals* Anlass zu

außernatürlichen Begriffsbildungen, sondern immer ein Hinweis auf die Unzulänglichkeit der Modelle oder auf einen Defekt des diesen Modellen zugrunde liegenden Naturbegriffs.

Es gibt also keine Wirklichkeit "außerhalb der Wirklichkeit" oder "hinter der Wirklichkeit". Das ist in trivialer Weise einsichtig und ohne jeden Zweifel gültig. Es stellt, wie gesagt, den *Beginn* des vernünftigen Denkens dar.

Dennoch ist es unmöglich, jemanden durch Argumente zu überzeugen, der diese Selbstverständlichkeit nicht schon selbst erkannt hat. Jeder kann behaupten, in der linken oberen Ecke seines Wohnzimmers schwebe sein Hausgeist *Xupatl*, der ihn vor bösen Dämonen beschützt. Üblicherweise fügt er dann noch hinzu, dass er zwar nicht beweisen könne, dass *Xupatl* existiert, dass aber auch nicht bewiesen werden kann, dass er *nicht* existiert. Jede weitere Diskussion ist sinnlos. Sie führt niemals zum Erfolg, sondern nur zu einem nervösen Leiden.

In solchen Fällen kann man zwar argumentieren und gute Gründe anführen, aber irgendwann erschöpft sich die Argumentation und es bleibt als letztes Mittel nur der *Appell* an die Vernunft. Wenn sie fehlt – was meistens der Fall ist – dann lässt sich der Unsinn nicht aus der Welt schaffen.

Warum diese Abschweifung?

Weil es sich mit den Fragen der Lokalität, der Objektivität und der Identität genauso verhält.

Es ist *vollkommen selbstverständlich*, dass es nur dann Zusammenhänge zwischen räumlich separierten Objekten gibt, wenn sie durch einen Prozess vermittelt sind, dessen Geschwindigkeit nicht größer ist als die des Lichts. Nichtlokale Zusammenhänge sind schlichtweg Unsinn. Aber natürlich musste, um dies im Horizont gegenwärtiger Überzeugungen aussprechen zu können, erst gezeigt werden, dass der Bellsche Beweis nicht greift und warum das der Fall ist.

Da das aber nun endlich geschehen ist, behaupte ich, dass die Lokalität des Seienden auch schon vorher völlig klar war – eben genau so, wie auch völlig klar ist, dass weder *Xupatl* existiert noch irgendein anderes immaterielles Wesen – und dass die einzig sinnvolle Frage immer schon die nach dem Irrtum in der Beweisführung der Nichtlokalität gewesen wäre.

Ebenso verhält es sich im Fall der *Objektivität* des Existierenden. Es ist *vollkommen selbstverständlich*, dass die Dinge sind, wie sie sind, unabhängig davon, ob es uns gibt oder nicht und ob wir sie beobachten oder nicht. (Ausgenommen natürlich der Einfluss, den der physikalische Prozess der Beobachtung auf das beobachtete Objekt hat. Dieser ist aber analysierbar und in keiner Weise geheimnisvoll.)

Dasselbe gilt schließlich auch für die *Identität*: Die Konsequenzen identischer Sachverhalte müssen wiederum identische Sachverhalte sein, und nicht bloß identische Wahrscheinlichkeitsverteilungen. Es gibt keinen objektiven Zufall.<sup>51</sup>

Der Verlust dieser drei Grundprinzipien des Weltverständnisses war nur deshalb möglich, weil der Rückzug der theoretischen Physik ins formale Schema so vollständig war, dass jeder Begriff von Seiendem aus der Physik verschwunden ist. Die Wirklichkeit *ist* aber nicht bloß Mathematik; sie *existiert* – wir *müssen* uns also einen Begriff von ihr machen, der über Mathematik hinausgeht. Und wenn wir das tun, dann wird auch die interpretative Vernunft wiederhergestellt, denn jeder *Begriff* der Wirklichkeit hat den Prinzipien Lokalität, Objektivität und Identität zu genügen.<sup>52</sup>

Hat man aber überhaupt keinen Begriff der Wirklichkeit, dann ist *alles* möglich; es gibt dann keine *reductio ad absurdum* mehr, weil das Absurde für wirklich gehalten wird, und der Fall der Vernunft ist nicht mehr aufzuhalten.

Mein Anliegen war, Folgendes zu zeigen:

Wenn es keine Reduktion der Wellenfunktion gibt, dann werden die Prinzipien der Vernunft wieder in ihre Rechte gesetzt.

Dann sind Teilchen keine elementaren substanziellen Entitäten, sondern stationäre Zustände von Wellen bzw. Übergänge zwischen solchen Zuständen, falls sie Teil einer materiellen Struktur sind, und ansonsten auseinanderlaufende Superpositionen von Wellen, woraus wiederum folgt, dass die klassischen Eigenschaften Ort und Geschwindigkeit tatsächlich nicht existieren – jedenfalls nicht in der Weise, wie das bei Objekten, die entweder punktförmig sind oder zu jedem Zeitpunkt ein wohldefiniertes Raumvolumen einnehmen – Teilchen eben – der Fall wäre.

---

<sup>51</sup> Eigentlich ist schon die Trennung in Sachverhalte und Folgen falsch. Die Wirklichkeit besteht aus *zeitlichen Abläufen* (Prozessen), deren kleinste Bestandteile keine *Zeitpunkte*, sondern mindestens *Zeitdifferenziale* sind. Wenn es *Zeitpunkte* aber nur in Beschreibungen gibt und nicht in der Wirklichkeit, dann kann ein Prozess nur in *offene* Zeitintervalle unterteilt werden, die sich überlappen. Im Begriff des Prozesses sind dann Sachverhalte und Folgen vereint. Wird der Begriff der Identität nun auf Prozesse angewendet statt auf Sachverhalte, dann verschwindet die Möglichkeit verschiedener Folgen identischer Sachverhalte. Mehr dazu folgt im zweiten und dritten Teil.

<sup>52</sup> Vorstellungen wie *Elektronenwolken* oder *verschmierte Teilchen* verdienen sicher nicht die Bezeichnung *Begriff der Wirklichkeit*, und das gilt auch für *interferierende Wahrscheinlichkeitsamplituden*, *objektive Wahrscheinlichkeiten*, *Reduktion der Wellenfunktion* etc. Die von der quantentheoretischen Interpretation anstelle der Wirklichkeit präsentierte *Black Box* ist einfach das Gegenteil eines solchen Begriffs.

Aus dieser Sicht spielt sich ein Großteil der historischen Diskussion um die Vollständigkeit der Quantentheorie und um die Frage der Lokalität und Objektivität in einem völlig falschen Bereich ab: wenn man in diesen Fragen den Blick rückwärts wendet und versucht, die klassischen Begriffe Ort und Impuls (oder andere klassische Attribute) beizubehalten, dann – und zwar *genau* dann – kann die Bellsche Ungleichung abgeleitet werden, und alle drei Prinzipien, Objektivität, Lokalität und Identität, fallen dieser falschen Sichtweise zum Opfer.<sup>53</sup>

Werden Objekte aber als stationäre Wellenzustände verstanden – bzw. außerhalb von Materie als (auseinander laufende) Wellengruppen – dann ist es klar, dass die Eigenschaften Ort und Impuls durch eine Unschärferelation begrenzt sind; in einer Welt aus Wellen müssen *alle* Objekt-Eigenschaften durch Wellen definiert sein, und die Tatsache, dass für bestimmte Paare von Eigenschaften eine Unschärferelation gilt – die von der klassischen Physik aus gesehen völlig unverständlich erscheint – wird dadurch zu einem aus der Mathematik bekannten, einsichtigen Sachverhalt.

#### Bemerkung:

Ich schließe mit einer Bemerkung, die zwar wegen ihrer Selbstverständlichkeit im Grunde überflüssig ist, die mir aber dennoch im Hinblick auf die extreme Verbreitung physikalischer und philosophischer Spekulationen geboten erscheint, die auf die übliche Interpretation der Quantentheorie zurückgehen:

Mit der Wiederherstellung der Objektivität, Lokalität und Identität werden *alle* diese Spekulationen obsolet. Da sowohl die Reduktion der Wellenfunktion als auch die Unschärfe auf einfache und einsichtige Weise erklärt worden sind, ist es nicht länger begründet und somit vollständig überflüssig, dem Akt der Beobachtung bzw. Messung oder dem Geist des Beobachters irgendeine Bedeutung für die Existenz des Beobachteten zuzuschreiben.

Auch die verschiedenen weitergehenden diffusen Vermutungen, dass in den quantenmechanischen Tatsachen das Geheimnis des Geistes verborgen sein könnte – dass also Bewusstsein nur "auf quantenmechanische Weise" entstehen könnte – sind damit hinfällig.

(Was zum Verhältnis von Geist und Materie zu sagen ist, wird im dritten Teil dieses Buchs folgen.)

---

<sup>53</sup> Einstein war bekanntlich der einzige unter den großen Physikern, der das Zepter der Vernunft hochhielt, und es ist tragisch, dass seine Strategie – eben der Versuch, die klassische Teilchenvorstellung in der Form des *objektiven Dualismus* (Teilchen innerhalb von Führungswellen) beizubehalten – schließlich die Preisgabe der Vernunft besiegelt hat, indem sie den Bellschen Beweis der Nichtlokalität ermöglichte.

## *Alles wird gut!*

(Eine einfache, kurze **Tragikomödie** in zwei Albträumen und einem Traurigen Ende.)

### **Erster Albtraum**

Ein sonniger Abend. Nach einem anstrengenden Tag im Physikalischen Institut sind Sie in Ihrem Motorboot auf dem Meer unterwegs.

Sie stellen den Motor ab, setzen sich in den Liegestuhl und beginnen in Ihrem Buch "How Universes Emerge" zu lesen. Nach einer Weile stört Sie das von den Wellen verursachte Schaukeln. Sie beschließen, mit den Wellen dahinzugleiten. Sie werden einfach Fahrt aufnehmen, bis das Boot die Geschwindigkeit der Wellen erreicht hat, und dann dem Autopiloten das Steuer überlassen. Dann wird es kein Auf und Ab mehr geben und Sie werden in Ruhe weiterlesen können.

Gedacht, getan. Sie geben ein wenig Gas. Es kann nicht lange dauern, bis das Boot schnell genug ist. Gleich wird es so weit sein. Gleich, gleich... Seltsam, nichts ändert sich. Sie spüren zwar die Beschleunigung, aber die Wellen werden nicht langsamer! Was geht da vor? Immer noch rollt Welle um Welle mit unverminderter Geschwindigkeit am Boot vorbei. Sie drücken den Gashebel weiter nach vorn – nichts ändert sich. Vollgas! – keine Änderung. Angsterfüllt sehen sie sich um; Wo befinden Sie sich eigentlich? Sind das wirklich Wellen? Ist das wirklich Wasser? Ist da vielleicht gar kein Ozean? Werden Sie gleich an der Grenze der Welt ins Bodenlose stürzen, wie die Alten dachten?

Schweißgebadet wachen Sie auf.

### **Zweiter Albtraum**

Sie gehen am Ufer des Meeres spazieren. Sanfte Wellenfronten schlagen an die Kaimauer. Um ein paar Bojen herum sehen Sie ein Interferenzmuster in der Sonne glitzern. Sie versuchen sich vorzustellen, wie die Mauer in einigen Jahrtausenden aussehen wird; Wie lange wird sie den Wellen wohl standhalten? Da werden Sie durch ein heftiges Krachen jäh aufgeschreckt: Sie sehen, dass ein großes Stück Beton aus der Mauer herausgeschlagen wurde und davonfliegt. Und kurz darauf dasselbe Geräusch! Wieder fliegt ein Klumpen aus der Mauer. Und wieder. Und jedes Mal, wenn das geschieht,

verschwindet eine ganze Wellenfront, so weit Sie sie sehen konnten. Und mit der nächsten Wellenfront passiert dasselbe: Sie schlägt ein Stück Beton heraus und verschwindet gleichzeitig.

Sie werden von Panik und Verwirrung erfasst. Wie schon im ersten Traum fragen Sie sich, was hier eigentlich geschieht. Was zerfetzt die Mauer unter Ihren Füßen? Wird die Erde Sie gleich verschlingen?

Sie erwachen, aber nicht ganz. Halb noch träumend erinnern Sie sich an den anderen Traum, daran, dass da kein wirklicher Ozean war, kein Wasser und keine Wellen, sondern nur irgendetwas Geheimnisvolles, das sich wie eine Welle verhielt. Jetzt begreifen Sie trotz Ihrer Verwirrung, dass auch das falsch ist: Etwas, das sich wie eine Welle verhält, kann niemals solche Stücke aus der Mauer schlagen! Das wäre nur möglich, wenn sich das, was Sie für eine Welle gehalten haben, beim Aufprall auf die Mauer in einen massiven Klumpen harter Materie verwandelte!

Wie kann es aber *zuerst* als Welle existieren – da waren doch die Interferenzmuster bei den Bojen deutlich zu sehen! – und *danach* an einer einzigen Stelle zum harten Materieklumpen werden und überall sonst verschwinden?

Es ist quälend. Sie träumen nicht mehr, aber Sie werden auch nicht ganz wach. Sie werden nicht wach ... nicht wach ... einfach nicht mehr wach ... nie mehr wach ....

### **Trauriges Ende**

Sie befinden sich in der geschlossenen Abteilung einer Psychiatrie. Von dem Schockzustand, in den Sie der zweite Traum versetzt hat, haben Sie sich nie wieder erholt. Das Geheimnis ist viel zu tief und viel zu verwirrend. Unentwegt murmeln Sie vor sich hin. Mit Mühe erkennt man einige unsinnige Wörter: *Komplementarität, Welle-Teilchen-Dualismus, interferierende Wahrscheinlichkeitsamplituden, Reduktion der Wellenfunktion, nichtlokaler Zusammenhang...*

Einige der anderen Insassen nicken verständnisvoll. Aber niemand sonst hat auch nur die geringste Ahnung, was das alles bedeuten soll...

Von Ärzten, Schwestern und Pflegern werden Sie liebevoll "unser Superhirn" genannt – mit einem gewissen Respekt, wegen der Seltsamkeit Ihrer Symptomatik.

### ***Erläuterung für Nicht-Physiker:***

**Albtraum 1** handelt von der Speziellen Relativitätstheorie.  
(Ozean = Äther; Wasserwellen = Licht; Bootsfahrt = Michelson-Morley-Experiment).

**Albtraum 2** handelt davon, dass sich Lichtwellen bei Wechselwirkung mit Materie wie Teilchen verhalten – jedenfalls gemäß der allgemein akzeptierten Sichtweise, die von Einstein in seiner Beschreibung des Lichtelektrischen Effekts eingeführt wurde –, und außerdem davon, dass Wellen angeblich einfach verschwinden – und zwar immer alle bis auf die eine, die dann zum gemessenen (beobachteten) Ereignis wird. Seitdem Max Born das Amplitudenquadrat in der Schrödingergleichung als Wahrscheinlichkeitsdichte gedeutet hat, ist dieses Verschwinden Teil der Standardinterpretation, obwohl die Existenz der Wellen durch Interferenz *bewiesen* ist.

Das **Traurige Ende** beschreibt den bedauernswerten Zustand der Interpretation fundamentaler physikalischer Gegebenheiten seit Relativitätstheorie und Quantentheorie. Nach wie vor ist kein Ende der dadaistischen Phase der Mainstream-Physik abzusehen. (Das betrifft aber natürlich nicht den *formalen* Teil der Relativitätstheorie und der Quantentheorie – dieser kann nicht ernsthaft bezweifelt werden; Nur die Interpretation ist völlig misslungen – oder, um genau zu sein: sie existierte bisher überhaupt nicht.)





## 4. Abschließende Bemerkungen

### 4.1. Kurze Zusammenfassung

Weder bei der Speziellen Relativitätstheorie noch bei der Quantentheorie kann innerhalb des üblichen Begriffsrahmens geklärt werden, auf welche Wirklichkeit sich der Formalismus bezieht. Im Fall der SR ist die Wirklichkeit von Anfang an mit dem Formalismus verwechselt worden. (Dazu etwa Hermann Minkowski 1909: "Von Stund' an sollen Raum für sich und Zeit für sich völlig zu Schatten herabsinken und nur noch eine Art Union der beiden soll Selbständigkeit bewahren.") Im Fall der QT gibt es überhaupt keine Interpretation, sondern nur Erklärungen, warum es keine Interpretation gibt. In beiden Fällen ist die Wirklichkeit verschwunden. Das ist der Grund für interpretative Unklarheiten und für das Auftreten von Paradoxien.

Dieser Mangel ist nun behoben. Bei beiden Theorien hat die Untersuchung der Frage, *welche Wirklichkeit* hinter dem Formalismus steht und ihn begründet, zu einer konsistenten, realistischen und verständlichen Interpretation geführt.

Bei der Relativitätstheorie ist das durch folgenden Gedankengang gelungen:

Die in unterschiedlichen Bezugssystemen gegebenen zeitlichen Beziehungen zwischen verschiedenen Orten werden durch physikalische Prozesse vermittelt. Die dadurch festgelegten Zeiten müssen eindeutig sein, d.h. das Resultat muss – unabhängig vom gewählten Prozess – immer dasselbe sein. Das ist aber nur dann möglich, wenn es *letztlich* nur eine einzige Geschwindigkeit gibt, nämlich Lichtgeschwindigkeit. Daraus folgt unmittelbar, dass alles, was existiert und was sich ereignet, als Überlagerungsphänomen, als Muster aus Wellen mit Lichtgeschwindigkeit verstanden werden muss.

Bei der Quantentheorie war es erforderlich, nachzuholen, was in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts bei der Begegnung mit der Tatsache, dass alles Seiende Wellencharakter hat, verabsäumt worden ist:

Es ist nicht erkannt worden, dass sich durch die Entdeckung des Wellencharakters des Seienden die bis dahin gültige, auf der Teilchenvorstellung aufbauende Naturbeschreibung von einer *fundamentalen* in eine *phänomenale* Darstellung verwandelt hat. Elementarteilchen wurden weiterhin als unteilbare und elementare Entitäten verstanden, die nun aber *zusätzlich* auch Welleneigenschaften besitzen sollten.

Um zu einer objektiven und lokalen Interpretation zu gelangen, ist es jedoch notwendig, Teilchen als stationäre Zustände von Wellen bzw. Übergänge zwischen solchen Zuständen aufzufassen. Auch in dieser neuen Interpretation sind Elementarteilchen unteilbar und elementar, aber nicht *substanziell*, sondern *phänomenal*: Stationäre Wellenzustände sind unteilbare Phänomene, und sie sind auch elementar, aber nur in dem Sinn, dass sie nicht in Phänomene derselben Art zerlegt werden können – ihre Unteilbarkeit ist die von dynamischen Mustern, die *Attraktoren* entsprechen, vergleichbar stehenden Wellen oder Wirbeln in Flüssen.

Es gibt also keine Teilchen mehr, die zwischen zwei Beobachtungen ihre Existenz verlieren, sich in Superpositionen von Zuständen mit verschiedenen Wahrscheinlichkeitsamplituden verwandeln und erst bei der nächsten Beobachtung *als dieselben Teilchen* wieder in der Wirklichkeit auftauchen. An ihre Stelle treten Wellen, die außerhalb von Materie auseinanderlaufen und sich innerhalb von Materie – unter den dort gegebenen Randbedingungen – zu den immer gleichen, *formal identischen stationären Zuständen* organisieren.

Beobachtbare Ereignisse finden immer in materiellen Strukturen statt, so dass die Wellen *in allen Beobachtungen* teilchenartig erscheinen. Deshalb unterliegen wir dem Irrtum, sie wären auch zwischen diesen Beobachtungen *als dieselben Objekte* unterwegs, und würden schließlich *als substanziell identische* Entitäten wiedererscheinen.<sup>54</sup> Dann sind wir wegen des Auftretens von Interferenz gezwungen, diesen "Teilchen" *zusätzlich* Welleneigenschaften zuzuschreiben, und damit verschwindet alles, was geschieht, im Nebel der Unbegreiflichkeit.

Es wäre aber unangemessen, zu behaupten, die Vorgänge, die *zwischen* diesen Ereignissen liegen, seien unbeobachtbar: Sie zeigen sich durch Interferenz, und sie verursachen, wie im Abschnitt 3.6. am Beispiel des Doppelspaltexperiments erklärt, durch die Akkumulation ihrer Intensitäten die un stetigen Übergänge, die wir dann wieder direkt beobachten können.

Ganz unabhängig voneinander führen also die Erklärungen des relativistischen und des quantentheoretischen Formalismus zu der Annahme, dass Wellen die fundamentale Schicht der Wirklichkeit bilden.

---

<sup>54</sup> Ist diese Annahme nicht völlig absurd? Woher diese Überzeugung, dass die Teilchen auch zwischen den Beobachtungen unteilbar sind und daher *substanziell* mit sich identisch bleiben – sie verlieren doch ohnehin ihre Existenz und werden zu Überlagerungen von Wahrscheinlichkeitsamplituden. Im Fall von mehreren Teilchen führt es sogar zu falschen Resultaten, wenn man den Teilchen Individualität zuerkennt. Wozu also dieses Festklammern am Teilchenbegriff, d.h. an der *substanziellen Identität* der beobachteten Phänomene?

## 4.2. Der Widerspruch zum Standardmodell

Es ist nun an der Zeit, zu fragen, was sich durch die neue Sicht der Wirklichkeit eigentlich ändert.

Was Relativitätstheorie und Quantentheorie betrifft, ändert sich *formal* überhaupt nichts. Hier bedeutet die neue Sichtweise nur eine andere Interpretation dieser Theorien – wenn auch eine, die die relativistischen und quantentheoretischen Sachverhalte aufklärt und in der alle Absurditäten der bisherigen Sichtweise verschwinden.

Aus der hier präsentierten Änderung der Vorstellung von der Basis der Wirklichkeit folgt jedoch *auch*, dass sich die theoretische Physik seit Relativitätstheorie und Quantentheorie in die falsche Richtung bewegt hat. Am deutlichsten lässt sich das anhand der sogenannten starken Wechselwirkung demonstrieren. Folgendermaßen:

Ein wesentliches Element der neuen Interpretation ist, dass den Wellen, deren Amplituden der Berechnung von Ereigniswahrscheinlichkeiten dienen, *Existenz* zuerkannt wird; Mit anderen Worten, es wird angenommen, dass sie sich nicht einfach in nichts auflösen können und dass die Ereignisse tatsächlich von ihnen *verursacht* werden. Nur dadurch ist es möglich, die Lokalität der Welt wiederherzustellen und zu verstehen, was sich bei quantentheoretischen Messprozessen *wirklich* ereignet.

Wenn wir diese Grundannahme auf die Theorie der starken Wechselwirkung anwenden, gelangen wir zu folgendem Widerspruch:

Zwischen Quarks wirkt die starke Kraft. Sie ist so beschaffen, dass sie mit der Entfernung nicht abnimmt. Deshalb können Quarks nicht voneinander getrennt werden.

Neutronen bestehen aus drei Quarks. In einem Neutroneninterferometer wird durch Streuung an einer Kristallschicht ein Neutronenstrahl in zwei Strahlen geteilt, die sich bis auf eine Distanz von einigen Zentimetern voneinander entfernen. Die beiden Strahlen werden durch Streuung an einer zweiten Schicht wieder zusammengeführt, so dass nach einer dritten Schicht Interferenz beobachtet werden kann.

Die Intensität des Neutronenstrahls wird so gering gewählt, dass sich mit hoher Wahrscheinlichkeit jeweils nur ein Neutron im Interferometer befindet. Es werden also *einzelne Neutronen* geteilt.

Damit erhebt sich die Frage:

### ***Wenn das Neutron geteilt wird – wo sind dann die Quarks?***

Es ist klar, dass in der üblichen Sichtweise diese Frage unzulässig ist: Es ist sinnlos, zu fragen, was zwischen zwei Beobachtungen vorgeht. Die Elemente der Beschreibung sind nur mathematische Hilfsmittel. (Auch hier zeigt sich aber wieder geradezu überdeutlich die Seltsamkeit, um nicht zu sagen: die Verrücktheit dieser Position: Es ist ja nicht zu bezweifeln, dass in beiden Strahlen *irgendetwas* vorhanden sein *muss*, und dann ist die Frage, wo nun die Quarks sein sollen, unvermeidlich und offensichtlich auch unbeantwortbar.)

In der lokalen und objektiven Interpretation sind aber die Amplituden der Neutronenwellen nicht nur mathematische Hilfsmittel – ihnen wird Existenz zuerkannt (die sie durch Interferenz beweisen!).

Unter dieser Voraussetzung ist es jedoch der gegenwärtigen Darstellung der starken Wechselwirkung zufolge unmöglich, dass ein einzelnes Neutron geteilt werden kann, und das bedeutet, dass diese Darstellung ontologisch inadäquat ist: *Sie kann die tatsächlichen kausalen Beziehungen nicht enthalten.*

Wenn aber die Theorie der starken Wechselwirkung falsch ist, dann bricht das ganze Standardmodell zusammen. Es kann dann nicht mehr den Status einer fundamentalen Theorie beanspruchen, sondern bloß den Status einer rein formalen Näherung, vergleichbar dem bekannten Epizykelsystem, das einst zur Beschreibung der Planetenbahnen diente. Damit ist zugleich klar, dass auch alle Versuche, das Standardmodell weiter zu entwickeln, scheitern müssen.

Hier ist erkennbar, wie eine misslungene Interpretation zur Bildung falscher Theorien führt. Solange diese falsche Interpretation fortbesteht, wird es auch nicht möglich sein, die dadurch verursachten Fehler zu korrigieren und besser geeignete Theorien zu entwickeln.

Wir sind also zu folgendem Schluss gelangt:

***Die Alternativinterpretation und das Standardmodell (einschließlich aller Theorien, die darauf aufbauen) widersprechen einander.***

Ein Resultat von außerordentlicher Tragweite! Besteht aber überhaupt die Chance, dass die Alternativinterpretation aus dieser Kontroverse siegreich hervorgehen kann?

Ich denke ja, und zwar aus folgendem Grund: bei den Entscheidungen, die in den vorangegangenen Kapiteln getroffen werden mussten, ging es – jedenfalls in den fundamentalen Fragen – immer um

dieselbe grundsätzliche Art der Wahl: *die Wahl zwischen Sinn und Unsinn*. (Man denke wieder an die Frage, ob Wellen einfach verschwinden oder nicht, oder an die Frage, was beim Doppelspaltexperiment wirklich vor sich geht, oder an die Entscheidung zwischen Lokalität und Nichtlokalität, oder an die völlig absurde Vorstellung von "interferierenden Wurzeln aus Wahrscheinlichkeitsdichten".)

Die Physik der letzten Jahrzehnte ist jedoch aus genau denjenigen Annahmen hervorgegangen, die hier als *Unsinn* diagnostiziert wurden, und deshalb ist es gleichgültig, wie lange ihre Entwicklung schon andauert und wieviel intellektuelle und finanzielle Ressourcen in sie investiert wurden.

Aber nochmals gefragt: Ist es wirklich denkbar, dass das Standardmodell falsch ist, dass hier also tatsächlich ein historischer Irrtum von so unglaublichem Ausmaß vorliegt?

Abermals ja, und die Erklärung dafür beruht eben darauf, dass das ganze Theoriengebäude auf falschen Voraussetzungen errichtet worden ist. Genau jene Mängel und Irrtümer in den Interpretationen von Relativitätstheorie und Quantentheorie, die in den vorangegangenen Kapiteln kritisiert und behoben wurden, sind als Grundannahmen in die neue Physik eingegangen.<sup>55</sup>

Die Chance, Irrtümer zu korrigieren, besteht aber nur eine gewisse Zeit lang. Danach wendet sich die allgemeine Aufmerksamkeit unweigerlich anderen Problemen zu, und die ungeklärten Fragen geraten allmählich in Vergessenheit. Die nächste Chance auf eine Korrektur kommt daher erst dann, wenn die falschen Annahmen, die ins System integriert wurden, schließlich zu Problemen führen, die so gravierend sind, dass sie nicht länger ignoriert werden können. Bleibt die wahre Ursache dann noch immer unerkannt, bricht möglicherweise das ganze System zusammen.

Es ist nicht zu bestreiten, dass die neueste Physik Züge aufweist, die auf einen solchen Zustand hindeuten. Nicht zuletzt ist es die absolute Erfolglosigkeit der Superstringtheorie, die diese Sicht nahelegt.

---

<sup>55</sup> Im Zentrum steht wieder die Teilchenvorstellung. Die neue Physik geht von der Annahme aus, dass die Gruppenstruktur, die von den elementaren Objekten der Wirklichkeit und den mit ihnen durchführbaren Operationen gebildet wird, die *fundamentale* Ebene der Betrachtung darstellt. In diese Annahme gehen genau jene Voraussetzungen ein, die ein Verständnis der Wirklichkeit ausschließen: substantielle Identität der Objekte (– das ist eben die Teilchenvorstellung; mehr dazu im nächsten Abschnitt), Nichtexistenz der Wellen, Unteilbarkeit usw. Die Elemente selbst sowie die Operationen mit ihnen werden vorausgesetzt. Sie sind also aus der Theorie nicht ableitbar.

Diese Vorstellung von der Wirklichkeit steht in maximalem Gegensatz zur hier präsentierten Sicht der Wirklichkeit, in der alle Phänomene dynamische Muster sind.

### 4.3. *Verborgene Ontologie*

Die Probleme beim Verständnis quantentheoretischer Messprozesse, in denen die Wellenfunktion kollabiert, werden durch eine in der Standardinterpretation verborgene ontologische Annahme verursacht. Ihr Inhalt ist genau dasjenige, was hier als *substanzielle Identität der Messobjekte* bezeichnet wurde. Damit ist Folgendes gemeint:

Zunächst wird das Mess-Objekt *erzeugt* (präpariert). Danach durchquert es die Versuchsanordnung. Schließlich wird es *detektiert* (gemessen).

Nun wird aber, nicht nur im Rahmen der Standardinterpretation, sondern tatsächlich von *allen*, die sich je zur Interpretation der Quantentheorie geäußert haben, unbewusst und sozusagen "automatisch" angenommen, dass das, was *erzeugt* wird, und das, was *detektiert* wird, *dasselbe Objekt* ist.

Auch diejenigen, die sich selbst – sei es vor einem pragmatischen oder einem positivistischen Hintergrund – frei von jeder Ontologie wähnen, setzen dennoch voraus, dass es sich beim *erzeugten* und beim *detektierten* Objekt um ein und dasselbe Objekt handelt.

Sogar dann also, wenn man jede ontologische Annahme zu vermeiden versucht und die Phänomene gar nicht als "Teilchen" oder "Wellen" oder sonstwie auffasst, hat man doch eine folgenschwere *ontologische Entscheidung* getroffen: eben genau diejenige, die es, wie im Kapitel 3 gezeigt wurde, unmöglich macht zu begreifen was sich ereignet.

Ich erinnere daran, was beim Doppelspaltexperiment *wirklich* geschieht: Das Messobjekt (z.B. ein Elektron) wird zunächst erzeugt, durchquert danach den Doppelspalt, interferiert mit sich selbst und trifft auf die Detektorplatte – mit einer Intensität, deren Verteilung der (später gemessenen) Verteilung der Ereignisse entspricht.

***Das erzeugte Objekt ist jedoch keineswegs identisch mit dem detektierten Objekt:*** das detektierte "Objekt" (das eigentlich ein Übergang zwischen zwei Schwingungszuständen ist) verdankt seine Existenz nicht nur der Wellenintensität, die gerade eben am Ort der Detektion vorhanden war, sondern auch denjenigen Wellenintensitäten, die schon früher dort aufgetroffen sind, und auch solchen, die schon vor Beginn des Experiments da waren.

Bei der Beschreibung des Doppelspaltexperiments wurde (unter Bemerkung 1) festgestellt, dass es die unbewusste Anwendung der *Ballwurf-Analogie* ist, die jedes Verständnis verhindert. Diese Analogie ist auch geeignet, die scheinbar vollkommene Selbstverständlichkeit der Annahme *substanzieller*

*Identität* der Objekte zu erklären: es wäre verrückt, die Identität des *geworfenen* und des *gefangenen* Balls zu bezweifeln. Ebenso verrückt ist es aber leider, diese Identität auf atomare und molekulare Gegebenheiten zu übertragen. Wenn dies geschieht – und ich betone nochmals, dass genau das bisher ausnahmslos der Fall war – dann ist eine Erklärung der quantentheoretischen Messprozesse vollständig ausgeschlossen.

Es ist also gleichgültig, was ansonsten noch angenommen wird oder ob überhaupt jede Interpretation vermieden wird; es ist völlig ausreichend, die *substanzielle Identität* des erzeugten und des gemessenen Objekts vorauszusetzen, um ein Verständnis zu verhindern und um die weitere Entwicklung der Physik – wie gerade eben gezeigt wurde – zur Bildung falscher Theorien zu veranlassen und sie solchermaßen in die Sackgasse zu treiben, in der sie gegenwärtig feststeckt.

Ich rede deshalb von *substanzieller* Identität und nicht einfach von Identität, weil hier der wesentliche Punkt die Unterscheidung von *substanzieller* und *formaler* Identität ist. *Substanzielle Identität* ist ein Konzept, das auf makroskopische materielle Objekte anwendbar ist. *Formale Identität* hingegen ist ein Konzept, das auf dynamische Muster zutrifft.

So ist etwa ein Flusswirbel A mit einem anderen Flusswirbel B, der unter identischen Randbedingungen in demselben Flussbett weiter unten auftritt, *formal*, aber natürlich nicht *substanziell* identisch. Das gilt für alle Phänomene, sofern sie als dynamische Muster aufgefasst werden. Z.B. ist im Doppelspaltexperiment das "Elektron", das erzeugt wird, *formal*, aber nicht *substanziell* identisch mit dem Elektron, das detektiert wird. Das detektierte Elektron ist ein Phänomen, das sich – ebenso wie der Flusswirbel – unter identischen Randbedingungen in identischer Gestalt *neu formiert* hat, und dasselbe gilt für das Neutron, das nach dem Interferometer detektiert wird.

In der Alternativinterpretation ist die Welt aus Wellen gebildet. Hier sind daher alle Phänomene stationäre Wellenmuster, und das Konzept der "substanziellen Identität" erweist sich grundsätzlich als ontologisch falsch. Im Bereich der alltäglichen Erfahrungswelt ist seine Anwendung jedoch unproblematisch, weil die Objekte – wie z.B. der geworfene Ball – in den hier vorherrschenden Größenordnungen langfristig stabil sind, so dass sie in allen Prozessen mit sich identisch bleiben.

In atomaren und molekularen Größenordnungen sind die Objekte jedoch nur bedingt stabil. Unter bestimmten Voraussetzungen lösen sie sich in die Wellen auf, aus denen sie bestehen und verlieren so ihre Identität. Diese Wellen können dann später zur Bildung *formal identischer* Objekte beitragen.

Daher kann das Konzept der *substanziellen Identität* nicht auf die Welt des Kleinsten und Allerkleinsten übertragen werden. Wenn dies dennoch geschieht, dann äußert sich seine ontologische Falschheit dadurch, dass die Ereignisse uninterpretierbar werden.

#### 4.4. Ausblick

Wenden wir uns nun der Frage zu, wie die Zukunft der Physik auf Basis der Alternativinterpretation aussehen könnte; In welche Richtung wird die Suche nach Vereinfachung und Vereinheitlichung gehen?

Im folgenden präsentiere ich einige grundsätzliche Überlegungen. Ich fasse mich aber kurz, weil sich die Antwort auf diese Frage von dem bisher erreichten Standpunkt aus nur erahnen lässt, während sie sich von dem Standpunkt aus, der im nächsten Teil der Arbeit eingenommen wird, ganz von selbst und in wesentlich klarerer Form ergibt.

Teilchen tragen Ladungen. Wird ein Teilchen als stationärer Wellenzustand aufgefasst, dann muss die Ladung diesem Wellenzustand zugeschrieben werden. Dadurch ändert sich etwas Wesentliches. Wie schon früher erwähnt, besteht zwischen einem Teilchen und einer Welle ein grundsätzlicher Unterschied: Während ein Teilchen mit seinen Eigenschaften nur *per definitionem verbunden* ist, lassen sich die Eigenschaften einer Welle aus ihrer Dynamik *logisch ableiten*. Wirkungen, die von einem Teilchen ausgehen, sind also bloß Teil seiner Definition, aber Wirkungen, die von einer Welle ausgehen, müssen auf die dynamische Form der Welle bezogen werden. Anders gesagt: die Wellen können nur *als Wellen* wechselwirken, und wenn die Wechselwirkung in den Raum hinausgreift, dann kann das nur *wellenartig* geschehen.

Das bedeutet:

1. Jedes Feld muss auf die Dynamik des stationären Zustands zurückgeführt werden, der die Quelle des Feldes darstellt. Was bei Teilchen bloß ein Akt der Zuordnung ist, verwandelt sich also beim Übergang auf Wellen in eine logische Beziehung.
2. Jedes Feld ist letztlich ein *Wellenfeld*, das durch Frequenzen, Wellenlängen und Phasen definiert ist.

Was ist mit der Vereinheitlichung der Wechselwirkungen? Um dies zu beantworten, muss Folgendes bedacht werden.

Ich wiederhole zunächst die Überlegung aus Abschnitt 2.12:

Es ist unbekannt, was im Fall von Lichtwellen eigentlich schwingt. Die Aussage: *Der elektrische und magnetische Feldvektor* kann nicht als Antwort gelten – das wäre, als würde man im Fall von



Wasserwellen das Wasser entfernen und dann behaupten, kinetische und potentielle Energie würden nun die Stelle des Wassers einnehmen. Das *Subjekt* der periodischen Veränderung, die der Wellenbewegung zugrunde liegt, kann nicht einfach durch allgemeine Beschreibungsgrößen ersetzt werden.

Dieselbe Frage stellt sich bei der Quantentheorie: Worauf bezieht sich eigentlich die Amplitude in der Schrödingergleichung? Es gibt keine Möglichkeit, das Subjekt der Schwingung auf irgendeine bekannte physikalische Größe zu beziehen.

Würde man die – unzulässige – Ersetzung des Subjekts der periodischen Veränderung durch Beschreibungsgrößen gelten lassen, dann bestünde die Möglichkeit, verschiedene Ladungen verschiedenen Wellen zuzuordnen.

Die Amplituden müssen sich aber auf *irgendetwas Existierendes* beziehen. Es muss *irgendetwas* geben, *was* schwingt, und dieses existierende "etwas" kann, wie gesagt, nicht durch Beschreibungsgrößen ersetzt werden. Auch wenn wir nicht wissen, was sich da eigentlich periodisch ändert, ist es aufgrund dieser Überlegung doch klar, dass es – als etwas Existierendes – bei allen Wellen *dasselbe* sein muss.

Alle Wellen existieren im selben Raum, und deshalb muss das *Subjekt* der Schwingung bei allen Wellen *dasselbe* sein, mit anderen Worten: die Amplituden müssen sich bei allen Wellen auf *dasselbe* beziehen. *Beschreibungsgrößen* können einfach übereinandergelegt werden – aber etwas *Existierendes* kann *nicht* über etwas anderes Existierendes gelegt werden: Was existiert, beansprucht seinen raumzeitlichen Ort exklusiv für sich.

Wir sind also zu dem Schluss gelangt, dass alle Wellen von derselben Art sein müssen – in dem Sinn, dass in allen Wellen *dasselbe* schwingt; Auf dem Grund der Wirklichkeit gibt es keine verschiedenen Arten von Wellen.

Ist es überhaupt denkbar, dass sich die Wechselwirkungen auf diese Art vereinheitlichen lassen? Lässt eine einzige Wellenart genug Spielraum für die Ableitung aller Wechselwirkungen?

Aus Sicht der Alternativinterpretation ist die Frage in dieser Form jedoch gar nicht zulässig, weil ja, wie zuvor gezeigt wurde, die gegenwärtigen Darstellungen von starker und schwacher Wechselwirkung bloß ontologisch inadäquate Näherungen sind und somit ihren Status als fundamentale Theorien verloren haben.

Kehren wir also zu unserem Gedankengang zurück. Wir sind zu dem Schluss gekommen, dass es nur eine einzige Art von Wellen gibt, aus denen daher alle Wechselwirkungen folgen müssen.

Nun sind wir nur noch einen kleinen Schritt vom *Gesetz für Alles* entfernt:

Wenn in allen Wellen dasselbe schwingt, dann müssen alle Wellen demselben Gesetz gehorchen. Und wenn ferner diese Wellen alles sind, was existiert und was sich ereignet, dann gehorcht *alles* ebendiesem Gesetz.

Wir stehen vor dem *Mechanismus des Universums*:

*Es ist das Gesetz, dem die Ausbreitung der Wellen gehorcht.*

Das ist alles – und es ist mit Sicherheit überraschend. Im derzeitigen Interpretationsrahmen erscheint es sogar völlig absurd, aber dieser Rahmen hat sich ja nun auf dramatische Weise verändert, und von der neuen Interpretation ausgehend bedarf es bloß einiger einfacher Denkschritte, um zu diesem überraschenden Ende zu gelangen.<sup>56</sup>

Sonderbar ist auch, dass man mit einem Gesetz dieser Art – mit einer solchen "Weltformel" – eigentlich sehr wenig in Händen hält. In einem Universum aus Wellen ist alles, was existiert, ein *Muster* aus Wellen. Das Gesetz der Ausbreitung einer Störung sagt aber über eine solche Musterbildung überhaupt nichts aus; Muster entstehen erst in Verbindung mit bestimmten Randbedingungen.

Man denke etwa an den Klang eines Gefäßes: die Form des Gefäßes bestimmt das Klangspektrum. Das Wellenmuster ist vollständig durch diese Form festgelegt, das Gesetz der Ausbreitung der Störung bestimmt nur die Geschwindigkeit der Ausbreitung und damit zugleich die Frequenzen der Schwingungen.

Das ist nun auch die zur neuen Interpretation passende Analogie:

*Es gibt nur Wellen. Alles, was existiert und was sich ereignet, ist ein Muster aus Wellen. Das Universum ist einem schwingenden Körper vergleichbar, der sich in Wellenmustern selbst organisiert.*

---

<sup>56</sup> Eigentlich steht dieses Resultat schon allein durch die Erklärung der Speziellen Relativitätstheorie fest. Es folgt direkt aus der Tatsache, dass es nur Lichtgeschwindigkeit gibt und dass deshalb alles, was existiert und was sich ereignet, als Interferenzphänomen, als Muster aus Wellen aufgefasst werden muss. Ohne die Wellen-Interpretation der Quantentheorie bliebe aber völlig unklar, wie eine Wirklichkeit dieser Art beschaffen sein könnte. Die Entfernung zum üblichen physikalischen Denken ist einfach zu groß.

Es ist aber bloß eine Analogie, und sie wird im nun folgenden Teil einer abstrakteren Vorstellung weichen. Aber sie ist doch geeignet, den Gegensatz zur bisherigen Auffassung zu verdeutlichen, die gleich am Anfang dieses Buches durch das Zitat von Feynman zum Ausdruck gebracht wurde:

*Alles ist aus Atomen aufgebaut – aus kleinen Teilchen, die in permanenter Bewegung sind, die einander anziehen, wenn sie ein wenig voneinander entfernt sind, sich aber gegenseitig abstoßen, wenn sie aneinander gepresst werden.*

Der Übergang zwischen den beiden Sichtweisen der Natur lässt sich auf folgende Weise beschreiben:

In der üblichen Sichtweise werden die diskreten, teilchenartigen Phänomene für fundamental gehalten.

In der Alternativinterpretation wird angenommen, dass *unter* dieser Schicht diskreter Phänomene ein stetiges, wellenartiges Fundament der Wirklichkeit existiert, das die eigentlichen kausalen Beziehungen enthält. Diese fundamentale Ebene der Wirklichkeit ist aber keineswegs eine Erfindung der Alternativinterpretation – im quantenmechanischen Formalismus ist sie ja vorhanden; sie wird bloß in der konventionellen Interpretation für nichtexistent erklärt. In der Alternativinterpretation wird dieser Ebene dagegen Existenz zuerkannt.

Und daraus folgt schließlich:

***An die Stelle mehrerer verschiedener Felder, durch die diverse elementare Entitäten miteinander wechselwirken, tritt genau ein fundamentaler Zusammenhang zwischen differenziell benachbarten Punkten.***

Gleich zu Beginn des zweiten Teils werden wir der mathematischen Form dieses Gesetzes begegnen, von dem wir bisher nichts weiter wissen, als dass es existiert.

## Epilog

Der Charakter einer Kultur spiegelt sich in ihren Versuchen, die Entstehung des Universums und seinen Wandel zu erklären.

Deshalb müssen Vernunft und Aufklärung in einer Kultur, deren fundamentale Welterklärung solche Absurditäten beinhaltet, wie sie gegenwärtig zur Interpretation physikalischer Theorien gehören, unweigerlich anderen, primitiveren Arten des Denkens und des Umgangs mit der Welt weichen. Auf einer derart irrationalen Basis, anscheinend ohne die geringste Chance irgendetwas wirklich zu verstehen, ist jeder Versuch eines vernünftigen Weltkonzepts – auch außerhalb der Physik – zum Scheitern verurteilt. Ohne ein solches Konzept, das, sei es uns bewusst oder nicht, die Grundlage unseres Denkens und Handelns sowie unserer Werte und Ziele bildet, geht aber schließlich jede Art von Sinn verloren. Wenn sich die Unterscheidung zwischen Sinn und Unsinn an der Basis verflüchtigt hat, dann wird sie schließlich nirgends mehr möglich sein; Wenn unsere vermeintlich tiefste Einsicht die Welt in eine Black Box verwandelt, über deren Inneres wir nur wirres Zeug reden können, dann werden wir uns zuletzt vollends in Idioten verwandeln.

Kein kulturelles Phänomen kann unabhängig von allen anderen gesehen werden. Es mag sein, dass charakteristische Entwicklungen in verschiedenen Gebieten nicht immer synchron verlaufen. Das ändert aber nichts an ihrer wechselseitigen Bedingtheit. Deshalb sind die paradoxen Behauptungen der Physik (der sogenannte Welle-Teilchen-Dualismus, der durch nichts vermittelte Zusammenhang zwischen beliebig weit voneinander entfernten Messungen, die Reduktion der Wellenfunktion usw.) nicht bloß elitäre und exotische Spielereien; sie müssen vielmehr als Symptome der bedenklichen Verfassung des gegenwärtigen kulturellen Subjekts verstanden werden. Und mehr als das: Die Leitfunktion, die die Physik innehat, macht solche Behauptungen zu tiefen Rissen in der ohnehin brüchigen Umzäunung des Raumes der Vernunft, durch die die alten, mühsam besieigten Dämonen wieder eindringen. Kaum ein Esoteriker, der auf sich hält, verzichtet auf den Hinweis auf die Quantentheorie. Ein Schwall von Irrationalität ergießt sich über die Welt, gegen den auch Physiker nicht gefeit sind. In den Randgebieten der Physik entsteht eine heillose Verbindung von Physik und Esoterik, die längst auf das Alltagsbewusstsein übergegriffen hat; nahezu jeder, der sich zu ontologischen Fragen äußert, scheint derselben Art von Wahnsinn verfallen zu sein.

Und doch wäre das alles nicht mehr als ein unsinniges Rasonieren, wenn bei den momentan für gültig gehaltenen Interpretationen physikalischer Theorien tatsächlich jene Notwendigkeit bestünde, in der die Physiker selbst sich gefangen sehen, so dass das Scheitern der Vernunft und der Rückzug ins mathematische Schema unvermeidlich wären.

Woraus besteht die Welt? Ist das, was sie im Innersten zusammenhält, wirklich von solcher Absurdität, wie die gegenwärtige Physik uns glauben machen will? Oder ist es doch möglich, auf die fundamentalen Fragen, zu denen uns die Grundlagenphysik hingeführt hat, eine vernünftige und verständliche Antwort zu geben?

Sollten Sie sich mit den Konzepten, die hier vorgestellt wurden, vertraut gemacht haben, dann werden Sie mir zustimmen: Was auf dem Grund der Dinge vor sich geht, ist weder absurd noch unzugänglich; Es erschließt sich unserem Denken und kann von uns verstanden werden.

Wenn wir nur endlich das Schild "Betreten verboten" entfernen und jenen gedanklichen Weg beginnen, der uns zur Erkenntnis führt, wie das Gewebe der Wirklichkeit *tatsächlich* gefertigt wird – dann werden wir uns weder in dem schier undurchdringlichen Nebel verirren, den Niels Bohr, Werner Heisenberg und ihre Nachfolger über das ganze Szenario versprüht haben, noch werden wir dem Wahnsinn anheim fallen, vor dem uns Richard Feynman gewarnt hat, noch ins Bodenlose stürzen – nein: wir werden einfach nur dem "blitzenden zentralen Mechanismus des Universums in all seiner Schönheit und Einfachheit" begegnen.

Und genau diese Erkenntnis könnte das Heilmittel für die gegenwärtige erkenntnistheoretische Desorientiertheit und deren fatale kulturelle Folgen sein: Sie bildet die Basis, von der aus sich Vernunft und Aufklärung erneut entfalten können.

## *Offener Brief zur Lage der globalen Kultur*

*Verehrte(r) Leser(in),*

Kürzlich traf der gefeierte Maler F. den malenden Gorilla Hedwig, von dem sich bekanntlich einige der hervorragendsten Kunstkritiker die Erneuerung der Postmoderne erhoffen. Die Begegnung der beiden Künstler soll außerordentlich fruchtbar gewesen sein. Am selben Tag gelang es dem unvergleichlichen Aktionisten N., nach tiefer Meditation und Versenkung in alte Mysterien, ein Gebilde von solch majestätischer Erhabenheit zu schießen, dass viele Betrachter – darunter etliche Politiker – spontan auf die Knie fielen und in Tränen ausbrachen.

Just zur selben Zeit suchte der berühmte Physiker D. den Schamanen *Trächtige Wolke* auf, um die *Reduktion der Wellenfunktion* mit dessen Traum vom *All-erschaffenden Blick des weißen Vogels* zu vergleichen sowie Beziehungen herzustellen zwischen dem physikalischen Konzept der *Zeitreisen durch Wurm Löcher* und dem damit eng verwandten schamanischen Konzept der Aufhebung der Zeit durch Alkohol und andere Drogen. Ebenfalls gleichzeitig erlangte der Physiker H., vormals einer der bekanntesten String-Theoretiker, nach einer dreijährigen Zeit des Leidens, in der er sich einsam und nackt auf einem Turm in Cambridge sitzend den Hintern bis zum Steißbein durchgescheuert hatte, endlich *Satori* – er erkannte, dass die ultimative Theorie von Allem *unsagbar* sei, weil das *Tao*, das gesagt werden kann, niemals das wahre *Tao* ist.

Weitere erstaunliche Ereignisse folgten unmittelbar: Das von dem Genetiker A. erschaffene, genetisch optimierte Schaf Kitty erklärte, es sei viel intelligenter als sein Schöpfer und übernehme jetzt dessen Job, der Hirnforscher R. beteuerte händeringend, nicht er selbst rede Unsinn, er sei bloß das ohnmächtige Sprachrohr seiner Neurone, der Born Again Prediger Q. kündigte den Zeitpunkt des Weltuntergangs auf eine *millionstel Sekunde* genau an (in Jerusalem Ortszeit natürlich), und der Philosoph S. betonte, es handle sich bei alledem um *überaus wichtige Angelegenheiten*, die genau überwacht werden müssten.

Nicht unmittelbar Zeuge dieser außerordentlichen Vorkommnisse gewesen zu sein bedaure ich umso mehr, als deren zeitliche Koinzidenz ja keineswegs als zufällig aufgefasst werden kann, sondern dem vermittelnden Wirken jenes morphogenetischen Feldes zugeschrieben werden muss, das die in letzter Zeit so intensiv spürbare kosmische Spannung verursacht. Kein Zweifel, dass der lang erwartete Bewusstseinsprung der Menschheit bevorsteht!

*Wohin wird er uns führen?*

Geneigte(r) Leser(in)! – Sie von diesen intellektuellen Gipfeln auf der Höhe der Zeit, wo ich Sie atemlos anteilnehmend vermute, in die Niederungen der einfachen Vernunft herabzulocken – die so lang verschwunden war und hier wieder aufersteht – würde ich nicht wagen, wäre nicht die Ernte so überwältigend reich. Verantwortungslos aber wäre es, Sie nicht zu warnen, denn mit der Vernunft verhält es sich wie mit anderen starken Drogen: unvorbereitet in zu hoher Dosis genossen führt sie leicht zu Beschwerden, zum Schock oder gar zum Tod durch Gedankenstillstand – besonders nach einer so langen Zeit der Enthaltbarkeit.



Zweiter Teil

Physik aus Metaphysik

Der elementare Begriff der Wirklichkeit

Das metrisch-dynamische Universum



## Einstimmung

Geschätzte(r) Leser(in)! – Was ist der Urgrund der Wirklichkeit?

Da ich weder mit dem näherungsweise gültigen *Standardmodell* noch mit der absolut korrekten Antwort "42" ganz zufrieden bin, und weil übereifrige Tierschützer die Ausführung meines Plans vereitelt haben,  $10^{500}$  Affen so lange tippen zu lassen, bis sie eine Theorie produzieren, die fruchtbarer ist als die *Superstringtheorie*, habe ich mich selbst auf die Suche nach einer Antwort begeben.

Nun aber befürchte ich, dass Ihnen das Ergebnis meiner Suche vielleicht allzu fremdartig erscheint. Deshalb habe ich mir den Kopf zerbrochen, wie ich Sie darauf einstimmen könnte.

Und siehe! – meinem zerbrochenen Kopf ist ein Glückskeks entsprungen, der einen Vorschlag für ein Ritual enthielt, dessen Ausführung Sie in eine solch hingebungsvolle Euphorie versetzen wird, dass Sie gegen das Gefühl der Befremdung und eine unangemessen kritische Haltung gefeit sind.

Bereit?

Dann singen Sie bitte *maestosamente e con forza* drei mal hintereinander das folgende Thema:



Und nun ist Eile geboten! – Wir müssen unbedingt die ersten paar Abschnitte hinter uns bringen, ehe die Wirkung nachlässt.



# 1. Der Urgrund der Wirklichkeit

## 1.1. Ankündigungen

In diesem Teil wird, wie in der Einleitung angekündigt, die physikalische Beschreibung der Wirklichkeit aus metaphysischen Überlegungen abgeleitet.

Wie soll das geschehen?

Indem die Richtung der physikalischen Erkenntnis umgekehrt wird: was nach dem bisherigen Verständnis den Beginn der Naturbeschreibung bildet – die beobachtbaren Phänomene –, wird zum Endpunkt, und was als letztes Ziel der physikalischen Erkenntnis gilt – das Gesetz, das alles Existierende umfasst –, wird zum Ausgangspunkt. Das ist deshalb möglich, weil die logischen und ontologischen Bedingungen des Anfangsszenarios, von dem alles Seiende ausgeht, von solcher Einfachheit sind, dass das zu diesem Szenario gehörende Gesetz zwingend aus ebendiesen Bedingungen folgt.

Wenn die Naturbeschreibung, wie das historisch der Fall war, ihren Anfang in den Erfahrungen hat, die der Beobachtung von Objekten unserer Umgebung entstammen, dann erscheinen die Elemente der Beschreibung zunächst selbstverständlich: Was könnte klarer sein als der Begriff der *Kraft*, oder der Begriff der *Arbeit*, definiert als Wegintegral der Kraft, oder als der Begriff der *Energie*, definiert als Fähigkeit eines Objekts, Arbeit zu verrichten?

Wie die Entwicklung der Physik zeigt, erweist sich diese Selbstverständlichkeit aber als Täuschung. Mit dem Verlassen des Mesokosmos verblasst die anthropomorphe Anschaulichkeit der Begriffe immer mehr, bis zuletzt nur noch mathematische Definitionen und Messvorschriften übrig bleiben. Damit verschwindet zugleich jeder Anspruch auf eine darüber hinausgehende Interpretation. Das auf gegenständliche Erfahrungen zurückgehende, über die Natur gebreitete begriffliche Netz sinkt zu einem bloßen Anhängsel der Mathematik herab. Das hat zur Folge, dass die Interpretation in eine Sackgasse gerät, aus der es, wie im ersten Teil gezeigt worden ist, nur einen einzigen Ausweg gibt: einigen Begriffen, die gegenständlichen Erfahrungen entstammen, muss ihr Status als *Grundbegriffe* entzogen werden, und an ihre Stelle müssen andere Begriffe treten.

Aber nicht nur aus diesem Grund ist der Rückzug in die Mathematik problematisch, sondern vor allem deshalb, weil es – wie sich gleich anschließend herausstellen wird – letztlich genau die Unterscheidung zwischen einem mathematischen Objekt und einem wirklich existierenden Objekt ist, die es

ermöglicht, die beiden Fragen "*Warum ist überhaupt etwas und nicht einfach nichts?*" und "*Was ist das, was ist?*" zu beantworten sowie jenes Einfachste und Allgemeinste zu bestimmen, aus dem Seiendes sich entfaltet und aus dem die Beschreibung des physikalisch Seienden abgeleitet werden kann.

Konkret lautet das Programm des zweiten Teils folgendermaßen:

Zunächst wird das Szenario bestimmt, das den *Urgrund der Wirklichkeit* und ihrer Beschreibung bildet.

Aus diesem Szenario folgt die *fundamentale Gleichung*, wobei "fundamental" bedeutet, dass diese Gleichung den Prozess beschreibt, der die Wirklichkeit hervorbringt, sodass daraus alles abgeleitet werden kann, was überhaupt ableitbar ist.

Von dieser rein philosophisch motivierten Anfangsgleichung führt ein extrem kurzer und einfacher Weg zur Speziellen Relativität sowie zur Newtonschen und zur Einsteinschen Gravitation. Das zugehörige Strukturbild wird aber in allen drei Fällen vollständig verändert.

In analoger Weise – und ebenso unmittelbar – bildet dieselbe Gleichung auch die Basis der Definition der elektromagnetischen Wechselwirkung. Darauf aufbauend kann ein einfaches Atommodell erstellt werden, das – soweit hier durchgeführt – mit dem quantenmechanischen Atommodell identisch ist. Auch bei der elektromagnetischen Wechselwirkung und beim Atomaufbau kommt es zu einer grundlegenden Umstellung des Begründungszusammenhangs.

Konventionell gesprochen, könnte man die Methode eine *Geometrisierung* der Physik nennen. Es ist aber wesentlich mehr: die physikalischen Begriffe und Zusammenhänge werden nicht bloß geometrisiert, sondern *neu begründet*: die Begriffe, indem sie auf einen einzigen Begriff, und die Zusammenhänge, indem sie auf einen einzigen Zusammenhang zurückgeführt werden.

Ich werde den Neuaufbau nicht systematisch durchführen, aber in allen Fällen weit genug, dass sowohl die Verbindungen zu den jeweiligen Theorien – in der Form, wie sie zurzeit verstanden werden – wie auch die Unterschiede klar genug erkennbar sind.

Zuletzt folgt eine Skizze des Universums, wie sie sich aus den bis dahin erarbeiteten Resultaten ergibt. In diesem Bild vom Kosmos und seiner Entwicklung finden die Konzepte *Dunkle Energie* und *Dunkle Materie* eine einfache Erklärung.

Angesichts der seltsam anmutenden Maßlosigkeit dieser Ankündigungen erscheint es mir angebracht, eine persönliche Bemerkung anzufügen:

Ich habe mein Erkenntnisprojekt zunächst nur mit der Absicht begonnen, aufzuklären, was aus meiner Sicht als nicht zu tolerierendes Interpretationsdefizit der Physik verstanden werden musste. Die Durchführung dieses Projekts hat zu den Schlussfolgerungen geführt, die sich im ersten Teil dieser Arbeit finden.

Zu keinem Zeitpunkt ist mir der Gedanke gekommen, eine neue Art von Physik zu entwerfen – ein solcher Gedanke wäre mir geradezu absurd erschienen.

Irgendwann aber begann ich – nicht ernsthaft, sondern eher zufällig, in einem Augenblick spielerischer Verwegenheit – darüber nachzudenken, *wie* eigentlich, falls *etwas* existiert, dieses Existierende beschaffen sein müsste – und von da an entwickelte sich alles Weitere vollkommen geradlinig; Immer mehr physikalische Gesetzmäßigkeiten erschlossen sich in einfachster geometrischer Form, und alles geschah mit solch zwingender Folgerichtigkeit, dass ich mich schließlich des Eindrucks nicht mehr erwehren konnte, dass das, was sich da vor meinen Augen entfaltete, tatsächlich ein Bild des Universums sein könnte, *wie es wirklich ist*.

Bevor ich nun mit dem Gedankengang selbst beginne, will ich noch kurz skizzieren, was ich am *Standardmodell* – und auch an dessen spekulativen Weiterentwicklungen – grundsätzlich für unbefriedigend halte.

## ***1.2. Kritik an Baukasten-Universen***

Die Überlegungen dieses Abschnitts sind noch nicht Teil des Neuaufbaus der Naturbeschreibung; Für den Aufbau selbst haben sie also keine Bedeutung. Für den Fortgang meines eigenen Denkens waren sie aber notwendig, und ich will sie hier vorstellen, weil sie mir als Einleitung geeignet scheinen – insofern, als durch sie in Frage gestellt wird, was gegenwärtig für so selbstverständlich gehalten wird, dass es nicht einmal zur Diskussion steht: die Annahme der Existenz *elementarer Objekte*.

Was ist mit der Bezeichnung "Baukasten-Universum" gemeint?

Eben genau dies: Das Modell eines Universums, in dem es Entitäten gibt, die für *elementar* gehalten werden (etwa Teilchen bzw. Felder), in dem Sinn, dass sie unteilbar sind, dass ihre Existenz nicht begründet werden kann, und dass die mit ihnen verbundenen Größen (Eigenschaften der elementaren Entitäten, Verhältniszahlen) nicht abgeleitet werden können.

Solche *elementaren Entitäten* und *Naturkonstanten* sind daher ihrer Definition nach *unerklärbar*.

Es stellt sich die Frage, *wie viele* solcher nicht ableitbaren Größen, solcher "freien Parameter", eigentlich akzeptabel sind:  $10^{500}$ , oder 26, oder vielleicht nur 3? (Auch die Anzahl der elementaren Entitäten und die Anzahl der freien Parameter können freie Parameter sein.)

Die Antwort ist: *Überhaupt keine. Jeder freie Parameter, der aus prinzipiellen Gründen nicht abgeleitet werden kann, ist ein Zeichen dafür, dass die fundamentale Ebene der Beschreibung noch nicht erreicht ist.*<sup>57</sup>

Das Unbehagen, das die meisten Physiker angesichts der freien Parameter des Standardmodells erfasst, gilt sicher nicht bloß der Anzahl dieser Größen. Es bezieht sich vielmehr auf die Fragwürdigkeit der Annahme eines *unbedingten Seienden* – wobei *unbedingt* bedeutet: nicht entstanden und durch nichts begründbar.

*Es gibt kein unbedingtes Seiendes. Alles Seiende ist bedingt. Das gilt sowohl für die Tatsache seiner Existenz selbst wie auch für alle zu ihm gehörenden Eigenschaften.*

Das Netz der Bedingtheit ist *allumfassend*. Auf der Seite der Beschreibung bedeutet das, dass – zumindest prinzipiell – in *jedem* Fall begründbar sein muss, warum irgendein Seiendes überhaupt existiert, und ebenso, warum es genau diese Eigenschaften hat.

Dieses *Prinzip der Bedingtheit* ist nun allerdings von derselben Art wie das *Prinzip der Objektivität* oder das der *Lokalität*. Das heißt, es kann nicht vollständig begründet, sondern nur eingesehen werden. Ebenso wie es rein logisch möglich ist, zu behaupten, es gebe Zusammenhänge, die durch nichts vermittelt sind, ist es auch logisch möglich anzunehmen, der ontologische Urgrund des Universums bestehe aus einer Anzahl elementarer Objekte – und anscheinend sind ja auch fast alle Physiker dieser Auffassung.

Ich halte beide Annahmen für wenig plausibel. Die Idee, das Universum gleiche einem Baukasten aus einer bestimmten Anzahl von Grundelementen, erscheint mir (fast) ebenso unsinnig wie die Annahme unvermittelter Zusammenhänge.

Ich denke, dass sich im Grunde niemand mit der Vorstellung zufrieden gibt, dass Größen existieren, die prinzipiell unerklärbar sind. Tatsächlich gibt es dazu aber zurzeit keine Alternative: die beiden häufigsten Annahmen, Gott oder der Zufall seien verantwortlich für die spezifische Auswahl der Größen der freien Parameter des Standardmodells, sind ja keine Erklärungen. Wie schon in der

---

<sup>57</sup> Es ist allerdings zu bedenken, dass einige dieser Parameter auch durch *Selbstorganisation* entstanden sein könnten. Parameter dieser Art wären nicht direkt aus fundamentalen Gleichungen ableitbar.

Einleitung festgestellt, sind sie Jokern vergleichbar: sie können anstelle *jeder* Erklärung auftreten, aber tatsächlich erklären sie überhaupt nichts; Die Bezeichnung "Gott" verklärt bloß das Nichtwissen, und die Behauptung einer zufälligen Auswahl verschiebt die Notwendigkeit einer Erklärung nur auf eine tiefere – bestenfalls einfachere – Ebene, auf der dann dieselben Fragen abermals auftreten.

Will man also das Prinzip der allumfassenden Bedingtheit nicht verletzen und zugleich diese beiden unbefriedigenden Alternativen vermeiden, dann muss man die Annahme elementarer Entitäten fallen lassen.

Dann scheint man allerdings einem unendlichen Regress zum Opfer zu fallen: Wenn *alles* Seiende aus anderem Seienden entstanden ist, dann gibt es keinen ontologischen Ausgangspunkt. Anscheinend ist man also in der bekannten Antinomie gefangen: entweder man setzt willkürlich einen solchen Anfang – in der Physik sind es eben die elementaren Entitäten, in der Religion ist es z.B. der *unbewegte Bewegter* oder das *ens a se* – oder man gerät in den unendlichen Regress; In beiden Fällen verliert man offensichtlich die Möglichkeit einer Erklärung des Seienden.

Wie sich zeigen wird, kann diese Antinomie auf dieselbe Weise aufgelöst werden wie die Antinomie, die mit der Frage zusammenhängt: "Kann Seiendes immer weiter geteilt werden oder gibt es eine Grenze der Teilbarkeit?" Die Antwort darauf wurde im ersten Teil gegeben (was dort allerdings nicht explizit erwähnt wurde): Es gibt zwar unteilbare Elemente der Wirklichkeit, aber diese Unteilbarkeit ist nicht von der Art, wie sie bei der Antinomie vorausgesetzt wird – wo die Vorstellung des fortgesetzten Zerteilens eines *festen Körpers* hinterfragt wird –, sondern es handelt sich um die Unteilbarkeit eines *Gestaltphänomens*, das nur als Ganzes auftritt und in diesem Sinn unteilbar ist – wie etwa ein Flusswirbel oder eine stehende Welle in einem Rohr.

Es ist klar zu sehen, wie die Antinomie aufgelöst werden konnte: durch eine Änderung in den zuvor selbstverständlich erscheinenden Voraussetzungen der Fragestellung – und dasselbe gilt für alle Antinomien, also auch für die scheinbar unausweichliche Alternative *elementare Entitäten* oder *unendlicher Regress*.

Machen wir uns also auf den Weg zum *Urgrund der Wirklichkeit*, zur letzten Voraussetzung alles Seienden.

### ***1.3. Warum Etwas ist und nicht Nichts; Der Ursprung des Seienden***

#### **Vorbereitung: Der Unterschied zwischen Wirklichkeit und Beschreibung**

Der Unterschied zwischen *Objekten der Wirklichkeit* und *Objekten einer Beschreibung der Wirklichkeit* ist ebenso trivial wie fundamental:

Alles, was *existiert*, übt *Wirkungen* aus. Alltagssprachlich ausgedrückt: es hat Eigenschaften, physikalisch ausgedrückt: es interagiert mit anderem Existierendem. Das Charakteristikum von *wirklich existierenden Objekten* ist also, dass sie das, was sie umgibt, *verändern*. Man könnte sagen: sie sind *von selbst* bzw. *aus sich heraus* **aktiv**.

Im Gegensatz dazu üben *gedachte Objekte* – gleichgültig, ob es sich um Elemente eines sprachlichen oder mathematischen Systems handelt – *keine Wirkungen* aus. Ihre Wirkungen sind bloß *vorgestellt*. Nur wenn durch irgendjemanden über sie verfügt wird, können sie Teil eines Prozesses, d.h. einer Schlussfolgerung oder Berechnung werden. *Von selbst* bzw. *aus sich heraus* sind sie **passiv**.

Wirkungen müssen *von irgendetwas* ausgehen. Bei existierenden Objekten muss es also einen *Träger* der Eigenschaften geben.

Ich erinnere an das Beispiel, das schon im ersten Teil der Illustration dieses Sachverhalts diente: Wasserwellen. Offensichtlich sind sie Wellen *des Wassers* – und es wäre höchst sonderbar, zu behaupten, es gäbe überhaupt kein Wasser, und die Wellen seien einfach nur die periodische Umwandlung von kinetischer in potentielle Energie und umgekehrt.

Oder ein anderes Beispiel: die Grinse-Katze aus *Alice im Wunderland*: Sie verschwindet, und nur ihr Grinsen bleibt zurück. Lewis Carroll treibt hier ein absurd-unterhaltsames Spiel mit der Gewissheit, dass es kein Grinsen ohne Katze gibt; er ignoriert die Notwendigkeit, dass da *etwas* sein muss, *was* grinst.

Genau dasselbe gilt auch im Fall von Lichtwellen. Wer behauptet, Lichtwellen *seien* die periodische Umwandlung von elektrischem und magnetischem Feld, treibt dasselbe Spiel wie Carroll: Ebenso wie das Grinsen die *Katze* voraussetzt und kinetische und potentielle Energie die *Wasserteilchen*, setzt auch das elektrische und magnetische Feld einen *Träger* voraus. Dieser kann nicht einfach durch die Wirkung, die von ihm ausgeht, ersetzt werden.

Auf Seiten der Beschreibung gibt es dieses Problem allerdings nicht: Es ist natürlich zulässig, Wasserwellen als periodische Umwandlung der beiden Energieformen zu beschreiben, und es ist völlig korrekt, Licht als Schwingung des elektrischen und magnetischen Feldvektors darzustellen, und schließlich ist es auch kein Problem, nur das Grinsen *ohne* die Katze zu zeichnen und seine Wirkung auf Alice zu schildern – und ich meine das nicht als Witz: es ist tatsächlich immer derselbe Sachverhalt, in dem sich auf die immer gleiche Weise der Unterschied zwischen Wirklichkeit und Beschreibung offenbart.

Dieser Unterschied lässt sich auf folgende Weise begrifflich bestimmen:

*Wirklich existierende Objekte* bestehen immer aus *Substanz und Akzidenzien*.

Der Begriff *Substanz* steht hier also für genau dasjenige, was die Antwort auf die Fragen "Was ist der Träger der Eigenschaften?" oder "Wovon gehen die Wirkungen aus?" darstellt. Er wird daher erst im Lauf des folgenden Gedankengangs – und weiterer, später folgender Gedankengänge – seine volle Bedeutung erhalten. Dasselbe gilt für den Begriff *Akzidens*; hier bedeutet er einfach *Eigenschaft*.

*Objekte eines Beschreibungssystems* bestehen dagegen *ausschließlich* aus *Akzidenzien*.

Betrachten wir ein mathematisches Objekt: Es besteht ausschließlich aus seiner Definition, d.h. aus seinen Eigenschaften. Ein mathematisches Objekt existiert nur *als* seine Definition, ohne diese existiert es *nicht*. Seine Bezeichnung ist bloß die "Abkürzung" seiner Definition, der "Platzhalter" seiner Eigenschaften. Es gibt jedoch keinen *Träger* der Eigenschaften. Z.B. bestehen natürliche Zahlen nur aus den Peano-Axiomen, durch die sie definiert sind. Jede Operation mit natürlichen Zahlen bezieht sich auf diese Definition. Wird sie entfernt, bleiben nicht etwa Objekte ohne Definition übrig, sondern nichts.

Anders ausgedrückt: Mathematik ist nur Struktur, Wirklichkeit ist Struktur *und* Substanz.<sup>58</sup>

Zur Illustration: Der Ausdruck *Elektron* kann ein mathematisches Objekt bezeichnen oder auch dasjenige Objekt der Wirklichkeit, das durch dieses mathematische Objekt repräsentiert wird. Die beiden Objekte als ein und dasselbe Objekt aufzufassen heißt, Mathematik und Wirklichkeit gleichzusetzen. Die Wirklichkeit wird dadurch ihrer Substanz beraubt. Die maximal erreichbare Übereinstimmung von Beschreibung und Wirklichkeit ist eben nicht *Identität*, sondern *Isomorphismus* – und dieser betrifft nur die Akzidenzien.

---

<sup>58</sup> "Struktur" kann hier auch durch "Information" ersetzt werden; Auch Information benötigt einen Träger.



## Die Frage nach dem Ursprung

Nun sind die Vorbereitungen dafür getroffen, die entscheidende Frage zu stellen: jene Frage, die aus dem Bereich des Seienden direkt auf die fundamentale Ebene der Wirklichkeit zurück führt – zum *Ursprung alles Seienden*. Sie lautet:

*Was ist der Träger der Eigenschaften?*

Solange das betrachtete Objekt *zusammengesetzt* ist, also ein komplexes Aggregat aus einfacheren Bestandteilen, kann eine *reduktionistische* Antwort gegeben werden.

Was ist aber im Fall eines Objekts, das nicht weiter reduzierbar (zerlegbar) ist? *Was ist das, wovon seine Wirkungen ausgehen?*

Der Träger der Objekteigenschaften ist als dasjenige definiert, *von dem* die Wirkungen ausgehen, mit anderen Worten: als dasjenige, was das Objekt *ohne* die Akzidenzien ist, oder nochmals anders gesagt: als dasjenige, was übrigbleibt, wenn gedanklich *alle* Eigenschaften bzw. Wechselwirkungen entfernt werden. Das Vorhandensein von Eigenschaften ist jedoch eine *notwendige* Voraussetzung dafür, dass einem Objekt Existenz zuerkannt werden kann: etwas, was mit nichts anderem wechselwirkt, existiert nicht. Somit erfüllt der Träger der Objekteigenschaften nicht das Kriterium für Existenz.

Halten wir also *erstens* fest:

*Der Träger der Objekteigenschaften existiert nicht.*

Andererseits gilt:

Von einem mathematischen Objekt gehen, wie oben festgestellt, *keine* Wirkungen aus; aus sich selbst heraus entfaltet es keine Aktivität. Deshalb bleibt von einem mathematischen Objekt tatsächlich *Nichts* (bzw. bloß ein leerer Begriff, bzw. ein Name) übrig, wenn die Eigenschaften entfernt werden.

Von einem *wirklich existierenden* Objekt aber gehen Wirkungen aus, und deshalb kann von einem existierenden Objekt nicht Nichts übrig bleiben, wenn seine Eigenschaften entfernt werden; Etwas, wovon Wirkungen ausgehen, kann nicht einfach *nicht existieren*, denn von etwas, was nicht existiert, können keine Wirkungen ausgehen; *Nichts* kann nicht Träger von Eigenschaften sein.

Halten wir also *zweitens* fest:

*Der Träger der Objekteigenschaften existiert auch nicht nicht.*

Es gilt also: ***Der Träger der Objekteigenschaften existiert weder, noch existiert er nicht.***

Das, *wovon* die Wirkungen eines Objekts ausgehen, ist *eigenschaftslos*, also *ununterscheidbar*; d.h. für alle Objekte gleich. Daher können wir es als *Voraussetzung alles Seienden* und – da es sich hier nicht um eine bloß *logische*, sondern um eine *ontologische* Voraussetzung<sup>59</sup> handelt – zugleich als ***Ursprung alles Seienden*** auffassen, und es gilt somit:

**Der Ursprung alles Seienden existiert weder, noch existiert er nicht. Er ist weder Etwas noch Nichts.**

Alles Seiende kann *sein* oder *nicht sein*. Für den *Ursprung des Seienden*, der selbst kein Seiendes mehr ist, besteht diese Alternative nicht. Es gibt aber hinter der Alternative *Sein oder Nicht-Sein* bzw. *Etwas oder Nichts* keine weitere Alternative. Daher ist das, was nicht in der Alternative Sein oder Nicht-Sein steht, ***notwendig***.

Das bedeutet: **Der Ursprung des Seienden ist notwendig, und mit ihm zugleich das daraus Hervorgehende, also das Seiende.**

Denn wäre Nichts, dann würde auch der *Ursprung des Seienden* **nicht existieren**, und das wurde zuvor ausgeschlossen.<sup>60</sup>

**Dies ist die Antwort auf die erste aller Fragen, auf die Frage also: Warum ist Etwas und nicht Nichts?**

---

<sup>59</sup> Was einem Objekt "logisch vorausgesetzt" ist, stellt eine Bedingung seiner Existenz dar, was ihm aber "ontologisch vorausgesetzt" ist, aus dem ist es *tatsächlich hervorgegangen*. In der Wirklichkeit ist das jeweils Einfachere, aus dem ein Objekt gebildet ist, immer die ontologische Voraussetzung dieses Objekts.

<sup>60</sup> Würde es sich hier einfach um einen logischen Schluss der üblichen Art handeln, dann könnte der Widerspruch dennoch durch die Annahme beseitigt werden, dass der *Ursprung des Seienden* nicht existiert: wenn ein widersprüchliches Objekt verschwindet, dann verschwinden zugleich die mit ihm verknüpften Widersprüche. Im Fall des *Ursprungs des Seienden* – der kein Objekt ist! – ist diese Schlussfolgerung jedoch ontologisch unzulässig. Folgendermaßen:

Sei A die Annahme, dass überhaupt nichts existiert. Sei B die Annahme, dass der ontologische Status des *Ursprungs des Seienden* Nicht-Existenz ist. Dann sind A und B identisch. Da aber B ontologisch falsch ist, muss auch A ontologisch falsch sein.

## Erläuterungen, Ergänzungen

Wirklich existierende Dinge sind immer *aktiv*, gedachte bzw. beschriebene Dinge sind dagegen *passiv*.

Wirkliche Dinge bestehen daher aus Substanz *und* Akzidenzien, beschriebene Dinge *nur* aus Akzidenzien. In der Beschreibung kann zwar die *Art der Aktivität* eines Objekts durch dessen Eigenschaften wiedergegeben werden, aber die *Aktivität selbst* fehlt.

Da nur die wirklichen Dinge Substanz haben, muss ihre Aktivität von der Substanz ausgehen; Substanz muss dasjenige sein, was das wirklich existierende Ding aktiv macht.

*Aktivität* kann allerdings nicht selbst ein Akzidens sein. Ich nenne *Aktivität* deshalb *metaphysische Qualität*.

Am wirklich existierenden Seienden ist die Substanz also nicht nur die Voraussetzung seiner Existenz, sondern zugleich dasjenige, wovon die *Aktivität* des Seienden ausgeht, dasjenige, was die jeweiligen Akzidenzien antreibt.

Halten wir fest: *Substanz* ist der *Ursprung alles Seienden*. Sie ist *notwendig*, und sie ist *Aktivität*.

*An sich* ist der *Ursprung alles Seienden* nur Substanz – er zerfällt nicht in Substanz und Akzidens. Da wir die Substanz allein nicht denken können, kann der *Ursprung alles Seienden* – so, wie er *an sich* ist – nicht gedacht werden.

Wenn man dennoch versucht, ihn gedanklich zu erfassen, dann gerät man über die Grenze des Denkens hinaus und kommt zu Widersprüchen. Diese Widersprüche sind unvermeidlich und beweisen dadurch, dass zwischen der Wirklichkeit und unserem Denken eine unüberwindliche Differenz besteht. Allerdings ist diese Differenz begrifflich bestimmbar, und das ermöglicht es, daraus Schlüsse zu ziehen. Der erste Schluss war, dass der *Ursprung alles Seienden* weder existiert noch nicht existiert und deshalb notwendig ist. Der zweite Schluss war, dass er *Aktivität* ist. Weitere Schlüsse werden folgen.

Was ist der *Ursprung des Seienden für uns*? Da wir nur im Schema von Substanz und Akzidens denken können, muss auch der *Ursprung des Seienden* so gedacht werden. Wir müssen ihm also seine metaphysische Qualität Aktivität *als Akzidens* zuordnen, d.h. ihn als *etwas, was aktiv ist*, auffassen. Da er *an sich* jedoch *untrennbar* mit Aktivität verbunden ist – Aktivität also ein essenzieller Teil seines ontologischen Status ist –, scheint er zu verschwinden, wenn sie von ihm getrennt wird. *Für uns* erscheint er daher zunächst als *Aktivität von Nichts* – wobei aber zugleich klar ist, dass das, was uns

hier als Nichts entgegentritt, nicht einfach dem rein begrifflichen Nichts gleichgesetzt werden kann, denn es wäre unsinnig, dem rein begrifflichen Nichts Aktivität zuzuschreiben. Ich werde es daher mit AGENS bezeichnen. AGENS ist also das, was verschwindet, wenn man versucht, es zu denken, von dem man aber zugleich weiß, dass es nicht Nichts sein kann.

Alle diese Schlussfolgerungen wirken deshalb zunächst befremdlich, weil sie eine *a priori* gegebene Voraussetzung unseres Denkens auf einen Widerspruch führen. Wenn aus bestimmten Voraussetzungen Widersprüche folgen, bedeutet das üblicher Weise, dass in den Voraussetzungen ein Fehler ist; Hier ist es aber eine apriorische Denkstruktur, die sich als falsch erweist – das Denken hebt sich gewissermaßen selbst auf. Es handelt sich also nicht bloß um einen logischen Widerspruch, sondern um eine Grenze des Denkens. Deshalb kann, nein: *muss* aus dem Widerspruch ein Schluss gezogen werden, der über die Grenze des Denkbaren hinausführt: indem gefolgert wird, was *nicht* der Fall ist – was der Ursprung alles Seienden *nicht* ist – ergibt sich *Notwendigkeit* als dessen ontologischer Status.

Um den Sachverhalt ein wenig vertrauter zu machen, werde ich nun versuchen, ihn in leicht veränderter Form nochmals kurz darzustellen.

*Für uns* ist es unmöglich, *Existenz* anders zu denken als bestehend aus Substanz und Akzidenzien. Das Denken beruht auf Erfahrungen an wahrnehmbaren Objekten. Deshalb erscheint das Substanz-Akzidenz-Schema im Fall eines wahrnehmbaren Objekts selbstverständlich: als Antwort auf die Frage: "Wovon gehen die Wirkungen aus?" scheint der *Verweis* auf das Objekt zu genügen. Versucht man aber, das Schema bis an seine Grenze zu verfolgen, dann erkennt man, dass der Begriff "Substanz" – so, wie er hier definiert worden ist: als dasjenige, was Träger von Eigenschaften ist – nicht widerspruchsfrei gedacht werden kann.

Denn *einerseits* gilt: Folgt man vorbehaltlos der *a priori* gegebenen logischen Struktur des begrifflichen Denkens, dann bewegt man sich ausschließlich im Bereich der Akzidenzien; Die Tatsache der *Existenz* des Gedachten ist dann verschwunden, oder sagen wir besser: sie wird vorausgesetzt. Das Entfernen von Eigenschaften bedeutet einfach das Fortschreiten zum Allgemeinen hin, und das Entfernen *aller* Eigenschaften führt dann zum *Allgemeinsten*, dem Begriff des bloßen Seins. Dieser aber ist völlig *leer*; somit ungeeignet, den Träger von Eigenschaften zu bezeichnen. Man erhält also – so wie das im Bereich der Mathematik der Fall ist – als Antwort *Nichts*, und das muss auch so sein, denn Mathematik ist ja nichts anderes als die Entfaltung unseres Denkens gemäß seinen eigenen Regeln.

Wird nun aber *andererseits* die Tatsache der Existenz berücksichtigt, dann ist zugleich klar, dass diese Antwort nicht richtig sein kann, denn, wie zuvor gesagt: von *Nichts* kann keine Wirkung ausgehen. Also gelangt man zu einem Widerspruch, wenn man versucht, den Ursprung des Seienden zu denken.

Da die Wirklichkeit selbst jedoch widerspruchsfrei sein muss, bedeutet das Auftreten dieses Widerspruchs, dass es eine grundsätzliche, unüberwindliche Grenze unseres Denkens gibt.

Dieser Widerspruch kann aber genutzt werden: Gerade deshalb, weil der Ursprung des Seienden von uns nicht so gedacht werden kann, wie er *an sich* ist, wissen wir etwas über ihn – eben genau dies, dass er nicht in Substanz und Akzidens zerfällt, woraus wiederum folgt, dass er weder existiert noch nicht existiert und deshalb notwendig ist.

Das Schema von *Substanz* und *Akzidens* hat seine Entsprechung in der *Subjekt-Prädikat-Struktur* möglicher Aussagen über Seiendes: Da ist immer ein Subjekt, *über das* etwas ausgesagt wird, das etwas tut oder erleidet. In der Struktur der Sprache widerspiegelt sich also die Zweiteilung dessen, was Seiendes *für uns* ist: in das, wovon die Wirkungen ausgehen und die Wirkungen selbst. *Für uns* ist diese Getrenntheit *unaufhebbar* – und doch erkennen wir zugleich, dass sie *unmöglich* ist.

Man kann sich natürlich fragen, ob dem Gedankengang, der in diesem Abschnitt durchgeführt wurde, überhaupt etwas Wirkliches entspricht. Dafür lassen sich mehrere Gründe anführen:

1. Wenn der Gedankengang nichts Wirkliches träge, dann bliebe man im Kreis des Seienden gefangen. Dieser Fall wurde im vorigen Abschnitt diskutiert: Er führt zur Annahme elementarer Entitäten, was wiederum gleichbedeutend ist mit der Annahme eines *unbedingten Seienden*, d.h. mit dem Verzicht auf jede Erklärung dieses Seienden. Der hier vorgestellte Gedankengang stellt den einzigen Ausweg dar.

2. Ohne diesen Gedankengang wäre man wieder der Frage ausgeliefert, *warum Etwas ist und nicht Nichts*. Die Vorstellung, eine solche Alternative bestünde tatsächlich, ist jedoch schlichtweg absurd. Blicke die Frage unbeantwortet, wäre das ein Skandal des vernünftigen Denkens; Dadurch würde das grundlegende Prinzip der *Vollständigkeit* der Wirklichkeit verletzt. Die einzige Möglichkeit einer Antwort besteht aber gerade darin, aus der Alternative *Sein oder Nicht-Sein* herauszutreten; Denn alles Seiende ist *bedingt*, und nur, was weder ist noch nicht ist, ist *unbedingt*.

3. Von entscheidender Bedeutung ist jedenfalls, ob es gelingt, zu zeigen, *wie* man vom Ursprung des Seienden zum Seienden selbst gelangt – ob also dieser Entstehungsprozess nachvollzogen und formalisiert werden kann –, und in welchem Maß Seiendes daraus abgeleitet werden kann. Die Frage ist also, ob von hier aus ein Weg zur Physik führt und, falls ja, welchen Vorteil dieser neue Zugang hätte. Das wird sich im Folgenden erweisen.

(Eine Übersicht der Gedanken zum *Ursprung des Seienden* findet sich [in der Zusammenfassung](#) am Ende des Buchs.)

## Minimale positive Metaphysik

Wenn man auf dem Weg fortschreitender Abstraktion, auf der "via abstractionis", zum Wesen der Dinge vordringen will, wie dies in der Philosophie seit Plato und Aristoteles immer wieder versucht worden ist, dann kommt man über immer höhere Stufen der Allgemeinheit zuletzt mit vollkommen leeren Händen beim Allgemeinsten an.

Man kann dieses Allgemeinste dann zwar benennen, es also etwa als "Gott" oder als das "Absolute" oder als "reines Sein" bezeichnen, aber tatsächlich ist sein Begriff völlig leer, und es kann über ihn nichts gesagt werden. Nicht zuletzt ist es diese Einsicht, die zu der allgemeinen Überzeugung geführt hat, dass Metaphysik unmöglich ist.

Wenn man jedoch nicht diesen Weg zum *Allgemeinsten* hin beschreitet – der zum Bereich des Denkens und der Beschreibungen gehört – sondern den Weg zum *Elementaren* hin – der im Bereich der wirklich existierenden Objekte liegt – indem man einfach immer weiter fragt, woraus die Dinge eigentlich bestehen, solange, bis man bei etwas Unzerlegbaren angelangt ist, dann zeigt sich, dass der Begriff dessen, woraus dieses Unzerlegbare besteht, nicht leer ist wie der Begriff jenes Allgemeinsten, sondern dass die folgenden logischen und ontologischen Schlüsse möglich sind:

Zunächst ist sofort erkennbar, dass das, woraus die Dinge *letztlich* bestehen, die *Substanz*, nicht etwas sein kann, was *existiert*: Existenz ist immer Substanz *und* Akzidens; Die Erde übt *immer* Gravitation aus, es gibt sie nur *mit* Gravitation, ohne Gravitation existiert sie nicht. Substanz allein existiert nicht, Akzidens allein existiert nicht. Im Begriff der Existenz sind beide untrennbar miteinander verknüpft.

Man muss also für eine Antwort auf die Frage, was die Substanz ist, den Bereich des Existierenden und damit zugleich den Raum des Denkbaren verlassen und gelangt dadurch zu der Einsicht, dass es sich bei demjenigen, woraus alles besteht, um etwas handeln muss, dessen *ontologischer Status* weder Existenz noch Nicht-Existenz ist, sondern *Notwendigkeit*.

Des Weiteren erweist es sich als zwingend, diesem Notwendigen *Aktivität* zuzuschreiben, da wirkliche Dinge, im Gegensatz zu gedachten Dingen, *aktiv* sind, und diese Aktivität nur von genau demjenigen stammen kann, woraus die wirklichen Dinge bestehen – im Gegensatz zu den gedachten Dingen, die tatsächlich aus nichts bestehen.

Ich wiederhole diese Schlussfolgerungen hier deshalb, weil dadurch klar wird, worin der Unterschied zwischen der hier präsentierten Metaphysik und den bisherigen (erfolglosen) Versuchen zur Ableitung positiver (d.h. konkreter inhaltlicher) metaphysischer Aussagen liegt.

Dasjenige, zu dem man durch beständiges Fragen danach, woraus die Dinge bestehen, gelangt – die Substanz –, ist der *Ursprung des Seienden*. Er kann als das, was er "ist", nicht gedacht werden. Insofern wird die Behauptung der Unmöglichkeit "positiver" Metaphysik also bestätigt.

Zugleich wird sie aber auch durch folgende Einsicht widerlegt: Der *Ursprung des Seienden* kann nicht einfach *nichts* sein, da die Dinge – eben weil sie *aktiv* sind – nicht aus nichts bestehen können, weil nichts nicht aktiv sein kann, und daraus ergibt sich, dass zwar *er selbst* nicht gedacht werden kann, dass jedoch *über ihn* etwas ausgesagt werden kann, und zwar genau diese beiden Schlussfolgerungen:

Der *Ursprung des Seienden* ist *notwendig*, und er ist *aktiv*.

Somit gelangt man auf diesem Weg doch zu einer positiven Metaphysik, und es wird sich herausstellen, dass es genau diese "minimale" Metaphysik ist, die die Physik zur Begründung ihrer Propositionen benötigt.

In den folgenden Abschnitten dieses Kapitels wird gezeigt, dass diese beiden Aussagen notwendige und hinreichende Bedingungen sind, um daraus ein Gesetz abzuleiten, das die Basis des Universums darstellt – eines Universums, das sich selbst in Wellen und Flüssen organisiert. In den weiteren Kapiteln des zweiten Teils wird bewiesen, dass sich aus diesem Gesetz einige der wesentlichsten physikalischen Theorien und Hypothesen ableiten lassen, und zwar auf eine Weise, die in allen Fällen den zugrunde liegenden Mechanismus einsichtig macht. Der *Ursprung des Seienden*, verstanden als dasjenige, was *notwendig* und *aktiv* ist, ist also genau jenes "Prinzip von so allgemeiner Gültigkeit und zugleich von so bedeutsamem Inhalt, dass es [der exakten Wissenschaft] als ausreichende Unterlage dienen kann".<sup>61</sup>

Die hier abgeleitete "minimale positive Metaphysik" bildet das notwendige ontologische Fundament der Physik, in dem Sinn, dass alle "Warum" und "Was ist" Fragen darauf zurückgeführt werden können. Solange ein solches Fundament fehlt, müssen alle diese Fragen unbeantwortet bleiben – und genau das war bisher der Fall.

Von diesem ontologischen Fundament ausgehend, verzweigt sich die gedankliche Rekonstruktion der Genese der Wirklichkeit in zwei Richtungen: einerseits muss die *Naturgesetzlichkeit* der Wirklichkeit abgeleitet werden – dies wird im Folgenden geschehen –, andererseits muss die *Entstehung von Strukturen* begründet werden – davon wird im dritten Teil des Buchs (im 4. Kapitel) die Rede sein.

---

<sup>61</sup> Max Planck: Sinn und Grenzen der exakten Wissenschaft, Vortrag gehalten im November 1941; Leipzig 1947, Johann Ambrosius Barth Verlag, zweite verbesserte Auflage, Seite 4.

## Der Zusammenhang mit dem ersten Teil

Am Ende des ersten Teils war zu lesen:

*"Das Universum ist einem schwingenden Körper vergleichbar, der sich in Wellenmustern selbst organisiert.*

Es ist aber bloß eine Analogie, und sie wird im nun folgenden Teil einer abstrakteren Vorstellung weichen."

Diese "abstraktere Vorstellung" ist nun bestimmt worden: Es ist kein *Körper*, der sich selbst organisiert, sondern *das, was selbst weder ist noch nicht ist, der Ursprung alles Seienden*.

### ***1.4. Was ist das, was ist? – Der erste Satz; Die erste Gleichung***

Damit das bisher Abgeleitete als Basis für eine Beschreibung der Wirklichkeit dienen kann, muss das, was vom *Ursprung alles Seienden* bekannt ist, in die Form eines Satzes gebracht werden.

Ausgangspunkt ist, was der Ursprung des Seienden *für uns* ist. Das ist zuvor ermittelt worden:

*Für uns* ist der Ursprung des Seienden *Aktivität von AGENS*.

(Dabei ist allerdings zu beachten, dass durch diesen Akt der Objektivierung die Differenz zum *An-sich-Sein* des Ursprungs des Seienden *nicht* aufgehoben wird: *an sich* zerfällt er nicht in *Substanz und Akzidens*. Mehr über diese unaufhebbare Differenz und ihre Konsequenzen folgt im dritten Teil.)

*Aktivität* bedeutet *Veränderung*: würde sich nicht irgendetwas ändern, wäre es unsinnig, von Aktivität zu sprechen.

Damit sind wir zu unserem ersten Subjekt und ersten Prädikat gelangt:

Das *erste Subjekt* ist AGENS. Das *erste Prädikat* ist *Veränderung*.

*Was* ändert sich? Da wir uns in unserem Gedankengang noch *vor* jeder Existenz befinden – wir haben zwar den Ursprung des Seienden *für uns* in die Form eines Existierenden gebracht, aber *an sich* gilt ja,



dass er weder existiert noch nicht existiert –, kann es sich nur um eine Änderung von AGENS an ihm selbst handeln.

Wir beginnen also mit einer Veränderung von AGENS an ihm selbst. Blicke diese Veränderung ohne Folge, dann wäre aber das Prädikat verschwunden, und es wäre dann wieder einfach *Nichts* – im Widerspruch zur Notwendigkeit des Ursprungs des Seienden. Aus der Veränderung muss also etwas folgen, und diese Folge muss wieder eine Veränderung von AGENS an ihm selbst sein.

Der *erste Satz* lautet daher zunächst:

Aus einer Veränderung folgt eine andere Veränderung.

Aber nur dann, wenn auch das Umgekehrte gilt – d.h. nur dann, wenn auch aus der zweiten Veränderung die erste folgt –, entsteht die unaufhörliche Kette von Veränderungen, die notwendig ist, um zu verhindern, dass wiederum Nichts wäre. Damit ergibt sich:

Eine Veränderung ist gleich einer anderen Veränderung.

Der nächste Schritt ist nun, diesen Satz in eine mathematische Form zu bringen. Es erscheint naheliegend, die *Veränderungen* durch *Differenzialquotienten* auszudrücken.<sup>62</sup> Der *einfachste* mathematische Ausdruck für den ersten Satz wäre demnach

$$\boxed{\frac{d\sigma}{dA} = \pm \frac{d\zeta}{dB}} \quad (0)$$

wobei über die Art der Veränderungen zunächst nichts gesagt ist. Auch der Raum, der für die Aufstellung von Gleichung (0) erforderlich ist, wird zunächst nicht festgelegt. Es genügt, zu fordern, dass er die Operationen ermöglicht, die im Folgenden jeweils durchgeführt werden müssen.

Warum ist hier nur der einfachste mathematische Ausdruck zulässig?

Weil wir versuchen, die Notwendigkeit des Ursprungs des Seienden *an sich* in die Form zu bringen, die sie *für uns* annehmen muss. Deshalb darf der fundamentale Satz bzw. die fundamentale Gleichung nur das enthalten, was notwendig ist – in dem Sinn, dass ohne es Nichts wäre, was wir zuvor ausge-

---

<sup>62</sup> Eine genauere Ableitung der ersten Gleichung – mit ausführlicheren Begründungen der einzelnen Schritte – findet sich am Anfang des dritten Teils.

geschlossen haben. Notwendig ist aber nur die einfachste Form der Gleichung; jede weitere Hinzufügung könnte nicht gerechtfertigt werden.

Wie sind die in Gleichung (0) auftretenden Variablen aufzufassen? Um welche Veränderungen handelt es sich?

Da nicht Nichts ist, können wir uns auf alles stützen, was eine notwendige Voraussetzung für *Existenz* darstellt (denn das Fehlen einer solchen Voraussetzung hätte eben zur Folge, dass Nichts wäre).

Existenz benötigt jedenfalls *Ausdehnung*. (*Keine* Ausdehnung wäre gleichbedeutend mit *Nichtexistenz*. Gleichung (0) könnte dann gar nicht aufgestellt werden.)

Somit können die Differenziale im Nenner als *Längendifferenziale* aufgefasst werden.

Also 
$$\frac{d\sigma}{dr} = \pm \frac{d\zeta}{ds} \tag{0'}$$

– wobei r und s die Dimension einer Länge haben.  $\sigma$  und  $\zeta$  sind dimensionslos.

Eine weitere notwendige Voraussetzung von Existenz ist *Bewegung*. Ohne Bewegung würde alles gleich bleiben und es würde daher nichts existieren.

Die Frage ist also: Wie kann Gleichung (0') in eine dynamische Gleichung umgeformt werden? Am *einfachsten* auf folgende Weise:

Wir setzen  $\zeta = v/c$  und  $s = c t$ , wobei v und c die Dimension einer Geschwindigkeit haben; v ist die Variable, c ist eine Konstante.

Das ergibt 
$$\frac{d\sigma}{dr} = \pm \frac{d\frac{v}{c}}{d(ct)} \tag{0''}$$

und schließlich

$$\boxed{\frac{d\sigma}{dr} = \pm \frac{1}{c^2} \frac{dv}{dt}} \tag{1}$$

Dies ist also **das Gesetz, aus dem die Wirklichkeit gewebt ist**, oder, anders gesagt, **die fundamentale Gleichung**, wobei *fundamental* bedeutet, dass sich daraus alles ableiten lassen muss, was überhaupt ableitbar ist. (Die Interpretation von  $\sigma$  folgt gleich anschließend.)

Was bewegt sich eigentlich mit der Geschwindigkeit  $v$ ? AGENS.  $v$  ist der Fluss von AGENS.

Damit ist die Frage beantwortet, was Seiendes ist:

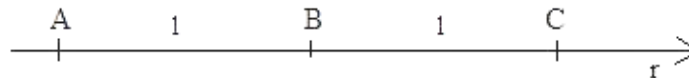
**Alles, was existiert, ist ein Muster aus Veränderungen des Flusses von AGENS.**<sup>63</sup>

Der leere Begriff AGENS hat sich nun allerdings dadurch, dass er mit einer Eigenschaft ausgestattet worden ist – und durch die Schlussfolgerungen, die sich daraus ergeben haben – in ein *Raum-Zeit-Kontinuum* verwandelt. Oder, um es genauer zu sagen: Der *Ursprung alles Seienden* ist durch den Akt, mit dem wir ihn *für uns* denkbar gemacht haben, zu einem Kontinuum geworden, dessen Gesetz durch Gleichung (1) beschrieben wird.

Mit Gleichung (1) ist auch die erste *Naturkonstante* erschienen: die Geschwindigkeit  $c$ ;  $c^2$  ist die Proportionalitätskonstante in der Beziehung zwischen der Änderung von  $\sigma$  und der Änderung von  $v$ . Es ist aber klar, dass hier die Größe von  $c$  *frei wählbar* ist und nicht etwa begründet werden muss, weil ja der Prozess, der die Wirklichkeit *erzeugt*,  $c$  enthält, mit anderen Worten: weil die Wirklichkeit aus  $c$  abgeleitet ist und nicht umgekehrt. Wie ja schon die Wahl des Buchstabens anzeigt, werden wir  $c$  mit der Lichtgeschwindigkeit identifizieren .

Nun zur Interpretation von  $\sigma$ . Ich nenne  $\sigma$  **metrische Dichte**. Was damit gemeint ist, soll zunächst an einem Beispiel demonstriert werden.

Fassen wir  $r$  als eindimensionales Kontinuum auf. Seien A, B und C drei Punkte dieses Kontinuums; die Abstände zwischen A und B sowie zwischen B und C seien gleich 1.

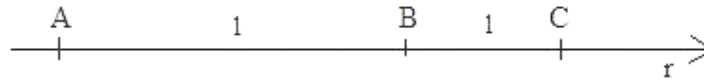


(S1)

---

<sup>63</sup> Für komplexere Formen des Seienden gilt dies allerdings nur dann *als Definition*, wenn ihre Akzidenzien *reduzierbar* sind. Genaueres über diese Einschränkung folgt im dritten Teil.

Hier ist  $\sigma$  konstant. Nun ändern wir die Verhältnisse folgendermaßen:



(S2)

Die *Abstände* sind gleich 1 geblieben, aber die Länge des *Maßstabs* hat sich zwischen A und B vergrößert, zwischen B und C dagegen verringert. Das bedeutet: die *metrische Dichte*  $\sigma$  ist zwischen B und C größer als zwischen A und B.

Vorläufig genügt diese intuitive Beschreibung von  $\sigma$ . Die exakte Definition folgt weiter unten, bei der Darstellung der Gravitation.

Was ergibt sich in (S2) für B? Nach (1) entsteht ein Kontinuumsfluss, den ich ***metrischen Fluss*** nenne, d.h. B erfährt eine Beschleunigung, für die – wegen der Möglichkeit des positiven und negativen Vorzeichens in (1) – nur noch die Richtung offen ist. Wir werden uns zunächst von der Vorstellung leiten lassen, dass B zurück zum Mittelpunkt von AC beschleunigt wird. (Der andere Fall wird sich später von selbst ergeben.) Das bedeutet, dass in (1) das negative Vorzeichen zu wählen ist, also

$$\boxed{\frac{d\sigma}{dr} = - \frac{1}{c^2} \frac{dv}{dt}}$$

(1')

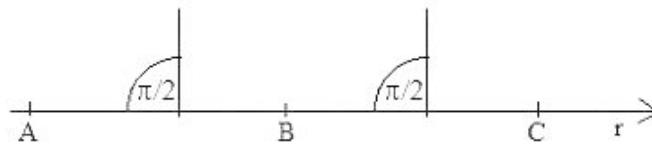
Zu beachten ist der Unterschied zwischen der metrischen Dichte  $\sigma$  und der "normalen" Dichte  $\rho$ : Im Fall von  $\rho$  gibt es einen festen Wert  $\rho_0$ , derart, dass die Größe der Beschleunigung von der Größe der Abweichung von diesem Wert bestimmt wird. Hier existiert also ein *absolutes* Maß,  $\rho$  hat ein *Gedächtnis*. Würde (S2) die Änderung einer normalen Dichte darstellen, dann wäre das Ausmaß dieser Dichteänderung von der Ausgangsdichte abhängig. Um diese Abhängigkeit zu eliminieren, müsste statt (1') gesetzt werden

$$\frac{d\rho}{dr} \frac{1}{\rho} = - \frac{1}{c^2} \frac{dv}{dt}$$

Hingegen kann die metrische Dichte  $\sigma$  keinen solchen Absolutwert besitzen – es wäre unsinnig, einem Kontinuum eine (absolute) Dichte zuzuschreiben. Hier gibt es also kein absolutes Maß, und der Faktor  $1/\sigma$  entfällt.

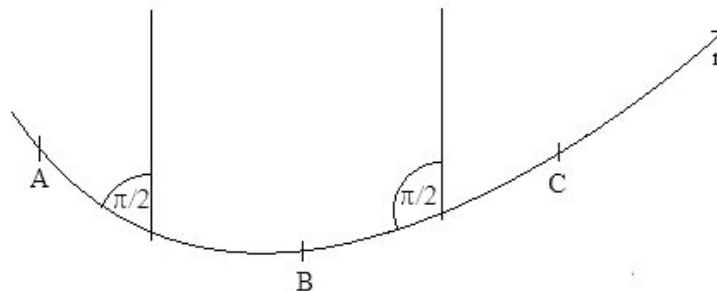
Halten wir also fest: Das Kontinuum hat *keine Dichte*.  $\sigma$  hat *kein Gedächtnis*. (Deshalb *müssen* Differenzialquotienten verwendet werden: jede Änderung kann sich nur auf den vorhergehenden Augenblick beziehen.) Es gibt keine absolute metrische Dichte, nur Dichterelationen. Daraus folgt wiederum, dass es *keine Größe* gibt, nur Größenrelationen.

Bisher war nur von einer Geschwindigkeitsänderung in Abhängigkeit von der Änderung des *Längenmaßes* die Rede, die durch die Punkte A, B und C in (S1) und (S2) veranschaulicht wurde. Im Fall eines Kontinuums mit mindestens 2 Dimensionen gibt es aber auch Änderungen des *Winkelmaßes*. Betrachten wir zunächst den "unverzerrten" Fall:



(S3)

Der Winkel zwischen der Richtung der Achse  $r$  und der Richtung der zweiten Achse beträgt konstant  $\pi/2$ . Das ist auch in der nächsten Skizze der Fall, aber nun hat sich das Winkelmaß wie folgt geändert:



(S4)

Sei  $\eta$  ein Winkelparameter analog zu  $\sigma$ , d.h. eine *metrische Winkeldichte*. Mit zunehmendem  $r$  nimmt in (S4) diese Winkeldichte offensichtlich ab. Wir lassen uns auch in diesem Fall von der Vorstellung

leiten, dass dadurch B eine Beschleunigung zurück zur Mitte von A und C hin erfährt. Wir erhalten demnach:

$$\boxed{\frac{d\eta}{dr} = - \frac{1}{c^2} \frac{dw}{dt}} \quad (2)$$

wobei  $w$  die Flussgeschwindigkeit *normal* zu  $r$  ist.

In Gleichung (1) hat  $\sigma$  also *zwei Interpretationen*: als metrische Längendichte und als metrische Winkeldichte. Die andere Bezeichnung  $\eta$  wurde nur zur Unterscheidung der beiden Fälle eingeführt. Beide Fälle sind in gleicher Weise fundamental.

### 1.5. Wellen

Die Abhängigkeit von  $\sigma$  und  $v$ , die durch (1') ausgedrückt wird, hat eine umgekehrte Abhängigkeit zur Folge.

In der Skizze nimmt  $v$  in Flussrichtung ab: im Längenelement bei P ist also der Zufluss größer als der Abfluss.



(S5)

Wie aus (S5) hervorgeht, gilt

$$\frac{dv}{dr} = - \frac{d\sigma}{dt} \quad (1a)$$

Zum Vergleich die eindimensionale Kontinuitätsgleichung für ein mitfließendes Längenelement:

$$\frac{dv}{dr} = - \frac{d\rho}{dt} \frac{1}{\rho} \quad (\text{hier ist } \frac{d\rho}{dt} \text{ die vollständige Ableitung})$$

Der Vergleich<sup>64</sup> zeigt, dass (1a) im allgemeinen Fall nur dann gilt, wenn  $\frac{d\sigma}{dt}$  als vollständige Ableitung aufgefasst wird. Wir werden aber  $\sigma$  nur partiell nach der Zeit differenzieren. Deshalb müssen wir voraussetzen, dass die Änderung von  $\sigma$  entlang von  $r$  vernachlässigbar ist, so dass das vollständige Differenzial  $\frac{d\sigma}{dt}$ , das auch eine Abhängigkeit von  $r$  enthält ( $\frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial\sigma}{\partial t} + \frac{\partial\sigma}{\partial r} \frac{dr}{dt}$ ), durch das partielle Differenzial  $\frac{\partial\sigma}{\partial t}$  ersetzt werden kann.

Wir betrachten also den Fall  $\sigma(r) = \text{konstant}$  und beginnen mit einer lokalen Änderung, gleichgültig ob von  $\sigma$  oder von  $v$ . Der folgende Ablauf wird dann nur durch diesen ersten Anstoß und durch die gegenseitige Abhängigkeit von  $\sigma$  und  $v$  bestimmt (und nicht durch eine schon *vorher* bestehende  $r$ -Abhängigkeit von  $\sigma$ ), also durch die Gleichungen (1') und (1a):

$$\frac{\partial\sigma}{\partial r} = - \frac{1}{c^2} \frac{\partial v}{\partial t} \quad (1')$$

$$\frac{\partial v}{\partial r} = - \frac{\partial\sigma}{\partial t} \quad (1a)$$

Differenzieren von (1') nach  $t$  ergibt  $\frac{\partial^2\sigma}{\partial r \partial t} = - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}$

Differenzieren von (1a) nach  $r$  ergibt  $\frac{\partial^2 v}{\partial r^2} = - \frac{\partial^2\sigma}{\partial r \partial t}$

---

<sup>64</sup> Auch hier tritt der Faktor  $1/\rho$  wieder deshalb auf, weil die zeitliche Zunahme der Dichte von der Ausgangsdichte abhängt, die sich auf eine absolute Skala bezieht. Im Fall von  $\sigma$  gibt es keine absolute Skala, sondern nur relative Änderungen, also entfällt dieser Faktor.

Daraus folgt 
$$\boxed{\frac{\partial^2 v}{\partial r^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}} \quad (3)$$

*Wir erhalten also Wellen in v, deren Geschwindigkeit c ist.*

Nach demselben Schema ergeben sich Wellen in w:

Aus der Gleichung 
$$\frac{\partial \eta}{\partial r} = - \frac{1}{c^2} \frac{\partial w}{\partial t} \quad (2)$$

folgt 
$$\frac{\partial w}{\partial r} = - \frac{\partial \eta}{\partial t} \quad (2a)$$

und daraus folgt wiederum die Wellengleichung

$$\boxed{\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}} \quad (4)$$

Aufgrund der Symmetrie der Gleichungen (1') und (1a) bezüglich der Größen  $\sigma$  und  $v$  sowie der Gleichungen (2) und (2a) bezüglich  $\eta$  und  $w$  erhalten wir auf analoge Weise auch *metrische* Wellen:

in  $\sigma$ : 
$$\boxed{\frac{\partial^2 \sigma}{\partial r^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \sigma}{\partial t^2}} \quad (5)$$

und ebenso in  $\eta$ : 
$$\boxed{\frac{\partial^2 \eta}{\partial r^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2}} \quad (6)$$



Es ist anzumerken, dass es sich bei all diesen Wellen um Wellen *im longitudinalen Fluss* handelt. Für die Wellen in  $\sigma$  und  $v$  ist dies selbstverständlich, da Gleichung (1a) nur für ein mitfließendes Längenelement gilt.

Falls bei den Gleichungen (2) und (2a) – die den transversalen Fluss  $w$  enthalten – ein longitudinaler Fluss in  $r$ -Richtung existiert, gelten die durch diese beiden Gleichungen beschriebenen Zusammenhänge, zu denen auch die Wellen in  $\eta$  und  $w$  gehören, für ein mit diesem Fluss mitbewegtes System.

## **Was sind diese Wellen?**

Es erhebt sich die Frage, in welcher Beziehung diese verschiedenen Wellen zur Standardphysik stehen.

Da wir  $c$  mit der Lichtgeschwindigkeit identifizieren, haben alle Wellen Lichtgeschwindigkeit. Also müssen sie mit *elektromagnetischen Wellen* und/oder *Gravitationswellen* in Beziehung stehen.

Vorläufig ist dieser Zusammenhang aber nicht ersichtlich.

## **1.6. Bemerkungen**

### **Kurzwiederholung**

Zunächst eine kurze Skizze des bisherigen Gedankengangs.

Seiendes wird nicht auf elementare Objekte zurückgeführt, sondern auf *das, was weder existiert noch nicht existiert* und was deshalb *notwendig* ist.

Dieses ist der *Ursprung des Seienden*. Er ist untrennbar mit *Veränderung* verknüpft. Um ihn *als Begriff* verfügbar zu machen, muss ihm Veränderung *als Eigenschaft* zugeschrieben werden. Als *das, was sich verändert*, wird er zum Grundbegriff der Beschreibung alles Seienden.

*Veränderung* kann auf Basis der notwendigen Voraussetzungen von Existenz konkretisiert werden, d.h. die Größen, die sich ändern, können bestimmt werden. Das führt zum ersten physikalischen Gesetz (1).

In diesem Gesetz werden *Längen- oder Winkelmaß* und *Bewegung* zueinander in Beziehung gesetzt, derart, dass eine Änderung des Maßes zu einer Änderung der Bewegung führt und umgekehrt.

Das differenzielle Gesetz (1) webt ein Kontinuum aus Flüssen und Wellen. Aus dem differenziellen Maß wird die *Metrik*, und aus der lokalen differenziellen Bewegungsänderung wird der *metrische Fluss*. Im Fluss gibt es *metrische Wellen*.

Wir sind also mit den wenigen bisher zurückgelegten Schritten zur Vorstellung eines Universums gelangt, das sich in Form von metrischen Flüssen und Wellen selbst organisiert.

## Relativität

Gleichung (1) ist zwar nicht im üblichen Sinn relativistisch, sie ist aber als Basis für die spezielle Relativität geeignet, da sie bloß die zeitliche Änderung der Geschwindigkeit  $v$  enthält. Die absolute Größe von  $v$  ist also gleichgültig.

Geht man von Gleichung (0') aus

$$\frac{d\sigma}{dr} = \pm \frac{d\zeta}{ds}$$

und ersetzt  $s$  durch  $ct$ , dann erhält man

$$\frac{d\sigma}{dr} = \pm \frac{d\zeta}{d(ct)}$$

$\sigma$  wurde als metrische Dichte interpretiert. Das bedeutet, dass in dieser Gleichung zwei metrische Dichten zueinander in Beziehung gesetzt werden: eine *räumliche* Dichte (die Dichte der  $r$ -Achse oder alternativ die Winkeldichte entlang  $r$ ) und eine *zeitliche* Dichte (die Dichte der  $ct$ -Achse).

Vergleicht man nun diese Gleichung mit (0'')

$$\frac{d\sigma}{dr} = \pm \frac{d\frac{v}{c}}{d(ct)}$$

dann zeigt sich, dass das Verhältnis von  $v$  zu  $c$  der metrischen Dichte der Zeitachse entspricht. Zusammen mit der vorhergehenden Aussage bedeutet das, dass der Fluss  $v$  die gesamte metrische Information enthält, d.h. die Information, wie sich Längen und Zeiten in Abhängigkeit von der Flussgröße ändern.

Von besonderer Bedeutung ist, dass der anfangs erarbeitete Grundbegriff – *der Ursprung des Seienden* – geeignet ist, die begrifflichen Probleme zu lösen, die seit der Einführung der Relativitätstheorie bestehen. Sie wurden schon im ersten Teil am Ende des Kapitels über Relativität genannt. Es sind die Fragen: *Was schwingt bei Lichtwellen?* und *Was vermittelt die zeitlichen Zusammenhänge zwischen beliebig weit voneinander entfernten Systemen?* Das absolute System gibt es in der Relativitätstheorie nicht mehr, nur noch Koordinatensysteme – aber diese *existieren nicht* und können daher weder schwingen noch etwas vermitteln.

Man sieht sich also dem paradoxen Sachverhalt gegenüber, dass Licht zwar *als Welle* existiert, dass aber nichts existiert, *was* schwingt. Denkt man sich einen Ausschnitt der Wirklichkeit, in dem nur Licht existiert, und entfernt dann das Licht, dann existiert buchstäblich nichts mehr.

Das entspricht nun allerdings genau dem Sachverhalt, der für den *Ursprung des Seienden* gilt: er ist als *Veränderung* von AGENS definiert – er existiert *für uns* nur als *sich Verändernder*, als *bloß Seiender* verschwindet er.

*An sich* ist er nicht denkbar: er zerfällt nicht in Substanz und Akzidens. Aber er ist untrennbar mit Veränderung verknüpft. "Es gibt" ihn nur *als* Veränderung.

Erst dadurch, dass wir ihm Veränderung *als Eigenschaft* zuschreiben, um ihn zum Subjekt einer Aussage machen zu können, erzeugen wir das Paradox, ihn auch *ohne* Veränderung denken zu müssen, und das ist ein unzulässiger Gedanke.

Das bedeutet, dass das "glatte" Kontinuum der Speziellen Relativitätstheorie eine *Idealisierung* ist, aber in einem wesentlich strengeren Sinn, als der Terminus "Idealisierung" in seinem sonst üblichen Gebrauch: Das glatte Kontinuum bezeichnet nicht bloß einen Zustand, der in der Natur niemals realisiert ist, sondern einen Zustand, in dem der entsprechende Bereich der Wirklichkeit einfach *nicht existieren* würde.

Kurz gesagt: das glatte Kontinuum der Speziellen Relativitätstheorie existiert nicht. Wirklichkeit ist immer Veränderung, und zwar, wie die bisher abgeleiteten Gleichungen zeigen, *metrische Veränderung*.

Noch kürzer: Es gibt zwar die Schwingung, aber es gibt nichts, *was* schwingt.

(Ich erinnere daran, dass im ersten Teil die relativistischen Raum-Zeit-Verhältnisse aus der Annahme abgeleitet wurden, dass alles, was existiert, als Superposition von Wellen mit Lichtgeschwindigkeit aufgefasst werden muss.)

Gibt es nun ein absolutes System?

Ja. Es ist aber kein Äther, nichts "Raumerfüllendes", kein "Raum", auch kein Quantenvakuum. Es ist überhaupt kein Bezugssystem im Sinn der Relativitätstheorie, sondern – wie sich im nächsten Kapitel herausstellen wird – ein System *beschleunigter metrischer Flüsse*. Diese Flüsse füllen das ganze Universum aus – oder, genauer gesagt: sie *sind* das ganze Universum. In ihnen bleibt die Zeit unverändert und vergeht schneller als in jedem beliebigen lokalen Bezugssystem, das sich relativ zum lokalen metrischen Fluss bewegt.<sup>65</sup>

Die spezielle Relativität ist also ein reines Beschreibungsmittel, das genau dann gerechtfertigt ist, wenn die tatsächlich gegebenen metrischen Verhältnisse in ausreichender Näherung mit einer euklidischen Metrik übereinstimmen. Ontologisch betrachtet ist das unverzerrte Kontinuum jedoch *nicht existent*. Was existiert, ist ein Kontinuum in permanenter metrischer Veränderung, und in einem solchen Kontinuum gibt es tatsächlich ein absolutes System.

Der ontologische Status eines metrischen Kontinuums kann also ein wenig ungenau als *zwischen* Existenz und Nichtexistenz liegend bezeichnet werden: Wenn sich nichts ändert, dann existiert nichts; wenn es aber metrische Änderungen gibt, dann werden diese durch die Gleichungen (1) und (2) differenziell – sozusagen von Punkt zu Punkt – weitervermittelt, und auf diese Weise wird ein Kontinuum erzeugt, das *nur aus metrischen Veränderungen* besteht und in dem metrische Verhältnisse über beliebige Entfernungen zusammenhängen.

Damit sind die begrifflichen Paradoxien der Bewegungsrelativität vollständig geklärt.

Wie sich zeigt, ist es für die Aufklärung unumgänglich, aus dem Bereich der Physik herauszutreten. Durch physikalische Begriffsbildungen kann das Paradox nicht gelöst werden. Die Physik bedarf also der Metaphysik; ohne diese bleibt sie unvollständig.

Mit den Ergebnissen des Kapitels über Wellen wird die im ersten Teil aufgestellte These bestätigt: *Es gibt nur Lichtgeschwindigkeit*. Allerdings ist das Bild nun vollständiger, weil auch das Gesetz bekannt

---

<sup>65</sup> Das gilt allerdings nur in einem Universum ohne Antimaterie. Mehr darüber im Kapitel 3 über Antimaterie.

ist, das zu diesen Wellen führt, und weil nicht nur metrische *Wellen* existieren, sondern auch metrische *Flüsse*. Das war aber zu erwarten, denn jede lokale Änderung, deren periodische Form sich wellenartig ausbreiten kann, muss auch in nicht-periodischer Form auftreten.

## Die Rolle der Mathematik

Ich nehme die Behauptung, dass "das glatte Kontinuum nicht existiert", zum Anlass, kurz den ontologischen Status zu diskutieren, den die Mathematik an dieser Stelle hat.

Diese Behauptung selbst ist eindeutig nicht mathematisch; Es ist eine ontologische Behauptung über einen mathematisch definierten Zustand – und genau in diesem Verhältnis stehen Mathematik und Ontologie hier ganz allgemein: Es ist nicht etwa so, dass die Mathematik *vor* dem fundamentalen Zusammenhang (1) kommt, sondern umgekehrt. Folgendermaßen:

Wie weiter unten gezeigt wird, erzeugt das fundamentale Gesetz stationäre Zustände, d.h. raumzeitliche Muster, die als Objekte aufgefasst werden können. Diese Objekte sind zählbar und messbar. Zählen aber ist der Beginn der Mathematik, die somit ihre Existenz – ebenso wie die Logik – den Erfahrungen an Objekten verdankt.

Mathematik gründet sich auf das, was Wirklichkeit *für uns* ist: Relationen zwischen Objekten. Wirklichkeit *an sich* ist jedoch *kontinuierliche Veränderung*. Deshalb berühren sich Beschreibung und Wirklichkeit erst dann, wenn die Analysis, vom Zählen der Objekte ausgehend, durch sukzessive Definition neuer Arten von Zahlen die Welt des unendlich Kleinen erobert hat. Erst hier – beim Grenzübergang in der Gestalt des Differenzialquotienten – kommt es zur Berührung von Beschreibung und Wirklichkeit *an sich*.

Wir befinden uns also in einem erkenntnistheoretischen Zirkel: Wir müssen Mathematik voraussetzen, um den *Ursprung alles Seienden* beschreiben zu können. Aber nur in der Beschreibung kommt die Mathematik vor dem fundamentalen Zusammenhang; in der Wirklichkeit ist es umgekehrt – hier ist der fundamentale Zusammenhang nicht nur der Ursprung des Seienden, sondern auch der Ursprung der Mathematik.

Im dritten Teil werde ich auf dieses Thema ausführlicher eingehen. Es war mir aber wichtig, den Sachverhalt schon jetzt zu skizzieren, weil sich dadurch die Rolle der Mathematik ändert: am Anfang hat nicht Mathematik das letzte Wort, sondern Ontologie, und es ist zunächst nicht einmal klar, ob und wie weit mathematische Konzepte – die ja, wie eben festgestellt, gegenständlichen Erfahrungen

entstammen – auf Sachverhalte anwendbar sind, die zu einem Bereich gehören, der logisch und ontologisch *vor* der Entstehung von Objekten liegt.

## **Maß und Bewegung**

Die einzigen Maßgrößen, die bisher verwendet wurden, sind *Länge*, *Winkel* und *Zeit*, die einzigen Variablen sind *metrische Längendichte*, *metrische Winkeldichte* und *Geschwindigkeit*.

Daran wird sich auch im weiteren Verlauf meiner Ausführungen nichts ändern. Das Universum, das hier in seinen Grundzügen skizziert werden soll, ist ein *metrisch-dynamisches* Universum. In ihm werden ausschließlich diese Größen als elementar aufgefasst. Alle anderen Größen sind abgeleitet.

Dies ist auch deshalb von Bedeutung, weil uns physikalische Sachverhalte nur dann verständlich sind, wenn sie sich auf Metrik und Bewegung zurückführen lassen. Das im ersten Teil beschriebene *Verschwinden der Wirklichkeit* hat seinen Grund nicht zuletzt darin, dass bei allen anderen physikalischen Größen – wie etwa Energie, oder Masse – die mathematische Definition das einzige ist, was von ihrer Bedeutung übrig geblieben ist.

Schon im ersten Teil erwies sich die Rückführung der Größen *Energie* und *Impuls* auf die Größen *Frequenz* bzw. *Wellenlänge* als notwendige Voraussetzung der realistischen Interpretation der Wechselwirkung von Strahlung und Materie. Für die realistische Interpretation der Quantentheorie ganz allgemein war es dann erforderlich, *alle* Observablen als aus Welleneigenschaften abgeleitet aufzufassen.

Hier soll nun dieses Programm durch die explizite Rückführung physikalischer Begriffe und Gesetzmäßigkeiten auf metrisch-dynamische Sachverhalte weiter konkretisiert werden.

## **Über das erste Gesetz**

Zuletzt bleibt noch klarzustellen, dass Gleichung (1) *keine Wechselwirkung* beschreibt. Sie folgt aus zwei Tatsachen:

1. Es gibt keine Existenz ohne Veränderung.
2. Es kann nicht Nichts sein. Existenz ist *notwendig*.

Gleichung (1) drückt somit nur genau das aus, was *für uns* der *Ursprung alles Seienden* ist und was daher logisch und ontologisch allem Seienden vorausgesetzt ist.

Das bedeutet, dass diese Gleichung noch *vor* jeder Wechselwirkung liegt, eine ontologische Stufe "tiefer". Sie ist eine notwendige Bedingung dafür, dass *metrische Muster* existieren – im einfachsten Fall stationäre Zustände des metrischen Flusses –, die als *Objekte* aufgefasst werden können. Erst die Effekte, die diese Objekte aufeinander ausüben, können dann als Wechselwirkung verstanden werden.

Wenn wir nun zur Beschreibung von Wechselwirkungen und Strukturen übergehen, ist Folgendes zu beachten: Was auch immer existiert, was auch immer geschieht – es ist in jedem Fall *ausschließlich* das erste Gesetz, das sich vollzieht. Es gibt nur dieses eine Gesetz. Jede Kausalbeziehung ist darauf zurückzuführen. *Alles* ist eine Folge der differenziellen Kausalketten, die durch Gleichung (1) beschrieben werden.

Daraus folgt:

*Strukturen* können nur durch Selbstorganisation entstehen. Falls sie sich über eine gewisse Zeitspanne hinweg erhalten, dann müssen sie als *Attraktoren* der Kontinuumsdynamik aufgefasst werden.

Der Begriff "Attraktor" ersetzt somit den Begriff "Teilchen" und wird zur ontologischen Grundlage des Begriffs "Objekt". Er ist von größter Allgemeinheit: er ist auf (fast) alles Seiende anwendbar, vom einfachsten bis zum komplexesten, beginnend beim "Elementarteilchen" bis hin zum "geistigen Zustand", dem *Quale*.

Auch die bei *Wechselwirkungen* auftretenden Prozesse resultieren direkt aus dem Vollzug des ersten Gesetzes, in diesem Fall jedoch unter der Voraussetzung *zusätzlicher Ordnung*, die sich durch metrische Bedingungen definieren lässt. Die Wechselwirkungsgesetze sind daher ebenfalls eine Folge der Selbstorganisation des Kontinuums: *sie entstehen zugleich mit den Objekten* und drücken deren wechselseitigen Einfluss aus.

In diesem zweiten Teil meiner Arbeit werde ich mich nur mit den einfachsten stationären Zuständen befassen und deren metrische Definitionen angeben. Daraus lassen sich Gravitation, Elektromagnetismus und Atomaufbau ableiten.

Der Begriff "Attraktor" und die damit zusammenhängenden Schlussfolgerungen werden erst im dritten Teil eine zentrale Rolle spielen.

## 2. Gravitation<sup>66</sup>

Das Programm dieses Kapitels ist es, zu zeigen, dass die Konzepte *metrische Dichte* und *metrischer Fluss* eine Sicht der Gravitation ermöglichen, die als *Mechanismus der Gravitation* aufgefasst werden kann. Im Folgenden wird der kugelsymmetrische, stationäre Fall untersucht; Eine einfache metrische Annahme führt zunächst zu Voraussagen, die mit denen der Newtonschen Näherung identisch sind, und dann – ohne zusätzliche Annahmen, nur durch genauere Analyse des Szenarios – zu Voraussagen, die mit denen der Allgemeinen Relativitätstheorie übereinstimmen. Das Verständnis der Gravitation ändert sich jedoch grundlegend, da es im metrisch-dynamischen Universum keine Kraft gibt wie bei Newton, keine Raumzeit-Metrik wie bei Einstein, schließlich auch keine in Kilogramm gemessene Masse bzw. in Joule gemessene Energie als Ursache der Gravitation, sondern *ausschließlich* metrische Längen-Dichte und metrischen Fluss.

### 2.1. Das metrisch-dynamische Bild der Newtonschen Näherung

Wir betrachten ein n-dimensionales Kontinuum ( $n > 1$ ).  $r$  sei der Abstand eines beliebigen Punktes  $P$  von einem Punkt  $O$ , den wir als Ursprung unseres Koordinatensystems wählen.  $m$  sei ein gegebener Abstand ( $m > 0$ ). Gleichung (1')  $\frac{d\sigma}{dr} = -\frac{1}{c^2} \frac{dv}{dt}$  wird vorausgesetzt.

Die Frage ist: Wie kann die Gravitation einer zentralen, in  $O$  ruhenden Masse als rein metrisch-dynamisches Phänomen definiert werden?

Unser Ziel ist, einen kugelsymmetrischen, stationären Zustand zu modellieren, der dadurch definiert ist, dass die Beschleunigung  $\frac{dv}{dt}$  in Richtung auf das Zentrum  $O$  weist, mit zunehmender Entfernung von diesem Zentrum abnimmt und im Unendlichen  $0$  wird. Das erreichen wir durch folgende metrische Annahme:

$$\sigma = \frac{r - m}{r} \quad (\sigma \text{ ist die metrische Dichte der Länge)} \quad (7)$$

wobei  $r$  der Abstand  $PO$  vor der metrischen Änderung ist und  $(r - m)$  der Abstand  $PO$  danach.<sup>67</sup>

---

<sup>66</sup> Im Abschnitt 2.5. ist die Skizze (S9) falsch, und damit auch die zugehörige Erklärung. (Mehr dazu [hier](#).) Eine korrigierte und erweiterte Version meines Modells der Gravitation findet sich [hier](#).

<sup>67</sup> Genaueres dazu im Abschnitt 2.3. *Der Übergang zur metrischen Sicht.*



Gleichung (7) nach r differenziert ergibt

$$\frac{d\sigma}{dr} = \frac{m}{r^2} \quad \text{Nach (1')} \quad \frac{d\sigma}{dr} = -\frac{1}{c^2} \frac{dv}{dt} \quad \text{gilt somit}$$

$$\boxed{\frac{dv}{dt} = -c^2 \frac{m}{r^2}} \quad (8)$$

Wird m in (8) als *geometrische Masse* aufgefasst ( $m = \frac{MG}{c^2}$ ), dann ergibt sich

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{MG}{r^2} \quad (9)$$

Gleichung (8) entspricht also der *Newtonschen Fallbeschleunigung* bei einer zentralen Masse M.<sup>68</sup>

Ursache der Newtonschen Gravitation ist die von einer zentralen Masse ausgehende Kraft. **Bei der metrisch-dynamischen Gravitation tritt an die Stelle der Masse M ein metrischer Defekt m**, der eine Änderung der metrischen Dichte zur Folge hat, aus der wiederum eine Beschleunigung zum Zentrum hin resultiert.

*Was* wird eigentlich beschleunigt? – Anders als bei der Newtonschen Interpretation ist hier  $dv/dt$  in (8) bzw. (9) keine Beschleunigung, die auf *Objekte* einwirkt, sondern *die zeitliche Änderung des radialen metrischen Flusses v*; **Das Kontinuum selbst fließt beschleunigt zum Zentrum hin.**

Wir bestimmen nun die Größe dieses Flusses. Dazu wird zunächst (1') umgeformt:

$$\frac{d\sigma}{dr} = -\frac{1}{c^2} \frac{dv}{dt} \quad \rightarrow \quad d\sigma = -\frac{1}{c^2} \frac{dr}{dt} dv$$

Da das Kontinuum selbst ins Zentrum fließt, ist  $\frac{dr}{dt}$  gleich v zu setzen, und es folgt

---

<sup>68</sup> Gemäß Gleichung (8) ist die Gravitationsbeschleunigung proportional zum metrischen Defekt m und zu  $1/r^2$ . Die Proportionalitätskonstante ist  $c^2$ . In der metrisch-dynamischen Darstellung der Gravitation existiert also keine selbständige Gravitationskonstante.

$$d\sigma = -\frac{1}{c^2} v dv \quad (10)$$

Integration ergibt  $\sigma = -\frac{1}{c^2} \frac{v^2}{2} + C$

Nach (7)  $\sigma = \frac{r - m}{r}$

gilt somit  $1 - \frac{m}{r} = -\frac{1}{c^2} \frac{v^2}{2} + C$

Die Integrationskonstante C folgt aus der Bedingung, dass für  $r \rightarrow \infty$   $v = 0$  sein soll.

Also ist  $C = 1$

Dann erhalten wir  $\frac{v^2}{2} = c^2 \frac{m}{r}$

und schließlich  $v = \pm c \sqrt{\frac{2m}{r}}$  (11)

(11) entspricht nun wiederum genau der Newtonschen Gleichung für die Fallgeschwindigkeit (für den Fall aus dem Unendlichen) bei einer geometrischen Masse  $m$  ( $m = MG/c^2$ ). Allerdings wird  $v$  hier nicht als Fallgeschwindigkeit interpretiert, sondern als *Geschwindigkeit des metrischen Flusses*. Dieser muss die gleiche Richtung haben wie die Beschleunigung in (8). Also ist in (11) das negative Vorzeichen zu wählen.

Wie aus Abschnitt 1.5 bekannt, gibt es im Fluss Wellen mit Lichtgeschwindigkeit (relativ zum Fluss).

Bemerkung: Die Wellengleichung (3) ist hier allerdings nicht mehr gültig, weil  $\sigma$  von  $r$  abhängt. Wird die Umgebung eines beliebigen Punktes P jedoch klein genug gewählt, so dass die Metrik mit hin-

reichender Genauigkeit einer euklidischen Metrik entspricht, dann kann behauptet werden, dass in dieser Umgebung Wellen mit Lichtgeschwindigkeit existieren.

Es gibt nun zwei Möglichkeiten: entweder wir betrachten die Verhältnisse weiterhin von einem kartesischen Koordinatensystem aus – nennen wir es  $K$  –, aber unter Einbeziehung der Tatsache, dass  $v$  die Geschwindigkeit des Kontinuumsflusses ist, oder wir benützen ein mit dem Fluss mitfließendes lokales System als Ausgangspunkt für den Übergang auf ein Einsteinsches Beobachtersystem.

Von der zweiten Möglichkeit werden wir später Gebrauch machen. Zunächst wenden wir uns aber der ersten Variante zu.

## ***2.2. Der exakte Blick von außen; Einige einfache Berechnungen***

Halten wir einen Moment inne, um zu überlegen, *was* wir eigentlich beobachten und *welchen Standpunkt* wir dabei einnehmen.

Wir betrachten die Verhältnisse von einem nichtrelativistischen kartesischen Koordinatensystem  $K$  aus.

Da es sich bei den Wellen mit Lichtgeschwindigkeit, die wir beobachten, um Wellen *im Fluss* handelt, ist die Lichtgeschwindigkeit in Bezug auf  $K$  *nicht konstant*. Z.B. beträgt sie für Licht, das sich radial bewegt,  $c + v$  in Richtung Zentrum und  $c - v$  in der Gegenrichtung.

Wir sind also keine Beobachter *im Geschehen*.  $K$  ist *nur ein Koordinatensystem*, und wir blicken auf den metrischen Fluss, in dem – von uns aus gesehen – Wellen mit den Geschwindigkeiten  $c + v$  und  $c - v$  laufen, genauso wie auf einen Strom, in dem die Wellen – vom Ufer aus gesehen – in Flussrichtung schneller sind als gegen die Flussrichtung. Von  $K$  aus haben wir somit nicht den sonst üblichen relativistischen Beobachterstatus. Wir befinden uns gewissermaßen *außerhalb* des Universums – wobei gegen einen solchen Standpunkt nichts einzuwenden ist, solange irgendetwas Beobachtbares abgeleitet werden kann und sofern die Rückkehr in ein Beobachtersystem möglich ist.

Die Änderung gegenüber der Sichtweise des Abschnitts 2.1, in dem die Newtonsche Gravitationsbeschleunigung rein formal abgeleitet wurde, lässt sich folgendermaßen beschreiben: Wir berücksichtigen jetzt, dass die Wellen, auf die diese Beschleunigung einwirkt, nicht im Koordinatensystem  $K$  existieren, sondern *im Fluss*. Das metrische Kontinuum selbst fließt beschleunigt zum Zentrum hin und verschwindet dort wie in einem Abfluss, und die Wellen mit Lichtgeschwindigkeit fließen mit.

Da es aber nichts anderes gibt als diese Wellen – weil also alles, was existiert, wie schon im ersten Teil festgestellt, ein Muster aus Superpositionen dieser Wellen ist – müssen sich die Bahnen von Objekten aus der Analyse der Wege der Wellen mit Lichtgeschwindigkeit im beschleunigten Fluss ergeben – und zwar *exakt*, denn das Szenario wurde ohne Verwendung irgendwelcher Näherungen erstellt.<sup>69</sup>

Das soll nun an einigen bekannten Beispielen demonstriert werden.

Zunächst ist sofort zu sehen, dass sich in diesem Szenario manche Phänomene besonders einfach erkennen lassen:

Aus (11) 
$$v = -c \sqrt{\frac{2m}{r}}$$

geht z.B. hervor, dass die Geschwindigkeit des Flusses in  $r = 2m$  gleich der Lichtgeschwindigkeit ist. Das bedeutet, dass in  $r = 2m$  Wellen mit Lichtgeschwindigkeit, die gegen die Flussrichtung laufen, nicht mehr nach außen gelangen, sondern stillstehen. Das ist ein besonders einfacher Fall der Analyse eines Lichtwegs!

Ferner ist unmittelbar klar, dass innerhalb von  $2m$  kein statisches relativistisches Beobachtersystem errichtet werden kann, weil hier  $v > c$  ist. Die Lichtwege können aber auch in diesem Bereich leicht verfolgt werden.

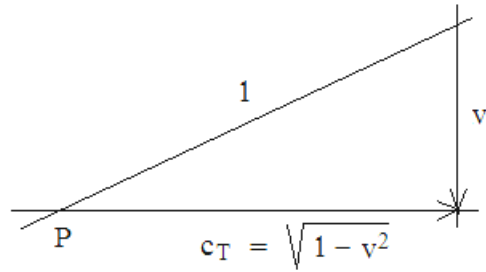
Wir führen nun einige Berechnungen durch.

### **Geschlossene kreisförmige Bahn des Lichts**

Zunächst bestimmen wir, in welcher Entfernung vom Gravitationszentrum O Licht eine *geschlossene kreisförmige Bahn* beschreibt. (Das ist bereits ein aussagekräftiger Test unseres Modells, weil die Lösung nahe am Zentrum liegt, in einem Bereich also, in dem Näherungen – z.B. die Newtonsche Näherung – von der ART stark abweichen.) Zur Bestimmung dieser Entfernung muss die Versetzung der Lichtstrahlen durch den Fluss berücksichtigt werden. (Im Folgenden ist  $c$  gleich 1 gesetzt.)

---

<sup>69</sup> In der Näherung *ohne Fluss* hat die Annahme, dass alle Objekte Wellenüberlagerungen sind, keine Auswirkungen: es ist gleichgültig, ob die Beschleunigung auf die Wellen einwirkt oder direkt auf die Objekte. Die Ermittlung der Objektbahnen *im Fluss* ist aber, wie gleich gezeigt wird, nur unter dieser Voraussetzung möglich.



(S6)

$v$  ist die Flussgeschwindigkeit.  $c_T$  ist die in Bezug auf das Koordinatensystem  $K$  durch den Fluss veränderte Tangentialgeschwindigkeit des Lichts in einem Punkt  $P$  auf der gesuchten Kreisbahn.

Der Betrag der Flussgeschwindigkeit ist nach (11)

$$|v| = \sqrt{\frac{2m}{r}}$$

Nach (8) existiert ein Beschleunigungsfeld

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{m}{r^2}$$

In einem System *ohne Fluss* ist die Gleichgewichtsbedingung für eine Kreisbahn bei dieser Beschleunigung

$$\omega^2 r^3 = m \quad (\omega \text{ Kreisfrequenz})$$

Daraus folgt  $v_T = \omega r = \sqrt{\frac{m}{r}}$  ( $v_T$  Betrag der Tangentialgeschwindigkeit)

Somit ist die Gleichgewichtsbedingung

$$v_T = \sqrt{\frac{m}{r}} = |v| \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (v \text{ Flussgeschwindigkeit})$$

Wir müssen also jenes  $r$  finden, wo die *flusskorrigierte* Lichtgeschwindigkeit  $c_T$  diesen Wert von  $v_T$  annimmt.

$$\text{Es ist} \quad c_T = \sqrt{1-v^2} = \sqrt{1-\frac{2m}{r}}$$

Die Gleichgewichtsbedingung lautet daher unter Berücksichtigung des Flusses  $v$

$$c_T = \sqrt{1-\frac{2m}{r}} = \sqrt{\frac{2m}{r}} \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\text{Daraus folgt} \quad 1 - \frac{2m}{r} = \frac{m}{r}$$

$$\text{und schließlich} \quad r = 3m$$

Wir haben also das bekannte Resultat erhalten.

### **Periheldrehung**

Dasselbe Schema kann zur Berechnung der *Periheldrehung* verwendet werden:

Wir gehen wieder von der Gleichgewichtsbedingung für eine Kreisbahn aus

$$v_T = \sqrt{\frac{m}{r}} \quad (v_T \text{ Betrag der Tangentialgeschwindigkeit})$$

Wie zuvor muss nun wegen des Flusses die Tangentialgeschwindigkeit korrigiert werden. Wenn  $v_T$  durch den Fluss um den Faktor

$$k = \sqrt{1-v^2} = \sqrt{1-\frac{2m}{r}}$$

verlangsamt<sup>70</sup> wird, dann ist nun dieses korrigierte  $v_T$  in Bezug auf das Beschleunigungsfeld

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{m}{r^2}$$

für eine Kreisbahn *zu langsam*. Wir müssen also weiter nach innen – d.h. wir suchen jenes  $r'$ , bei dem  $v_T$  um  $1/k$  größer ist, so dass es dort der Kreisbahnbedingung (in hinreichender Näherung) genügt.

Wir setzen also

$$\sqrt{\frac{m}{r}} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{2m}{r}}} = \sqrt{\frac{m}{r'}}$$

Dann ist

$$\frac{m}{r} = \frac{m}{r'} \left(1 - \frac{2m}{r}\right)$$

Das ergibt

$$r' = r - 2m.$$

Die Gleichgewichtsbedingung für die flusskorrigierte Tangentialgeschwindigkeit ist also in  $r - 2m$  erfüllt.

Statt  $\omega^2 = \frac{m}{r^3}$  ist daher zu setzen

$$\omega'^2 = \frac{m}{(r - 2m)^3} = \frac{m}{r^3 \left(1 - \frac{2m}{r}\right)^3}$$

$$\omega'^2 \approx \frac{m}{r^3} \left(1 + \frac{2m}{r}\right)^3 = \omega^2 \left(1 + \frac{2m}{r}\right)^3$$

---

<sup>70</sup> Weil *jede* Bewegung als aus Lichtwegen zusammengesetzt gedacht werden muss (es gibt nur Lichtgeschwindigkeit!), bleibt der Korrekturfaktor immer gleich. Es werden *immer* Lichtwege korrigiert. Jedes  $v < c$ , das keine Flussgeschwindigkeit ist, muss als Interferenzphänomen aufgefasst werden.

$$\omega' = \omega \left(1 + \frac{2m}{r}\right)^{\frac{3}{2}}$$

$$\frac{\omega'}{\omega} = \left(1 + \frac{2m}{r}\right)^{\frac{3}{2}} = 1 + \frac{3}{2} \frac{2m}{r} + \frac{3}{8} \left(\frac{2m}{r}\right)^2 + \dots \approx 1 + \frac{3m}{r}$$

Somit beträgt die Voreilung pro Umlauf, d.h. die Periheldrehung  $\frac{3m}{r}$ , und das ist identisch mit dem Wert, der sich aus der Allgemeinen Relativitätstheorie ergibt.

### Lichtablenkung

Hier muss überhaupt nichts berechnet werden. Man sieht das Ergebnis sofort.

Die Newtonsche Lichtablenkung kann als bekannt vorausgesetzt werden. Der Ablenkungswinkel sei  $\delta$ .

Wie zuvor ist zunächst die Beschleunigung

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{m}{r^2}$$

zu berücksichtigen; Sie liefert nach Voraussetzung den Winkel  $\delta$ .

Dann muss die Versetzung der Lichtstrahlen durch den Fluss einbezogen werden. Da aber die Flussgeschwindigkeit

$$v = \sqrt{\frac{2m}{r}}$$

genau der Fallgeschwindigkeit bei der Newtonschen Beschleunigung entspricht, ist sofort zu sehen, dass die Versetzung durch den Fluss den gleichen Beitrag zur Lichtablenkung liefert wie die Beschleunigung.

Die Ablenkung ist also doppelt so groß wie bei der Newtonschen Näherung; sie beträgt daher  $2\delta$ .



### 2.3. Der Übergang zur metrischen Sicht

Wie am Schluss von Abschnitt 2.1. angekündigt, ist ein mit dem Fluss  $v$  mitfließendes lokales System  $S_F$  auch als Ausgangspunkt für den Übergang auf ein Einsteinsches Beobachtersystem  $S_E$  geeignet. ("Lokales System" bedeutet: von so geringer Ausdehnung, dass die Längen-Differenziale in hinreichender Näherung konstant bleiben.)

Der erste Schritt ist, zwischen dem soeben erstellten Gravitationsszenario und den üblichen metrischen Vorstellungen einen Zusammenhang herzustellen.

Zu diesem Zweck definieren wir nun  $\sigma$  folgendermaßen:

$dr$  sei das radiale Längendifferenzial des "unverzerrten" Kontinuums,  $dr'$  das veränderte radiale Längendifferenzial. Dann gilt

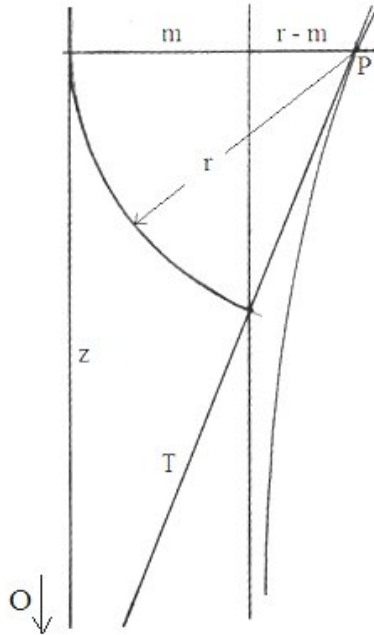
$$dr = dr' \sigma \quad \Leftrightarrow \quad \sigma = \frac{dr}{dr'} \quad (12)$$

Mit (7)  $\sigma = \frac{r - m}{r}$  ist also

$$\frac{dr}{dr'} = \frac{r - m}{r}$$

bzw.  $dr' = \left(1 - \frac{m}{r}\right)^{-1} dr$  (13)

Die folgende Skizze illustriert die metrischen Verhältnisse.



(S7)

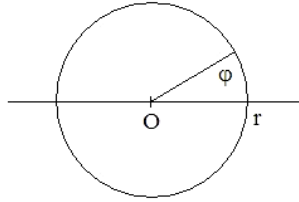
$z$  ist die Achse der Hilfsdimension.  $P$  ist ein Punkt auf der Kurve, die die geänderten radialen Maßverhältnisse darstellt ( $dr'$  ist das Längendifferenzial auf der Kurve).  $T$  ist die Tangente in  $P$ .

Wie der Skizze zu entnehmen ist, gilt  $(r - m)/r = dr/dr' = \sigma$ . (Im Folgenden verwende ich für  $dr'$  die Bezeichnung  $dr_N$ .)

Wir kennen also in jedem Punkt den Anstieg  $dz/dr$ . Integration ist allerdings nicht möglich – die Kurve liegt "im Unendlichen". Das ist aber ohne Bedeutung – die Skizze dient, wie gesagt, nur der Illustration.

Im mehrdimensionalen Fall genügt es wegen der Kugelsymmetrie des Szenarios, die metrischen Verhältnisse in einer beliebigen Ebene durch  $O$  zu beschreiben.

Seien  $r$  und  $\varphi$  Polarkoordinaten:



(S8)

Dann ist das *nicht-relativistische* System  $S_N$ , das die metrischen Verhältnisse des Kontinuums für den Fall einer zentralen (geometrischen) Masse  $m$  wiedergibt, charakterisiert durch

$$S_N: ( dt_N = dt, dr_N = (1 - \frac{m}{r})^{-1} dr, d\varphi_N = d\varphi ) \quad (14)$$

Gegenüber einem glatten Kontinuum ist nur das radiale Differenzial  $dr$  verändert. Das Zeitdifferenzial  $dt$  und das Winkeldifferenzial  $d\varphi$  bleiben gleich.

Bemerkung: Aus der Konstruktion der Tangente in der Skizze (S8) geht auch hervor, dass der Punkt P, dessen Abstand von  $z$  *vor* der metrischen Änderung  $r$  ist ( $r \geq m$ ), bezogen auf das *nachher* in P geltende radiale Längenmaß  $dr_N$  von  $z$  den Abstand  $r - m$  hat. Das trifft für alle P zu, auch für solche, die beliebig nahe am Schnittpunkt der Kurve mit der  $r$ -Achse liegen, und deshalb gilt: <sup>71</sup>

$$r_N = r - m$$

Aus dieser Sicht "fehlen" dem  $S_N$ -Kontinuum von O aus in jeder Richtung  $m$  Einheiten. Nach (7) gibt  $\sigma$  also das Verhältnis des Abstands PO *nach* der Änderung zu dem *vorher* an (gemessen in den im jeweiligen System gültigen Einheiten):

$$\sigma = \frac{r - m}{r} = \frac{r_N}{r} \quad (15)$$

<sup>71</sup> Man könnte sich auch einfach vorstellen, von P aus entlang der Kurve bis zur  $r$ -Achse zu gehen. Dann hat man, gemessen durch  $dr_N$ , eine Strecke  $r - m$  zurückgelegt. In dem Punkt, wo man nun angelangt ist, wird  $dr_N/dr$  unendlich, das Differenzial  $dr_N$  wird daher endlich, und der damit gemessene Abstand zum Zentrum wird 0. Also beträgt der Abstand von P zum Zentrum  $r - m$ . (Ein wenig mehr darüber im Unterabschnitt *Der Bereich  $r < m$* .)

Das ermöglicht eine alternative Definition der Metrik von  $S_N$ :

$$\frac{dr}{dr_N} = \frac{r - m}{r} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{dr}{dr_N} = \frac{r_N}{r} \quad (16)$$

Die bisherige Darstellung der Gravitation ist *nicht-relativistisch*. Deshalb gibt es keine Änderungen der Längen und Zeiten infolge einer Relativbewegung. Was in (12) über die Maße des relativ zu O ruhenden Systems  $S_N$  ausgesagt wurde, gilt genauso für ein *mit dem Fluss* bewegtes (lokales) System.

## 2.4. Der Übergang zur Einsteinschen Gravitation: die Schwarzschild-Metrik

Nun vollziehen wir den Übergang auf ein relativ zu O ruhendes Einsteinsches Beobachtersystem  $S_E$ .

Da die Flussgeschwindigkeit bekannt ist, könnte von einem lokalen mitfließenden *relativistischen* System  $S_F$  auf ein lokales System  $S_E$ , das relativ zu O ruht, transformiert werden. Dazu wird jedoch die Länge des Differenzials  $dr_F$  von  $S_F$  benötigt. Wie ermittelt man diese Länge?

Das radiale Differenzial des Newtonschen Bezugssystems  $S_N$  ist bekannt. Die Beschreibung ist hier nichtrelativistisch, daher ist dieses Differenzial identisch mit dem Differenzial eines mit dem Fluss mitfließenden, lokalen *nichtrelativistischen* Systems  $S_{F_0}$ , in Bezug auf das die (lokale) Lichtgeschwindigkeit dennoch *konstant* ist.

$$\text{Es gilt also nach (14)} \quad dr_{F_0} = \left( \frac{r - m}{r} \right)^{-1} dr \quad (16')$$

$$\text{und nach (16)} \quad dr_{F_0} = \left( \frac{r_{F_0}}{r} \right)^{-1} dr \quad (16'')$$

Die Metrik ist gemäß dieser Definition somit nur *durch einen einzigen Faktor* bestimmt: durch den Quotienten der radialen Abstände *ohne* Gravitation ( $r$ ) und *mit* Gravitation ( $r - m$  oder  $r_{F_0}$ ).

Also ist jetzt zu fragen: Wie ändert sich dieser Faktor beim Übergang vom nicht-relativistischen Flusssystem zum relativistischen? Wenn der Abstand eines Punktes P von O in Bezug auf  $S_{F_0}$  gleich  $r - m$  ist, wie groß ist dann der Abstand PO in Bezug auf das *relativistische* Flusssystem  $S_F$ ?

Das lässt sich am einfachsten auf folgende Weise beantworten: Die Geschwindigkeit des Flusses beträgt

$$v = -c \sqrt{\frac{2m}{r}}$$

Der Fluss erreicht im Abstand  $2m$  Lichtgeschwindigkeit. Dort wird somit jeder endliche radiale Abstand des Ruhesystems – vom Fluss aus gesehen – zu  $0$ , so dass jeder Punkt, der im unverzerrten Kontinuum von  $O$  den Abstand  $2m$  hat, vom fließenden, nun relativistisch betrachteten Kontinuum aus den Abstand  $0$  hat. Damit verringert sich für jeden Punkt im Abstand  $r$  ( $r \geq 2m$ ) der Abstand von  $O$  um  $2m$ . Aus relativistischer Sicht fehlt dem Kontinuum also nicht  $m$ , sondern  $2m$ .

Beim Übergang von  $S_{F_0}$  auf  $S_F$  ist daher im Faktor, durch den die Metrik definiert ist, die Größe  $m$  durch  $2m$  zu ersetzen. (Die Änderung betrifft nur das Längendifferenzial. Zeit- und Bogendifferenzial bleiben gleich.) Es ergibt sich also:

$$dr_F = \left( \frac{r - 2m}{r} \right)^{-1} dr \quad (17)$$

Kann über das radiale Längendifferenzial tatsächlich auf diese Weise verfügt werden? Müssten sich dann nicht Flussgeschwindigkeit und Beschleunigung ändern?

Nein.  $v$  und  $dv/dt$  wurden ohne Bezug auf die metrischen Verhältnisse im Fluss ermittelt. Sie folgen aus der Anfangsgleichung (1')

$$\frac{d\sigma}{dr} = - \frac{1}{c^2} \frac{dv}{dt} \quad \text{und aus (14)} \quad \sigma = \frac{r - m}{r}$$

Erst durch die Definition (12)

$$\sigma = \frac{dr}{dr'}$$

ist die Metrik damit in Verbindung gebracht worden. Diese Definition von  $\sigma$  muss nun allerdings – nach dem Übergang auf eine relativistische Sichtweise – aufgegeben werden. In einem relativistischen Bezugssystem ist  $\sigma$  keine metrische Dichte.

Mit (17) ist ein lokales mitfließendes System  $S_F$  charakterisiert durch

$$S_F: ( dt_F = dt, dr_F = (1 - \frac{2m}{r})^{-1} dr, d\phi_F = d\phi ) \quad (18)$$

(Nach wie vor ist ausschließlich das radiale Differenzial verändert.)

Nun kann (für jedes  $r$  mit  $r > 2m$ ) auf ein lokales, relativ zu  $O$  ruhendes System transformiert werden.

Dies geschieht einfach dadurch, dass das Längendifferenzial und das Zeitdifferenzial von  $S_F$  mit dem

Faktor  $k = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$  der Lorentztransformation multipliziert werden.<sup>72</sup>

Nach (16) gilt 
$$v = \pm c \sqrt{\frac{2m}{r}}$$

Somit ist 
$$k = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \sqrt{1 - \frac{2m}{r}} \quad (19)$$

Wir erhalten dann für das radiale Längendifferenzial  $dr_E$  von  $S_E$

$$dr_E = dr_F k = dr (1 - \frac{2m}{r})^{-1} (1 - \frac{2m}{r})^{\frac{1}{2}} = dr (1 - \frac{2m}{r})^{-\frac{1}{2}}$$

und für das Zeitdifferenzial  $dt_E$

$$dt_E = dt (1 - \frac{2m}{r})^{\frac{1}{2}} \quad (\text{zu beachten: } dt_F = dt)$$

---

<sup>72</sup> Selbst wenn die Lorentz-Transformation nicht schon aus der Standardphysik bekannt wäre, könnte sie an dieser Stelle vorausgesetzt werden, weil im ersten Teil – im Kapitel über Relativität – gezeigt wurde, dass sie aus der Annahme folgt: *Alles, was existiert und was sich ereignet, ist ein Interferenzphänomen, ein Muster aus Superpositionen von Wellen mit Lichtgeschwindigkeit.*

Die Gesamtheit dieser lokalen Systeme ergibt die Schwarzschildmetrik:

$$ds^2 = \left(1 - \frac{2m}{r}\right) dt^2 - \left(1 - \frac{2m}{r}\right)^{-1} dr^2 - r^2 d\varphi^2 \quad (20)$$

(20) gilt für eine beliebige Ebene durch O.

$r d\varphi$  bleibt wiederum gleich. Die Umfänge wurden nie verändert.

## 2.5. Zusammenfassung, Ergänzungen

Die Ergebnisse der letzten Abschnitte rechtfertigen folgende Behauptung:

Das Gravitationsfeld einer zentralen geometrischen Masse  $m$  ( $m = MG/c^2$ ) ist aus metrisch-dynamischer Sicht ein kugelsymmetrischer, stationärer Zustand, der durch einen beschleunigten radialen metrischen Fluss  $v(r)$  ins Zentrum charakterisiert ist.

Die Flussgeschwindigkeit ist 
$$v = -\sqrt{\frac{2m}{r}}$$

Die Beschleunigung beträgt 
$$\frac{dv}{dt} = -\frac{m}{r^2} \quad (m \text{ geometrische Masse, } c = 1)$$

Ursache des Flusses ist eine metrische Veränderung: dem Kontinuum fehlen vom Mittelpunkt O aus in jeder Richtung  $m$  Einheiten, d.h. jeder mit den im System gültigen Maßstäben gemessene radiale Abstand ist um  $m$  Einheiten kürzer als im glatten Kontinuum.

Im beschleunigten Fluss gibt es Wellen mit Lichtgeschwindigkeit. Die Bahnen von Objekten können auf Basis der Hypothese ermittelt werden, dass alle Objekte Superpositionen solcher Wellen sind. (Dieses Verfahren ist hier am Beispiel der Periheldrehung demonstriert worden.)

Diese Sicht der Gravitation führt im kugelsymmetrischen Fall zu Ergebnissen, die mit denen der Allgemeinen Relativitätstheorie übereinstimmen. Aus der Metrik der lokalen Flusssysteme kann die Metrik der lokalen Einsteinschen Beobachtersysteme abgeleitet werden. Die Gesamtheit der lokalen Metriken ergibt die Schwarzschild-Metrik.

Es ist aber nicht anzunehmen, dass sich die Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Allgemeinen Relativitätstheorie auf den kugelsymmetrischen Fall beschränkt.

Also definieren wir:

Gravitation ist der Oberbegriff über all jene dynamischen Phänomene, die sich auf den longitudinalen metrischen Fluss  $v$  zurückführen lassen, der sich aus Gleichung (1') ergibt:

$$\frac{d\sigma}{dr} = - \frac{1}{c^2} \frac{dv}{dt}$$

Daraus folgt, dass es sich bei den Wellen aus Gleichung (3) und (5)

$$\frac{\partial^2 v}{\partial r^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \qquad \frac{\partial^2 \sigma}{\partial r^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \sigma}{\partial t^2}$$

um *Gravitationswellen* handelt.

Hier erscheint allerdings die Einschränkung auf Veränderungen des *longitudinalen* metrischen Flusses überraschend. Es ist aber zu bedenken, dass die obigen Wellengleichungen nur deshalb eine so einfache Form haben, weil sie erstens nur für Wellen gelten, die *mit dem Fluss* laufen, und weil zweitens die Sicht, aus der sie gültig sind, nicht die relativistische Sicht eines Beobachters *im Geschehen* ist, sondern die nichtrelativistische Sicht eines Beobachters, der sich *außerhalb* des Universums befindet.

Der Unterschied zwischen dem metrisch dynamischen Modell und der Allgemeinen Relativitätstheorie lässt sich auf folgende Weise ausdrücken:



In der AR gibt es ein raumzeitliches Koordinatengitter, und Verzerrungen des Gitters äußern sich im Allgemeinen in einer Änderung aller Komponenten. Längen- und Winkeländerungen sind nicht trennbar.

Im Flussmodell gibt es dagegen kein raumzeitliches Gitter, sondern nur ein räumliches Flussbild mit *Flusslinien*. Im Fluss bleibt die Zeit immer gleich. Im einfachsten, kugelsymmetrischen Fall entspricht die Flussgeschwindigkeit – wie hier gezeigt wurde – der Newtonschen Fallgeschwindigkeit beim Fall aus dem Unendlichen. Der einzige weitere Parameter ist die metrische Dichte entlang der Flusslinien; Das heißt: nur die longitudinalen metrischen Änderungen sind von Bedeutung, normal zur Flussrichtung ändert sich nichts. Änderungen der Winkeldichte treten nicht auf.

### **Das universelle Flussfeld**

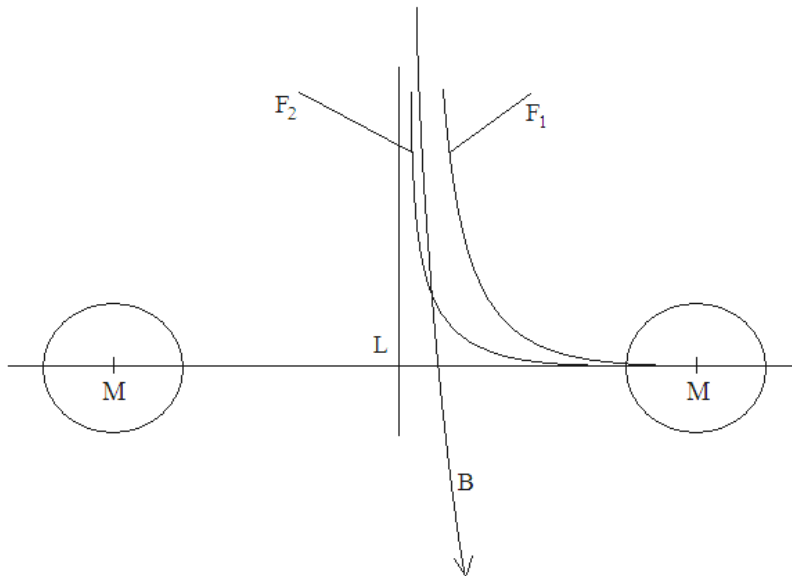
Für den Fall, dass nicht nur *eine* Masse betrachtet wird, sondern viele Massen, die in einer metrischen Struktur (z.B. einem Universum) verteilt sind, gilt Folgendes:

Das Beschleunigungsfeld jeder Masse – also das Feld, von dem die Flussgeschwindigkeit abhängt – ist *exakt*  $-m/r^2$ . Zur Ermittlung der Flusslinien müssen zunächst die Punkte bestimmt werden, wo die Gesamtbeschleunigung (die Summe der Beschleunigungen aller Massen) gleich 0 ist. Wenn in einem solchen Punkt die nach außen gerichtete Beschleunigung in jeder Richtung mit dem Abstand zunimmt, dann ist dieser Punkt eine *Quelle* des universellen  $v$ -Feldes.

Von diesen Quellen aus führen die Flusslinien in alle Richtungen. Eine Teilmenge der Flusslinien endet in *Senken*, d.h. in den Singularitäten im Inneren schwarzer Löcher.

Die Flusslinien folgen in jedem Punkt genau der Richtung der Gesamtbeschleunigung, und die Flussgeschwindigkeit in einem bestimmten Punkt ist immer das Integral über die Beschleunigung entlang der Flusslinie von der Quelle bis zu diesem Punkt. Anders als im Fall von Kugelsymmetrie entsprechen aber im allgemeinen Fall die Flusslinien *nicht* den Bahnen von Testkörpern im Newtonschen Feld, weil bei Testkörpern (konventionell ausgedrückt) Trägheit berücksichtigt werden muss, während die Flusslinien immer direkt der Richtung der Beschleunigung folgen.

Ein Beispiel zur Illustration:



(S9)

$L$  ist der Mittelpunkt zwischen zwei gleich großen Massen  $M$ .  $F_1$  und  $F_2$  sind Flusslinien.  $B$  ist die Bahn eines Testkörpers. Es ist zu erkennen, dass keine Flusslinie die Verbindungsgerade der beiden Massen schneiden kann (keine Beschleunigung führt über die Gerade).  $L$  ist keine Quelle: die Gesamtbeschleunigung ist in  $L$  zwar gleich 0, aber die nach außen gerichtete Beschleunigung nimmt nicht in alle Richtungen zu.

Die Flusslinien, die von oben kommend durch  $L$  führen, wären in  $L$  rechtwinkelig – aber das ist nur ein Indiz dafür, dass das Bild des glatten metrischen Flusses nicht bis zu beliebig kleinen Längen gelten kann.

Die beiden Massen ruhen allerdings nicht, sondern umkreisen  $L$ . Die Flusslinien  $F_1$  und  $F_2$  schrauben sich daher um die durch  $L$  gehende Symmetrieachse. *Diese Verdrillung der Flusslinien ist ein wichtiges Faktum, weil sich dadurch die Stärke der Gravitation ändert.*

Die Objekte bestimmen die Flusslinien. Umgekehrt sind die Objekte in die Flusslinien eingebettet, sodass ihre Dynamik durch das Flussfeld bestimmt wird.

Die Zeit bleibt im Fluss immer unverändert. Außerdem gehört – auf Grund von Gleichung (1') und der Definition  $\sigma = dr/dr'$  – zu jeder Flussgeschwindigkeit  $v$  ein bestimmtes, im Fluss gültiges Längendifferenzial  $dr'(v)$  (siehe Gleichung (34') am Ende des nächsten Kapitels über Antimaterie). Daher kann, wenn die Geschwindigkeit des Flusses bekannt ist, vom lokalen Flusssystem auf ein lokales Einsteinsches Beobachtersystem Lorentz-transformiert werden. Wenn in einem Raumbereich Größe und Richtung des metrischen Flusses an jedem Ort gegeben sind, dann lässt sich die Metrik dieses Bereichs aus der Gesamtheit der lokalen Beobachtersysteme ermitteln.

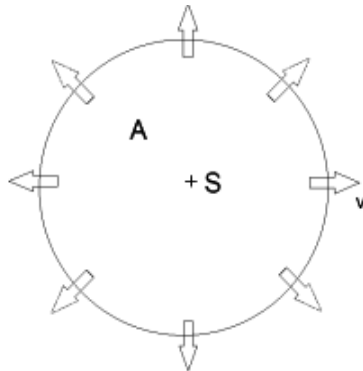
Von besonderer Bedeutung ist, dass sich aus metrisch-dynamischer Sicht Gravitation nicht bloß auf Phänomene beschränkt, die in Verbindung mit Masse oder Energie auftreten. Das Universum wird als Prozess der Selbstorganisation durch Flüsse und Wellen verstanden, und es ist anzunehmen, dass jene Phänomene, die im üblichen Verständnis unter den Begriff "Gravitation" fallen, in der Menge aller möglichen dynamischen Phänomene, die auf den longitudinalen metrischen Fluss zurückgehen, bloß *eine* Variante und vielleicht sogar eine Ausnahme darstellen.

Ein wenig mehr wird im Kapitel über Kosmologie darüber zu sagen sein.

Auch bei der Beschreibung der Gravitation haben sich die Begriffe *metrische Dichte* (der Länge) und *metrischer Fluss* als ausreichend erwiesen. Es war nicht notwendig, irgendwelche anderen physikalischen Begriffe in die Beschreibung einzubeziehen.

Bemerkung:

Bei allen Überlegungen zum metrischen Fluss ist zu beachten, dass es *keine absolute metrische Dichte* gibt, sondern nur relative Dichteänderungen. Die folgende Skizze veranschaulicht diesen Sachverhalt:



(S10)

Hier existiert ein metrischer Fluss  $v$ , der von A nach außen führt und in alle Richtungen gleich groß ist. Nehmen wir nun an, dieser Fluss sei zeitunabhängig. Dann wird – trotz des Flusses – die metrische Dichte in A nicht geringer.

Damit hängt folgender Sachverhalt zusammen:

Was zuvor als *Quelle* des Flussfeldes bezeichnet wurde, ist keine Quelle im üblichen Sinn: Der Fluss beginnt im Punkt S mit der Geschwindigkeit Null. Es gibt also keinen wirklichen "Zufluss".

### Die Wahl des Vorzeichens

In der Gleichung für die Geschwindigkeit des radialen Flusses

$$v = \pm \sqrt{\frac{2m}{r}}$$

wurde nur das negative Vorzeichen berücksichtigt. Im Fall eines positiven Vorzeichens wären die Richtung des Flusses und die Richtung der abnehmenden metrischen Dichte einander entgegengesetzt – im Widerspruch zur ursprünglichen in 1.4. getroffenen Annahme.

Rein logisch wäre jedoch das positive Vorzeichen möglich. Man müsste dann in der Singularität mit einem nach außen gerichteten Fluss  $v = \infty$  beginnen. Der Verzicht auf das positive Vorzeichen entspricht also der üblichen Vermutung, dass keine "weißen Löcher" existieren.

### Der Bereich $r < m$

In der nichtrelativistischen metrischen Betrachtung (siehe Abschnitt 2.3.) wird wegen des Zusammenhangs

$$\sigma = 1 - \frac{m}{r} = \frac{dr}{dr'} \quad dr' = \left(1 - \frac{m}{r}\right)^{-1} dr$$

die metrische Dichte in einem Punkt P im Abstand  $m$  vom Mittelpunkt O gleich 0. Das Differenzial  $dr'$  wird dort endlich, sodass auch der Abstand dieses Punktes, gemessen durch  $dr'$ , gleich 0 wird. (Beim Übergang auf ein relativistisches System muss  $m$  durch  $2m$  ersetzt werden.)

Bei der Schwarzschild-Metrik kann das Problem, dass innerhalb von  $2m$  "kein Raum" mehr vorhanden ist, durch die Transformation auf ein anderes Koordinatensystem gelöst werden. Im Flussbild der Gravitation ist das jedoch unzulässig, weil hier die Zeit (im Fluss) unverändert bleibt.

Natürlich kann man zunächst auf die Schwarzschild-Metrik übergehen und dann ebenfalls die Koordinaten-Transformation durchführen. Da aber das Flussbild direkt aus dem *Ursprung des Seienden* folgt und deshalb den Anspruch erhebt, nicht bloß eine formale Alternativversion der Gravitation zu sein, sondern der Wirklichkeit auch ontologisch zu entsprechen, ist diese Vorgangsweise unbefriedigend.<sup>73</sup> Deshalb will ich kurz skizzieren, wie im Flussbild der Sachverhalt mit den Mitteln der Nicht-Standard-Analysis interpretiert werden könnte.

Beginnen wir mit der Frage: Wenn die metrische Dichte in  $m$  gleich 0 wird, *zerreißt* das Kontinuum an dieser Stelle?

Nicht unbedingt. Es hängt davon ab, wie das Kontinuum definiert ist. Ein Kontinuum, dessen Punkte reellen Zahlen entsprechen, würde zerreißen. Es ist aber möglich, Zahlen zu definieren, die *zwischen* den reellen Zahlen liegen. Dazu definiert man zunächst positive Zahlen  $q_1$  derart, dass für alle diese Zahlen  $q_1$  und für alle positiven reellen Zahlen  $q$  gilt:  $0 < q_1 < q$ . (Jedes  $q_1$  ist größer als 0, aber kleiner als jede positive reelle Zahl. Die Differenziale der Standard-Analysis lassen sich durch solche Zahlen definieren.) Dann liegen die Zahlen der Form  $(\pm q + q_1)$  zwischen den reellen Zahlen. Denselben Vorgang wiederholt man nun in Bezug auf diese neuen Zahlen und erhält damit Zahlen  $(\pm q + q_1 + q_2)$ , die wiederum zwischen den Zahlen  $(\pm q + q_1)$  liegen. Intervalle, deren Länge einer Zahl  $q_2$  entspricht, heißen *Differenziale zweiter Ordnung*.

Ein Kontinuum, dessen Punkte den Zahlen  $(\pm q + q_1)$  entsprechen, zerreißt nicht, wenn es so weit gedehnt wird, dass Distanzen der Länge  $q_1$  (die "normalen" Differenziale erster Ordnung) endlich werden, weil dann Intervalle der Länge  $q_2$  (Differenziale zweiter Ordnung) die endlich gewordenen Differenziale erster Ordnung ausfüllen: die Zahlen der Form  $(\pm q + q_1)$  liegen noch immer dicht und verhindern so das Zerreißen.

Nun zur Frage: Ist innerhalb von  $m$  tatsächlich kein Raum mehr vorhanden?

Im reellen Kontinuum ist die Antwort *ja*: Wenn ein Punkt  $P$  im Abstand  $m$  liegt, dann wird dieser Abstand – gemessen durch das endlich gewordene radiale Differenzial  $dr'$  – tatsächlich gleich 0.

---

<sup>73</sup> Es ist allerdings auch möglich, auf die einfache Darstellung aus Abschnitt 2.2. zurückzugreifen, die auf dem "absoluten Blick von außen" beruht.

In einem Kontinuum der soeben beschriebenen Art ist das aber nicht der Fall. Hier ist der Abstand zwischen P und O nicht gleich 0, sondern gleich einer Zahl  $q_1$ , und Differenziale zweiter Ordnung sorgen dafür, dass die metrischen Verhältnisse definiert bleiben.

Auf diese Weise lässt sich das Konzept der metrischen Dichte also auch im Bereich  $r \leq m$  anwenden, was ja auch deshalb notwendig ist, weil die Umfänge der Kreise mit Radius  $r \leq m$  unverändert gleich  $2\pi r$  bleiben – und auch vom Außenraum aus so gesehen werden –, so dass der Raum in diesem Bereich nicht einfach verschwinden kann.

### Bemerkung zu schwarzen Löchern

In der üblichen allgemein-relativistischen Betrachtungsweise führt die Wirkung der Gravitation dazu, dass sich im Inneren eines schwarzen Lochs eine Singularität ausbildet.

Aus metrisch-dynamischer Sicht erscheint das jedoch nicht plausibel. Hier wird Gravitation als *metrische Verdichtung* aufgefasst, die durch Selbstorganisation der metrischen Struktur – also des Universums – entsteht.

Während in der üblichen Sicht die Gravitation einfach "da" ist und immer weiter wirkt, wird sie aus metrisch-dynamischer Sicht durch metrische Wellen *verursacht*, und es ist nicht anzunehmen, dass die Wellen *sich selbst* bis zu einer Singularität verdichten können.

Im Flussbild der Gravitation ist es deshalb wahrscheinlicher, dass sich im Inneren schwarzer Löcher keine Singularität befindet, sondern ein Wellenphänomen, das den metrischen Zustand aufrecht erhält, durch den das schwarze Loch definiert ist.

## **2.6. Das hybride System**

Beim Übergang von der Newtonschen Näherung der Gravitation auf die Einsteinsche Beschreibung war es notwendig, den Faktor, der die Metrik bestimmt, von  $(1 - m/r)$  auf  $(1 - 2m/r)$  zu korrigieren.

Was wäre aber, wenn in der Physik zwar die Spezielle Relativitätstheorie existierte, aber der Übergang von der Newtonschen Gravitation zur Allgemeinen Relativitätstheorie *nicht* stattgefunden hätte? Dann müsste die nicht-relativistische Sicht beibehalten werden, und zwar genau so wie es im Abschnitt 2.3 geschehen ist, und der metrische Faktor bliebe  $(1 - m/r)$ .

Wenn *unter dieser Voraussetzung* der metrische Fluss einbezogen würde, dann müsste für seine Geschwindigkeit gelten:

$$\boxed{v = -\sqrt{\frac{m}{r}}} \quad (21)$$

– denn nur dann wäre die Flussgeschwindigkeit im Punkt  $r = m$  gleich der Lichtgeschwindigkeit, sodass der Abstand dieses Punktes von  $O$  gleich  $0$  wäre, wie es die Metrik des Systems  $S_N$  erfordert (siehe (14), (15), (16)).

Formal gelangt man zu diesem Wert für  $v$ , wenn man *einerseits* die aus relativistischer Sicht gültige Gleichung

$$dr' = dr(1 - v^2)^{-1} \quad \text{bzw.} \quad dr/dr' = (1 - v^2)$$

anwendet, *andererseits* aber die Definition von  $\sigma$  beibehält

$$\sigma = \frac{dr}{dr'}$$

Mit  $\sigma = 1 - \frac{m}{r}$  ergibt sich dann

$$1 - \frac{m}{r} = 1 - v^2$$

und somit  $v = \pm \sqrt{\frac{m}{r}}$

Das führt dazu, dass das *relativistische* lokale Flusssystem  $S_F$  von (18) sich zu  $S_F'$  verändert:

$$S_F: ( dt_F = dt, dr_F = (1 - \frac{2m}{r})^{-1} dr, d\phi_F = d\phi )$$

$$\longrightarrow S_F': ( dt_F = dt, dr_F = (1 - \frac{m}{r})^{-1} dr, d\varphi_F = d\varphi )$$

Im hybriden System stimmt also das relativistische, mit dem Fluss mitfließende lokale Bezugssystem  $S_F'$  mit dem durch Galilei-Transformation aus dem Newtonschen System entstandenen lokalen Flusssystem  $S_{F_0}$  überein.

( Zur Erinnerung: Die differentiellen Maßeinheiten von  $S_{F_0}$  sind mit denen des Newtonschen Systems von (14) identisch:

$$S_N: ( dt_N = dt, dr_N = (1 - \frac{m}{r})^{-1} dr, d\varphi_N = d\varphi ) )$$

Wozu diese hypothetische Variante?

Weil es im Folgenden tatsächlich notwendig sein wird, den Wert aus (21) für die Flussgeschwindigkeit anzuwenden. Der Grund dafür ist, dass in der gegenwärtigen Physik alle Wechselwirkungen außer der Gravitation in der flachen Raumzeit stattfinden. Aus metrisch-dynamischer Sicht ist das aber genau der Zustand, in dem sich die Gravitation vor Einstein befand: der Zustand vor der metrischen Begründung einer Wechselwirkung.

Wenn wir also im weiteren Verlauf verschiedene bekannte physikalische Zusammenhänge auf das Konzept von Metrik und Fluss zurückführen werden, dann sind diese Rekonstruktionen nur möglich, wenn die Flussgröße aus Gleichung (21) verwendet wird. Der Faktor 2, der sich erst beim Übergang von einer Darstellung in der flachen Raumzeit zu einer Darstellung auf der Basis einer relativistischen Metrik ergibt, entfällt.

Ich nenne ein solches System ein hybrides System, weil es einerseits die konventionelle, vor-metrische Sichtweise enthält – was unerlässlich ist, wenn die zu dieser Sichtweise gehörenden Zusammenhänge rekonstruiert werden sollen –, andererseits aber auch den metrischen Fluss, der die Rekonstruktion erst ermöglicht.<sup>74</sup>

---

<sup>74</sup> Nebenbei bemerkt: Ich habe mich immer darüber gewundert, dass die Schwarzschild-Lösung der Einsteinschen Feldgleichungen im Fall hinreichend schwacher Gravitation nur dann mit der Newtonschen Näherung übereinstimmt, wenn am Ende der Ableitung als Integrationskonstante nicht  $m$ , sondern  $2m$  (bzw.  $\ln(2m)$ ) gewählt wird. Die geometrische Masse  $m$  und die Newtonsche Masse  $M$  sind nur durch Naturkonstanten miteinander verbunden ( $m = MG/c^2$ ). Weshalb sollte hier ein Faktor 2 auftreten?



## 2.7. Abschließende Bemerkungen

Wenn das fundamentale Gesetz (1) den *Mechanismus des Universums* darstellt, dann muss Gravitation aus diesem Gesetz hervorgehen.

In diesem Kapitel wurde gezeigt, dass das tatsächlich der Fall ist.

Das fundamentale Gesetz hat zwei Interpretationen: die eine bezieht sich auf Änderungen des Längenmaßes, die andere auf Änderungen des Winkelmaßes. Gravitation kann mit jenen Gesetzmäßigkeiten identifiziert werden, die aus Änderungen der Längenmaße folgen. Insbesondere entspricht die Gravitation einer zentralen Masse dem stationären kugelsymmetrischen metrischen Fluss in ein Zentrum.

Allerdings wurde hier keine "Theorie" präsentiert, sondern bloß der Entwurf einer solchen. Dieser Entwurf bewährt sich in einigen Anwendungen. (Es schien mir angemessen, dafür die ersten beiden Tests der Allgemeinen Relativitätstheorie auszuwählen.)

In den hier analysierten einfachen Fällen stimmen die Resultate mit denen der Allgemeinen Relativitätstheorie überein. Wird die neue Theorie also bloß eine Variante der Allgemeinen Relativitätstheorie sein?

Nein, denn es besteht der folgende grundsätzliche Unterschied: Das Kontinuum der Allgemeinen Relativitätstheorie ist gegenüber einem euklidischen Kontinuum zwar verzerrt, aber ansonsten (weitgehend) *statisch*. Das metrisch-dynamische Kontinuum ist dagegen *dynamisch*: es organisiert sich selbst durch Flüsse und Wellen. Deshalb führt die metrisch-dynamische Sicht zu einer völlig anderen Kosmologie. Davon wird später die Rede sein. An dieser Stelle will ich einen anderen Unterschied hervorheben, der mir besonders wichtig erscheint:

*Dadurch, dass Gravitation ausschließlich den Änderungen der Längenmaße zugeordnet ist, wird im dreidimensionalen Kontinuum Platz für weitere Wechselwirkungen geschaffen.*

Die Winkeländerungen werden nicht berührt. Deshalb ist es möglich, die elektromagnetische Wechselwirkung den Änderungen der Winkelmaße zuzuordnen. (Das wird der Inhalt des 5. Kapitels sein.)

---

Ich denke, die Erklärung ist eben, dass es in der nichtrelativistischen Darstellung keinen Faktor 2 gibt. Er tritt erst beim Übergang auf die relativistische Sichtweise auf.

Ein wenig überraschend ist, dass diese Trennung nur bei der *nicht-relativistischen* Version des neuen Zugangs zur Gravitation erkennbar wird; Nur dem "absoluten" Blick "von außen" offenbart sich also die erstaunliche Einfachheit der Verhältnisse!

Der neue Entwurf der Gravitation ist in einer wichtigen Hinsicht unvollständig:

Objekte, die Gravitation verursachen, wurden als stationäre Flusszustände beschrieben, die "schwarzen Löchern" entsprechen. Bei gravitierender Materie – d.h. bei "Teilchen" – handelt es sich aber wahrscheinlich nicht um schwarze Löcher, sondern um Raum-Zeit-Muster, die durch Wellen erzeugt und aufrechterhalten werden. Das bedeutet, dass der metrische Fluss nur außerhalb eines bestimmten Abstands vom Mittelpunkt in der Form existiert, wie er hier abgeleitet wurde

Diese Unvollständigkeit hat zur Folge, dass die Beschreibung von Objekten, die Gravitation verursachen, nicht mit der Beschreibung von Objekten übereinstimmt, auf die Gravitation einwirkt: Objekte, auf die Gravitation wirkt, werden in das Flussfeld eingebettet, indem sie als Überlagerungen von Wellen mit Lichtgeschwindigkeit aufgefasst werden. Objekte, die Gravitation verursachen, werden aber nicht als Wellenüberlagerungen dargestellt, sondern als stationäre Zustände, in denen Wellen keine Rolle spielen.

Diese Differenz könnte nur durch ein Modell aufgehoben werden, das die Prozesse enthält, die zur Bildung stationärer Wellen-Zustände führen, mit anderen Worten: ein Wellen-Modell von *Teilchen*, das darüber Auskunft gibt, wie es zu einem kugelsymmetrischen Defekt der Metrik kommt und wie dieser aufrechterhalten wird.<sup>75</sup> Einige vorbereitende Schritte zu einem solchen Modell werden in den Kapiteln 4 und 5 unternommen.

Zuletzt sei noch darauf hingewiesen, dass die ursprüngliche Idee Einsteins, die zur Allgemeinen Relativitätstheorie führte – die Identität von Schwere und Trägheit – im metrisch-dynamischen Modell der Gravitation auf direkte und einfachst-mögliche Weise umgesetzt wird:

Ein Objekt im Gravitationsfeld einer Masse in konstanter Entfernung zu dieser Masse zu halten bedeutet hier, das Objekt permanent gegen den zur Masse hin gerichteten metrischen Fluss zu beschleunigen, und das ist selbstverständlich identisch mit einer Beschleunigung des Objekts in einem masselosen Bereich ohne metrischen Fluss.

---

<sup>75</sup> Eine naheliegende Vermutung wäre, dass die Superpositionen von Wellen, aus denen ein materielles Objekt besteht, zu einer metrischen Verdichtung führen.

Wie gezeigt wurde, führt aber erst die Annahme, dass Objekte selbst nichts anderes sind als Überlagerungen von metrischen Wellen, zu den korrekten Resultaten, d.h. zu Resultaten, die mit der AR übereinstimmen.

Um das Bild noch ein wenig zu konkretisieren: Warum hält Gravitation uns auf der Erdoberfläche fest?

Aus metrisch dynamischer Sicht deshalb, weil ein beschleunigter metrischer Fluss mit einer Geschwindigkeit von 11,2 km/s durch uns hindurch in Richtung Erdmittelpunkt fließt. Wir selbst sind (letztlich) Muster aus Superpositionen von Wellen mit Lichtgeschwindigkeit im Fluss, und daraus folgt *erstens*, dass die Wellen (wir selbst) gegen den Fluss beschleunigt werden müssen – wofür die elektromagnetische Wechselwirkung mit der Erdoberfläche sorgt, und *zweitens*, dass die Wellen gegen den Fluss immer ein wenig vorhalten müssen – und deshalb vergeht die Zeit langsamer.

### 3. Antimaterie

#### 3.1. Materie und Antimaterie als entgegengesetzte metrische Deformationen

Unter welchen Umständen verschwindet eine metrische Deformation, die in Verbindung mit einem metrischen Fluss einen stabilen, stationären Zustand bildet? Genau dann, wenn sie auf die *entgegengesetzte* metrische Deformation trifft.

Materie und Antimaterie vernichten sich gegenseitig. Aus metrisch-dynamischer Sicht bedeutet das, dass sich die metrischen Unterschiede bei Materie und Antimaterie gegenseitig aufheben.

Nehmen wir an, der im vorigen Kapitel beschriebene metrische Defekt sei derjenige, der bei Materie auftritt. Die einfachste Formulierung dieses Defekts ist, dass dem Kontinuum eine (metrische) Kugel vom Radius  $m$  fehlt: Im metrisch veränderten Kontinuum ist jeder radiale Abstand vom Gravitationszentrum  $O$  um  $m$  Einheiten kleiner als im euklidischen Kontinuum.

Daher muss im Fall von Antimaterie angenommen werden, dass jeder radiale Abstand um  $m$  Einheiten *größer* ist als im euklidischen Kontinuum; es ist (sozusagen) eine metrische Kugel vom Radius  $m$  *zuviel* vorhanden.

Sei also  $r$  der Abstand eines Punktes vom Mittelpunkt  $O$  im euklidischen Kontinuum,  $r_A$  der Abstand desselben Punktes von  $O$ , gemessen im durch Antimaterie veränderten Kontinuum. Dann ist

$$r_A = r + m \quad (22)$$

Das bedeutet: Wenn Materie die geometrische Masse  $m > 0$  hat, dann ist die gleich große geometrische Masse im Fall von Antimaterie gleich  $-m$ .

Bei Materie ist die metrische Dichte  $\sigma(r)$  nach (7) gegeben durch

$$\sigma = \frac{r - m}{r}$$

Also ist bei Antimaterie zu setzen

$$\sigma = \frac{r + m}{r} \quad (23)$$

Das veränderte radiale Differenzial nennen wir nun nicht mehr  $dr_N$ , sondern  $dr_A$ . Gemäß der Definition von  $\sigma$

$$\sigma = \frac{dr}{dr'}$$

gilt dann 
$$dr_A = \left(1 + \frac{m}{r}\right)^{-1} dr \quad (24)$$

### ***3.2. Gravitation im Fall von Antimaterie***

Wir bestimmen nun die Gravitation von Antimaterie, d.h. jene Gravitation, die sich aus dem metrischen Defekt ergibt, der dem von Materie entgegengesetzt ist.

Um den metrischen Fluss zu ermitteln, wird (1') wieder umgeformt wie in 2.1. ( $c = 1$  gesetzt)

$$\frac{d\sigma}{dr} = -\frac{dv}{dt} \quad \longrightarrow \quad d\sigma = -\frac{dr}{dt} dv \quad (25)$$

Wieder wird  $\frac{dr}{dt} = v$  gesetzt:

$$d\sigma = -v dv$$

Integration ergibt  $\sigma = -\frac{v^2}{2} + C$

Gemäß (23) gilt aber jetzt nicht mehr

$$\sigma = \frac{r - m}{r}$$

sondern 
$$\sigma = \frac{r + m}{r}$$

Also ist 
$$1 + \frac{m}{r} = -\frac{v^2}{2} + C$$

Die Integrationskonstante C ergibt sich wieder aus der Bedingung, dass für  $r \rightarrow \infty$   $v = 0$  sein soll.

Daraus folgt 
$$C = 1$$

Das führt zu 
$$\frac{v^2}{2} = -\frac{m}{r}$$

und zuletzt 
$$\boxed{v = \pm i \sqrt{\frac{2m}{r}}}$$
 (26)

*Der Fluss v wird bei Antimaterie imaginär.*

Wegen  $v = \frac{dr}{dt}$  muss dann auch r imaginär sein. (Die Zeit bleibt immer unverändert.)

Ersetzen wir in (1') v durch iv und r durch ir

– also: 
$$\frac{d\sigma}{dir} = -\frac{div}{dt}$$

dann ergibt sich 
$$\boxed{\frac{d\sigma}{dr} = +\frac{dv}{dt}}$$
 (27)

*Wenn (1') als Zusammenhang von reellen Größen aufgefasst wird – d.h. von messbaren Größen – dann kehrt sich in der fundamentalen Gleichung bei Antimaterie das Vorzeichen um.*

Zur Bestimmung der (reellen) Fluss-Beschleunigung differenzieren wir

$$\sigma = \frac{r + m}{r} \quad \text{nach } r.$$

Das ergibt  $\frac{d\sigma}{dr} = -\frac{m}{r^2}$

Nach (27)  $\frac{d\sigma}{dr} = \frac{dv}{dt}$

gilt somit  $\boxed{\frac{dv}{dt} = -c^2 \frac{m}{r^2}}$  (28)

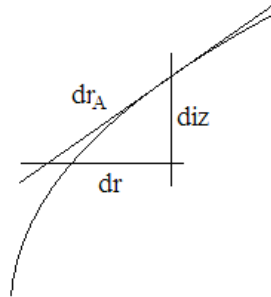
*Die Fluss-Beschleunigung ist bei Antimaterie identisch mit der Beschleunigung bei Materie. Die Newtonsche Näherung ist also in beiden Fällen gleich.*

Weshalb treten bei Antimaterie imaginäre Zahlen auf? Der Grund ist, dass hier – wie aus (24) hervorgeht

$$dr_A = \left(1 + \frac{m}{r}\right)^{-1} dr$$

– das radiale Differenzial  $dr_A$  im Vergleich mit dem Differenzial des euklidischen Kontinuums *verkürzt* ist.

Die übliche Darstellung durch eine Hilfsdimension ist daher nur möglich, wenn diese Dimension imaginär ist:



(S11)

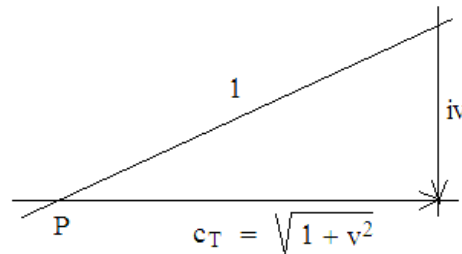
In (S11) ist  $dr_A^2 = dr^2 - dz^2$

Nur wenn die Hilfsdimension imaginär ist, gilt also  $dr_A < dr$ .

Oder betrachten wir den Fluss:

$$v = -i \sqrt{\frac{2m}{r}}$$

Wenn wir, wie zuvor bei Materie, die Geschwindigkeit des Lichts *im Fluss* beurteilen, wie sie sich dem nicht-relativistischen Blick "von außen" zeigt, dann führt diese Korrektur – wie der folgenden Skizze zu entnehmen ist – zu einer *Vergrößerung* der Lichtgeschwindigkeit



(S12)

Die flusskorrigierte Lichtgeschwindigkeit  $c_T$  ist hier größer als die normale Lichtgeschwindigkeit. Das liegt einfach daran, dass im Fall von Antimaterie die Umfänge von Kreisen mit Mittelpunkt O *kürzer*



sind als im euklidischen Kontinuum. Deshalb erscheint die Zeit, die Licht für eine Umrundung benötigt, verkürzt – oder alternativ ausgedrückt: Licht erscheint schneller (aber natürlich nur von einem nichtrelativistischen Standpunkt aus).

Daraus folgt aber nun eine Änderung gegenüber der üblichen Sichtweise:

*Bei Antimaterie ist die Gravitation kleiner als bei Materie derselben Masse  $|m|$ .*

Führt man z.B. die Berechnung der Periheldrehung genau wie im Abschnitt 2.2, aber gemäß (S12) mit dem Faktor

$$k = \sqrt{1+v^2} = \sqrt{1+\frac{2m}{r}}$$

durch, dann erhält man

$$\frac{\omega'}{\omega} = \left(1 - \frac{2m}{r}\right)^{\frac{3}{2}} \approx 1 - \frac{3m}{r} \quad (29)$$

Es gibt also keine Voreilung, sondern eine *Verzögerung*: die Ellipse dreht sich in der umgekehrten Richtung, d.h. *entgegen* der Bewegungsrichtung. Die Korrektur gegenüber der Newtonschen Näherung verläuft zwar völlig analog zu der bei Materie, sie führt aber nicht zu einer Verstärkung, sondern zu einer Abschwächung der Gravitation.

Wir bestimmen nun die metrischen Verhältnisse in einem relativ zum Mittelpunkt O ruhenden lokalen Beobachtersystem  $S_A$ .

Zunächst ist – ebenso wie bei Materie – zu berücksichtigen, dass aus relativistischer Sicht der metrische Defekt nicht  $m$ , sondern  $2m$  beträgt. Jede radiale Messung ergibt einen Abstand zum Mittelpunkt, der um  $2m$  größer ist als im unverzerrten Kontinuum.

Das Längendifferenzial des Flusssystemes  $S_F$  ist daher (vgl. (17))

$$dr_F = dr \left(1 + \frac{2m}{r}\right)^{-1} \quad (30)$$

Das Zeitdifferenzial ist unverändert, also  $dt_F = dt$

Ein lokales mitfließendes System  $S_F$  ist somit charakterisiert durch

$$S_F: ( dt_F = dt, dr_F = (1 + \frac{2m}{r})^{-1} dr, d\varphi_F = d\varphi ) \quad (31)$$

Von  $S_F$  kann nun auf ein lokales (relativistisches) Beobachtersystem  $S_A$ , das relativ zu  $O$  in Ruhe ist, transformiert werden, jedoch nicht, wie bei Materie, mit dem Faktor

$$\sqrt{1 - \frac{2m}{r}}, \text{ sondern mit } \sqrt{1 + \frac{2m}{r}}$$

– und zwar deshalb, weil aus

$$\frac{v}{c} = \pm i \sqrt{\frac{2m}{r}}$$

für den Faktor der Lorentz-Transformation folgt:

$$k = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \sqrt{1 + \frac{2m}{r}}$$

Wir erhalten dann für das radiale Längendifferenzial  $dr_A$  von  $S_A$

$$dr_A = dr_F k = dr (1 + \frac{2m}{r})^{-1} (1 + \frac{2m}{r})^{\frac{1}{2}} = dr (1 + \frac{2m}{r})^{-\frac{1}{2}}$$

und für das Zeitdifferenzial  $dt_A$

$$dt_A = dt (1 + \frac{2m}{r})^{\frac{1}{2}} \quad (\text{zu beachten: } dt_F = dt)$$

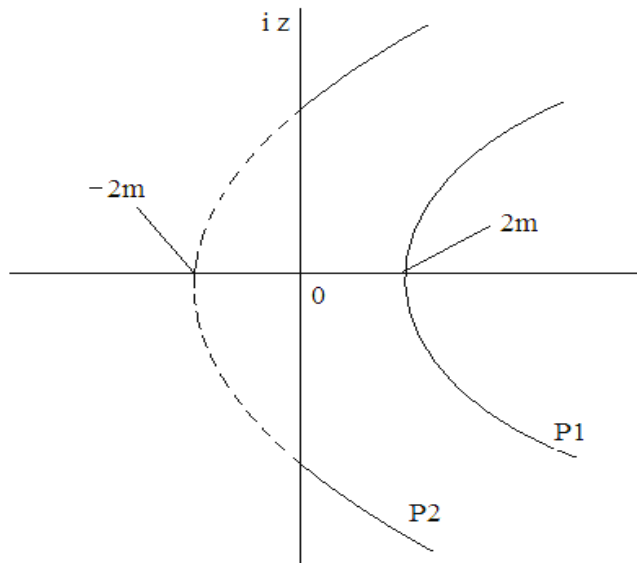
Daraus folgt die Metrik:

$$ds^2 = \left(1 + \frac{2m}{r}\right) dt^2 - \left(1 + \frac{2m}{r}\right)^{-1} dr^2 - r^2 d\phi^2 \quad (32)$$

*Die Metrik entspricht im Fall von Antimaterie nicht der Schwarzschild-Metrik. Insbesondere vergeht in der Nähe von Antimaterie die Zeit nicht langsamer, sondern schneller.*

*Objekte werden hier also in Richtung des Bereichs schnelleren Zeitvergehens beschleunigt.*

Zur Veranschaulichung der metrischen Verhältnisse hier eine Skizze der Parabel P2, die – analog zur Schwarzschild-Parabel – die Metrik mit Hilfe einer Einbettungsdimension  $iz$  illustriert:



(S13)

P2 ist die Parabel, die die räumlichen metrischen Verhältnisse von (32) veranschaulicht. Die Hilfsdimension  $iz$  ist imaginär. (Die Schwarzschild-Parabel P1 ist zum Vergleich eingezeichnet: für P1 müsste die Hilfsdimension aber natürlich reell sein.)

Im Flussbild sind die metrischen Veränderungen bei Materie und Antimaterie symmetrisch. Daraus ergibt sich jedoch ein Unterschied der Gravitation.

### 3.3. *Asymmetrie von Materie und Antimaterie*

Zusätzlich zur unterschiedlichen Stärke der Gravitation (bei gleichem  $m$ ) bestehen zwischen Materie und Antimaterie außerdem folgende Asymmetrien:

Während bei Materie die Gleichungen gelten

$$\frac{\partial \sigma}{\partial r} = - \frac{1}{c^2} \frac{\partial v}{\partial t} \quad (1')$$

$$\frac{\partial v}{\partial r} = - \frac{\partial \sigma}{\partial t} \quad (1a)$$

aus denen die Wellengleichung folgt

$$\frac{\partial^2 v}{\partial r^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \quad (3)$$

lässt im Fall von Antimaterie das positive Vorzeichen auf der rechten Seite in (27)

$$\frac{d\sigma}{dr} = + \frac{1}{c^2} \frac{dv}{dt}$$

in Verbindung mit (1a) die Ableitung der Wellengleichung nicht zu. Stattdessen erhält man

$$\frac{\partial^2 v}{\partial r^2} = - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \quad (3')$$

Das bedeutet: *Im Kontinuum, das durch Antimaterie metrisch verändert ist, gibt es keine stabilen longitudinalen Wellen.*

Aus metrisch-dynamischer Sicht, in der alles, was existiert, als Wellenüberlagerung verstanden wird, stellt diese Tatsache eine fundamentale Einschränkung dar.

*Die wichtigste Asymmetrie betrifft jedoch die **Entstehung** von Materie und Antimaterie:*

Im metrisch-dynamischen Universum entstehen Materie-Teilchen durch metrische Verdichtungsprozesse, die Teil der globalen, im ganzen Universum stattfindenden metrischen Selbstorganisation sind. In einem solchen Bereich metrischer Verdichtung münden Flusslinien, die dann entweder in einer Senke – in der Singularität eines schwarzen Lochs – verschwinden oder irgendwo im Inneren des Bereichs in einem Punkt enden, derart, dass die Flussgeschwindigkeit immer weiter *abnimmt*, bis sie in diesem Punkt den Wert Null erreicht.

Der Anfang jeder dieser Flusslinien liegt in einem Punkt, in dem die Flussgeschwindigkeit in alle Richtungen *zunimmt*. Ich habe einen solchen Punkt weiter oben eine *Quelle* genannt, obwohl diese Bezeichnung eigentlich nicht zutrifft, weil hier die Flussgeschwindigkeit ebenfalls mit dem Wert Null beginnt.

Für das Problem der Asymmetrie von Materie und Antimaterie ist aber nur das Folgende von Bedeutung:

Die Geschwindigkeit des Flusses entlang der eben beschriebenen Flusslinien hat immer einen reellen Wert, mit anderen Worten: das Universum organisiert sich selbst ausschließlich durch *reelle* longitudinale Flüsse.

Antimaterie ist aber durch das Auftreten eines *imaginären* longitudinalen Flusses charakterisiert.

Daraus folgt:

Aus metrisch-dynamischer Sicht kann die Annahme, dass Materie und Antimaterie zu gleichen Teilen entstehen, nicht aufrecht erhalten werden; Im Rahmen der globalen Selbstorganisation bildet sich Materie, ohne dass zugleich Antimaterie entsteht.

*Lokal* trifft diese Annahme jedoch zu: wird lokal ein metrisch verdichteter Bereich erzeugt, dann bildet sich ein dazu symmetrischer Bereich verringerter metrischer Dichte, in dessen Umgebung ein imaginärer longitudinaler metrischer Fluss auftritt; eine *lokale* Dichteänderung ist ohne die entgegengesetzte lokale Änderung nicht möglich. Im Laborversuch können daher nur Teilchen-Antiteilchen-Paare erzeugt werden.

### 3.4. Zusammenfassung

Ich schließe mit einer kurzen Zusammenfassung.

Sei  $K^n$  ( $n > 1$ ) ein  $n$ -dimensionales Kontinuum, das durch eine geometrische Masse  $m$  deformiert ist

Ist  $m > 0$ , dann ist  $m$  die geometrische Masse von *Materie*, und dann ist jeder Abstand vom Mittelpunkt  $O$  um  $m$  Einheiten *kleiner* als im unverzerrten Kontinuum.

Ist  $m < 0$ , dann ist  $m$  die geometrische Masse von *Antimaterie*, und dann ist jeder Abstand vom Mittelpunkt  $O$  um  $m$  Einheiten *größer* als im unverzerrten Kontinuum.

So wird unmittelbar einsichtig, warum Materie und Antimaterie mit gleichem Absolutbetrag der Masse  $m$  sich auflösen, wenn sie aufeinandertreffen: die metrischen Änderungen sind einander entgegengesetzt und heben sich gegenseitig auf.<sup>76</sup>

Das Beschleunigungsfeld, das dem der Newtonschen Näherung entspricht, ist in beiden Fällen identisch:

$$\frac{dv}{dt} = -c^2 \frac{m}{r^2}$$

Der metrische Fluss ins Zentrum ist im Fall von Materie reell, im Fall von Antimaterie imaginär:

$$\text{Materie: } v_M = \pm c \sqrt{\frac{2m}{r}} \qquad \text{Antimaterie: } v_{AM} = \pm i c \sqrt{\frac{2m}{r}}$$

$$\text{Die Quadrate der Flüsse heben sich auf: } v_M^2 + v_{AM}^2 = 0$$

Aus der Tatsache, dass bei Antimaterie der Fluss imaginär ist, ergibt sich eine Gravitation, die *nicht* mit der Gravitation von Materie mit gleichem Absolutbetrag der Masse  $m$  identisch ist, sondern schwächer als diese.

---

<sup>76</sup> Dass dabei Energie in Form von Wellen abgestrahlt wird beweist, dass Materie und Antimaterie aus Wellen aufgebaut sind und dass die zugehörigen metrischen Veränderungen durch diese Wellen verursacht werden.

Die Metrik des umgebenden Kontinuums ist

$$ds^2 = \left(1 + \frac{2m}{r}\right) dt^2 - \left(1 + \frac{2m}{r}\right)^{-1} dr^2 - r^2 d\phi^2$$

In der Umgebung von Antimaterie vergeht die Zeit also *schneller*.

Zwischen Materie und Antimaterie bestehen weitere Asymmetrien:

1. *Im Fall von Antimaterie gibt es keine Wellen des longitudinalen metrischen Flusses  $v$  und der metrischen Dichte  $\sigma$ .*

2. **Lokal** wird stets genau so viel Antimaterie erzeugt wie Materie. **Global** wird jedoch ausschließlich Materie gebildet.

Zuletzt noch eine Bemerkung über den Zusammenhang von metrischer Dichte  $\sigma$ , Flussgeschwindigkeit  $v$  und Längendifferenzial  $dr$  ( $c$  gleich 1 gesetzt):

Aus  $\sigma = 1 - \frac{m}{r}$  und  $v^2 = \frac{2m}{r}$

folgt  $v = \pm \sqrt{2} \sqrt{1 - \sigma}$  (33)

$\sigma$  kann alle reellen Werte annehmen,  $v$  alle reellen und alle imaginären. Wenn  $\sigma$  gleich 1 ist, dann ist  $v$  gleich 0. Ist  $\sigma$  kleiner als 1 (bei Materie), dann ist  $v$  reell. Ist  $\sigma$  größer als 1 (bei Antimaterie), dann ist  $v$  imaginär. Bis auf das Vorzeichen von  $v$  ist die Zuordnung umkehrbar eindeutig.

Mit  $\sigma = \frac{dr}{dr'}$

ergibt sich  $dr' = dr \left(1 - \frac{v^2}{2}\right)^{-1}$  (34)

Beim Übergang zur relativistischen Sicht gilt *im Fluss* (siehe Abschnitt 2.4, (17) und (18))

$$dr_F = dr (1 - v^2)^{-1} \quad (34')$$

und für einen ruhenden Beobachter

$$dr_B = dr (1 - v^2)^{-1/2} \quad (34'')$$

(33) bis (34'') gelten allgemein, nicht nur im kugelsymmetrischen Fall.



## 4. Planck-Länge, geometrische Masse und Teilchenfrequenz

In diesem kurzen Kapitel soll die Hypothese formuliert werden, die im metrisch-dynamischen Modell die Begründung für die Tatsache ist, dass in der Natur bei vielen Observablen nur diskrete Folgen von Werten möglich sind, die sich als Vielfache einer elementaren Einheit ausdrücken lassen.

Im metrisch-dynamischen Szenario, das in 4.2 folgt, wird der Zusammenhang zwischen Planck-Länge, geometrischer Masse und den beiden mit dieser Masse verknüpften Größen Frequenz und Compton-Wellenlänge erklärt. Das bedeutet: Die Planck-Länge kann auf metrisch-dynamische Weise aus Compton-Wellenlänge und geometrischer Masse abgeleitet werden.

### 4.1. Die metrisch-dynamische Quantisierungshypothese

Es ist schon bekannt, dass in den metrischen Flüssen longitudinale Wellen existieren. (Siehe die Wellengleichungen (3) und (5)). In bezug auf diese Wellen treffen wir nun eine zusätzliche Annahme.

*In den metrischen Flüssen, deren stationäre, kugelsymmetrische Zustände sich als Gravitation einer zentralen Masse herausgestellt haben, gibt es stehende Wellen. Ihre Wellenlänge  $\lambda$  ist gleich der Planck-Länge. Sie bilden die Basis der materiellen Strukturen.*<sup>77</sup>

Also  $\lambda := \text{Planck-Länge} := \lambda_{\text{pl}}$

wobei  $\lambda_{\text{pl}} = \sqrt{\frac{hG}{c^3}} = 4.051 \dots 10^{-35}$  (Meter).

Was in der Standardphysik ein Quantum der Wirkung ist, ist hier ein Quantum der Länge.

Um zu demonstrieren, wie sich diese metrische Quantisierung auswirkt, will ich gleich die erste Anwendung anschließen. Sie überbrückt mehr als 40 Größenordnungen und liefert eine metrisch-dynamische Begründung bekannter Zusammenhänge zwischen fundamentalen Größen.

---

<sup>77</sup> Wäre das Universum eine geschlossene metrische Struktur, dann wäre die Vorstellung stehender Wellen eigentlich das Erste und Einfachste, was man als Folge von Selbstorganisation erwarten würde. (Die außerordentlich geringe Wellenlänge wäre allerdings überraschend.) Zum Problem, das auftritt, wenn das Universum als offene Struktur gesehen wird, werde ich mich im Kapitel "Kosmologie" äußern.

## 4.2. Phasenwellen im radialen Fluss; Zusammenhang von Masse und Frequenz

Betrachten wir den Fall eines kugelsymmetrischen, stationären Flusses  $v$  in ein Gravitationszentrum  $Z$ . Von einem relativ zu  $Z$  ruhenden Beobachter aus gesehen, sind die im Fluss befindlichen stehenden Planck-Wellen *keine* stehenden Wellen. Für ihn ist der Fluss ein bewegtes System. Die Lorentz-Transformation hebt die Phasenübereinstimmung in der stehenden Welle auf.

$$\text{Aus } f(r,t) = \sin(2\pi t \nu_{\text{Pl}}) \cos(2\pi r \frac{1}{\lambda_{\text{Pl}}}) \quad (\nu_{\text{Pl}} \lambda_{\text{Pl}} = c) \quad (35)$$

– was eine stehende Welle *im Flusssystem* darstellt –, wird für den ruhenden Beobachter

$$f'(r,t) = \sin 2\pi (t \nu_{\text{Pl}} \frac{1}{k} - r \nu_{\text{Pl}} \frac{v}{c^2} \frac{1}{k}) \cos 2\pi (t \nu_{\text{Pl}} \frac{1}{\lambda_{\text{Pl}} k} - r \frac{1}{\lambda_{\text{Pl}} k}) \quad (k = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}) \quad (36)$$

Die stehende Welle im Fluss hat sich für den ruhenden Beobachter in eine Wellenüberlagerung, bestehend aus

$$\Psi_1(\lambda_1, \nu_1) \text{ und } \Psi_2(\lambda_2, \nu_2)$$

transformiert, wobei

$$\lambda_1 = \lambda_{\text{Pl}} \frac{c}{v} k \quad \nu_1 = \nu_{\text{Pl}} \frac{1}{k} \quad (37)$$

$$\lambda_2 = \lambda_{\text{Pl}} k \quad \nu_2 = \nu_{\text{Pl}} \frac{v}{c} \frac{1}{k} \quad (37')$$

Wir bestimmen nun jenen Abstand  $r_1$  von  $Z$ , der genau einer Wellenlänge  $\lambda_1$  der Phasenwelle  $\Psi_1$  entspricht, die durch die Transformation entstanden ist.

Zusätzlich zur speziell-relativistischen Phasenverschiebung, die durch (36) beschrieben wird, muss berücksichtigt werden, dass das Längendifferenzial im Fluss um den Faktor  $1/k = (1 - (v/c)^2)^{-1/2}$  größer ist als das des relativ zu  $Z$  ruhenden Systems. Die Wellenlängen im Fluss sind also um den Faktor  $1/k$  vergrößert.

Wir setzen daher

$$r_1 = (\lambda_{pl} \frac{c}{v} k) \frac{1}{k}$$

(Zur r-Abhängigkeit von v,  $\lambda_1$  und k siehe die Bemerkung weiter unten.)

$$r_1 = \lambda_{pl} \frac{c}{v} \quad (38)$$

Wie groß ist der Fluss  $v(r)$ ? Die Bedingungen entsprechen hier denen des *hybriden Systems*, das in 2.6. beschrieben wurde. Deshalb ist die Flussgröße aus (21) im Abschnitt 2.6. zu wählen

$$\frac{v}{c} = -\sqrt{\frac{m}{r}} \quad (m \text{ ist die geometrische Masse})$$

Mit  $\frac{c}{v} = \sqrt{\frac{r_1}{m}}$  (hier ist nur der Betrag von v von Bedeutung) wird aus (38)

$$r_1 = \lambda_{pl} \sqrt{\frac{r_1}{m}}$$

Somit ist

$$r_1 = \frac{\lambda_{pl}^2}{m} \quad \text{bzw.} \quad r_1 m = \lambda_{pl}^2 \quad (39)$$

Bemerkung: Müsste bei der Bestimmung von  $r_1$  als dem einer Phasenwellenlänge entsprechenden Abstand in (38) nicht berücksichtigt werden, dass der Fluss v, von dem die Wellenlänge abhängt, innerhalb von  $r_1$  *nicht* konstant ist?

Dass dies nicht notwendig ist, lässt sich auf folgende Weise einsehen: Um *alle* Entfernungen bestimmen, wo die Phasenverschiebung  $2\pi$  beträgt, muss statt (38) allgemeiner gesetzt werden

$$r_n = n \lambda_{\text{pl}} \frac{c}{v} = n \lambda_{\text{pl}} \sqrt{\frac{r_n}{m}}$$

und das hat zur Folge

$$r_n = n^2 \frac{\lambda_{\text{pl}}^2}{m}$$

Man stelle sich nun vor  $r \rightarrow r' = \sqrt{r}$ .

Dann werden die Wellenlängen aller Phasenwellen gleich  $\sqrt{r_1'}$ : die erste Wellenlänge endet bei  $\sqrt{r_1'}$ , die zweite bei  $2\sqrt{r_1'}$  usw. So ist zu erkennen, dass es nur *eine einzige Phasenwelle* gibt. Nach Rücktransformation  $r' \rightarrow r$  wächst die Wellenlänge der Phasenwelle mit  $r$ , so dass die erste Wellenlänge bei  $r_1$  endet, die zweite bei  $4r_1$  und die  $n$ -te bei  $n^2 r_1$ .

---

Betrachten wir nun nochmals die Bedingung (39):

$r_1$ , der Abstand von  $Z$ , ist genau dann gleich  $\lambda_1$ , der Wellenlänge der Phasenwelle, die im relativ zu  $Z$  ruhenden System (infolge der Lorentz-Transformation der im Fluss befindlichen stehenden Welle) auftritt, wenn

$$r_1 = \frac{\lambda_{\text{pl}}^2}{m}$$

Das besagt aber nichts anderes als:  $r_1$  ist gleich der *Compton-Wellenlänge*  $\lambda_{\text{C}}$ , denn es gilt

$$\lambda_{\text{C}} = \frac{\lambda_{\text{pl}}^2}{m}$$

(Z. B. für ein Elektron:

$$m_e = 6.763 \cdot 10^{-58} \text{ (Meter)}, \quad \lambda_{\text{pl}} = 4.051 \cdot 10^{-35}$$

$$\frac{\lambda_{\text{Pl}}^2}{m_e} = 2.426 \cdot 10^{-12} = \lambda_{\text{Ce}} \quad )$$

An der Stelle  $r_1$  findet sich außerdem – neben der fast unveränderten Planck-Frequenz

$$\nu_1 = \nu_{\text{Pl}} \frac{1}{k}$$

eine zweite, viel kleinere Frequenz (siehe (37'))

$$\nu_2 = \nu_{\text{Pl}} \frac{v}{c} \frac{1}{k} = \nu_{\text{Pl}} \sqrt{\frac{m}{r_1}} \frac{1}{k} \quad (40)$$

die wegen  $\nu_2 \lambda_1 = \nu_2 \lambda_C = c$  der Frequenz  $\nu_m$  eines Teilchens mit der geometrischen Masse  $m$  entspricht.

Der Fluss, der die Phasenwelle erzeugt, ist kugelsymmetrisch. Das bedeutet:

*Auf einer Kugelfläche mit dem Radius  $\lambda_C$  existiert eine gleichphasige Schwingung mit der Frequenz des Teilchens.*

Das ist natürlich noch kein Modell eines Teilchens. Andererseits ist es aber auch mehr als ein bloß mathematischer Zusammenhang zwischen Teilchenmasse und Teilchenfrequenz, weil darin ein strukturelles Element enthalten ist: eben die Vorstellung der gleichphasigen Schwingung auf einer Kugelfläche. (Genau diese Vorstellung wird im nächsten Kapitel benötigt.)

Die soeben abgeleitete Beziehung zwischen der Frequenz  $\nu_m$ , der Wellenlänge  $\lambda_m$  (mit  $\nu_m \lambda_m = c$ ) und der Masse  $m$  gilt aber nicht nur im Fall eines Teilchens, sondern ganz allgemein.

Also kann behauptet werden: Die Gleichungen (41) und (41')

$\lambda_m m = \lambda_{\text{Pl}}^2 \quad (41)$
--

( und, wegen  $\lambda_m v_m = c$  )

$$m c = \lambda_{p1}^2 v_m \quad (41')$$

sind das metrisch-dynamische Äquivalent zu  $M c^2 = h \nu$  bzw.  $E = h \nu$  und  $E = M c^2$ .

(Im Abschnitt 6.2 wird Gleichung (41') genau diese Gestalt annehmen, also  $M c^2 = h \nu$ .)

Setzt man alternativ  $\tilde{\lambda}_{p1} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 1.616... \cdot 10^{-35}$  (Meter), dann gilt (mit  $\tilde{\lambda}_m = \lambda_m / 2\pi$ )

$$\tilde{\lambda}_m m = \tilde{\lambda}_{p1}^2 \quad (41'')$$

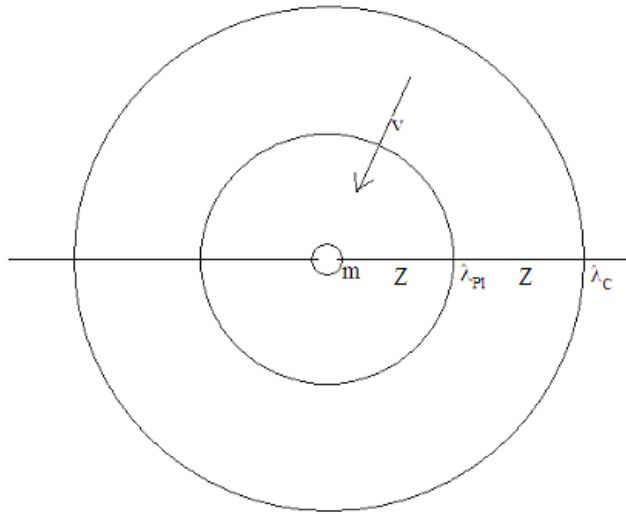
### Bemerkung

In (41) ist zu sehen, dass  $\lambda_{p1}$  das geometrische Mittel von  $m$  und  $\lambda_C$  ist.

Das bedeutet: Es gibt einen einfachen Hinweis darauf, dass ein Zusammenhang zwischen 3 Größen in einem metrischen Fluss, dessen Geschwindigkeit umgekehrt proportional zu  $r^{1/2}$  ist, möglicherweise durch eine Phasenwelle vermittelt ist: Wenn alle 3 Größen durch Längen ausgedrückt werden, dann muss eine Länge einen metrischen Defekt darstellen, und eine andere Länge muss das geometrische Mittel der beiden anderen sein. (Beim Atomaufbau wird ein weiterer Fall dieser Art auftreten.)

---

Logarithmisch skaliert lassen sich die Größen  $m$ ,  $\lambda_{p1}$  und  $\lambda_C$ , deren Zusammenhang durch den radialen Fluss  $v$  vermittelt ist, folgendermaßen darstellen:



(S14)

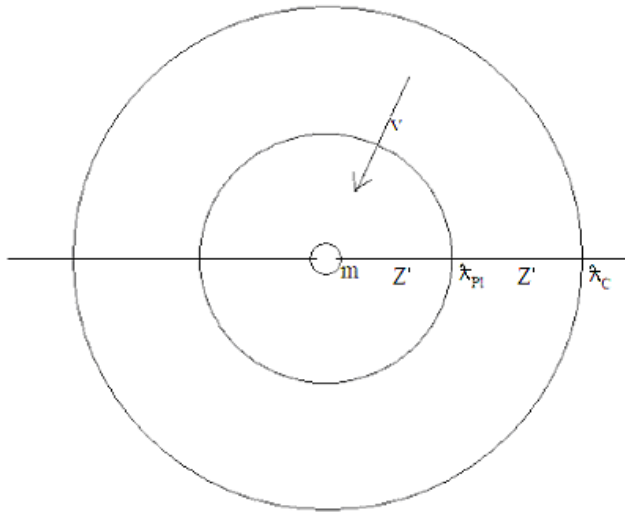
$Z$  ist ein zur Gravitation gehörender multiplikativer Faktor, zu vergleichen mit der Feinstrukturkonstante  $1/\alpha$  beim Elektromagnetismus. (Mehr darüber ab 5.7.)

Es gilt:  $m Z = \lambda_{PI}$  und  $\lambda_{PI} Z = \lambda_C$  (42)

Für das Elektron ist  $Z_E = 5.990 \cdot 10^{22}$

Für das Proton ist  $Z_p = 3.262 \cdot 10^{19}$

In (S14) können  $\lambda_{PI}$  und  $\lambda_C$  durch  $\tilde{\lambda}_{PI}$  und  $\tilde{\lambda}_C$  ersetzt werden. Dann entspricht der skizzierte Sachverhalt nicht mehr (41), sondern (41''):



(S14')

Hier ist  $m Z' = \lambda_{pl}$  und  $\lambda_{pl} Z' = \lambda_c$  (42')

Für das Elektron ist  $Z'_E = 2.390 \cdot 10^{22}$

Für das Proton ist  $Z'_p = 1.3014 \cdot 10^{19}$

Das eben entworfene Modell stellt eine *Phasenwellenstruktur* dar, durch die nicht nur im Fall eines Teilchens, sondern ganz allgemein die Beziehung zwischen den Größen *Planck-Länge, Masse und Frequenz* auf geometrische – oder sagen wir besser: auf metrisch-dynamische Weise begründet wird.



## 5. Elektromagnetismus; Atommodell

### 5.1. Vorbemerkung

Gravitation – in der Gestalt der Allgemeinen Relativitätstheorie – und elektromagnetische Wechselwirkung – in der Gestalt der Quantenelektrodynamik – unterscheiden sich voneinander in mehrfacher Hinsicht. Hier eine Tabelle mit einigen Fakten:

G ist die gekrümmte Raumzeit	EM findet <i>in</i> der flachen Raumzeit statt
G ist immer positiv	EM ist positiv und negativ
G ist eine Scheinkraft; alle Körper bewegen sich auf Geodäten	Die Wechselwirkung erfolgt durch Austausch von Teilchen
Der Frequenzunterschied zweier identischer Teilchen mit verschiedenen Abständen von einer Masse kann auf <i>zwei</i> Arten erklärt werden: Durch das unterschiedliche Vergehen der Zeit und durch die Energiedifferenz	Der Frequenzunterschied zweier Elektronen mit verschiedenen Abständen vom positiv geladenen Atomkern kann nur auf <i>eine</i> Art erklärt werden: durch die Energiedifferenz
G kann nicht isoliert werden	EM kann isoliert werden, aber im feldfreien Raum gibt es nachweisbare Auswirkungen auf die Phasen von Elektronen
G wirkt universell	EM wirkt nur auf geladene Objekte

Auch wenn formale Ähnlichkeiten bestehen, erscheinen die aufgelisteten Verschiedenheiten doch so groß, dass bezweifelt werden muss, ob die Phänomenbereiche, die durch die beiden Theorien beschrieben werden, in einer einheitlichen Darstellung zusammengefasst werden können – zumindest in der Form, wie sich die Theorien gegenwärtig präsentieren. Sie erscheinen wie zwei Gebäude, von denen zwar jedes für sich einer überzeugenden inneren Logik folgt, die aber völlig verschiedenen funktionellen und ästhetischen Prinzipien gehorchen. Unwillkürlich wird man an Wolfgang Paulis Satz erinnert: "Was Gott getrennt hat, soll der Mensch nicht zusammenfügen."

Ich glaube allerdings nicht, dass die Unvereinbarkeit der beiden Wechselwirkungen von Gott oder der Natur verhängt worden ist. Vielmehr denke ich, dass sie ein Artefakt unseres Zugangs zur Natur ist, das sich bei geeigneter Vorgangsweise in Nichts auflöst. Tatsächlich ergeben sich alle charakteristischen Merkmale beider Wechselwirkungen gewissermaßen "von selbst", wenn einfach das Programm fortgesetzt wird, das mit der metrisch-dynamischen Darstellung der Gravitation begonnen wurde.

Gravitation erwies sich als beschleunigter metrischer Fluss auf Grund longitudinaler metrischer Dichteänderungen. Im kugelsymmetrischen Fall ist Gravitation ein stationärer Zustand des longitudinalen metrischen Flusses, erzeugt durch eine Änderung des differentiellen radialen Maßes  $dr$ . Damit ist die Interpretation der longitudinalen Parameter metrische Dichte und metrischer Fluss abgeschlossen – in dem Sinn, dass sie an Gravitation gebunden sind und über sie nicht anderweitig verfügt werden kann. Außer den Parametern metrische Längendichte und longitudinaler Fluss gibt es im metrisch-dynamischen Universum aber nur noch die dazu analogen Parameter metrische Winkeldichte und transversaler Fluss.

Also ergibt sich zwangsläufig die Vermutung, dass Elektromagnetismus im kugelsymmetrischen Fall ein stationärer Zustand des *transversalen* Flusses ist, der durch eine Änderung des differentiellen Winkelmaßes  $d\varphi$  erzeugt wird. Diese einfache Vermutung wird uns nun – ganz ohne Quantentheorie – tief in das Reich der quantentheoretischen Phänomene führen.

## ***5.2. Definition***

(Alles Folgende bezieht sich auf den kugelsymmetrischen Fall einer zentralen geometrischen Masse  $m$  bzw. einer zentralen geometrischen Ladung  $\mu$ . ( $m \in \mathbb{R}$ ,  $\mu \in \mathbb{R}$ . Sowohl  $m$  als auch  $\mu$  haben die Dimension *Länge*.) Es werden drei Raumdimensionen vorausgesetzt.  $r$  und  $\varphi$  sind Polarkoordinaten in einer beliebigen Ebene durch den Mittelpunkt  $O$ .  $\sigma$  ist die metrische Dichte der Länge,  $\eta$  ist die metrische Dichte des Winkels.  $c$  ist 1 gesetzt.)

Gravitation ist *Änderung der metrischen Dichte der Länge*. Im Fall einer zentralen geometrischen Masse  $m > 0$  nimmt die metrische Längendichte  $\sigma(r)$  zu  $O$  hin ab. Der Abstand von  $O$  ist für jeden Punkt um  $m$  Einheiten kleiner als im unverzerrten Kontinuum. ( $2m$  aus relativistischer Sicht.)

Elektromagnetismus ist *Änderung der metrischen Dichte des Winkels*. Im Fall einer zentralen geometrischen Ladung  $\mu > 0$  nimmt die metrische Winkeldichte  $\eta(r)$  zu  $O$  hin ab. Der Umfang jedes Kreises mit Mittelpunkt  $O$  ist um  $2\pi\mu$  Einheiten kleiner als im unverzerrten Kontinuum. (Ein ganzer Kreis hat hier also *weniger* als  $360^\circ$ . Der Kreis mit Radius  $\mu$  hat  $0^\circ$ , d.h. sein Umfang verschwindet.)

Um die nahezu vollständige Analogie zu verdeutlichen, die zwischen Gravitation und Elektromagnetismus besteht (in Bezug auf die Parameter metrische Längendichte  $\sigma$ , longitudinaler metrischer Fluss  $v$  und radiales Differenzial  $dr$  auf der einen Seite, metrische Winkeldichte  $\eta$ , transversaler metrischer Fluss  $w$  und Winkeldifferenzial  $d\varphi$  auf der anderen Seite), werde ich die Definition von EM und die daraus folgenden elementaren Fakten den jeweils analogen Gegebenheiten von G gegenüberstellen.

### Gravitation

$$\boxed{\sigma = \frac{r - m}{r}} \quad (7)$$

$m$  ist die *geometrische Masse*

$m > 0 \Leftrightarrow$  Materie

$m < 0 \Leftrightarrow$  Antimaterie

$$\boxed{\sigma = \frac{dr}{dr'}}$$

$$\boxed{dr' = \left(1 - \frac{m}{r}\right)^{-1} dr} \quad (13)$$

### Elektromagnetismus

$$\boxed{\eta = \frac{r - \mu}{r}} \quad (43)$$

$\mu$  ist die *geometrische Ladung*

$\mu > 0 \Leftrightarrow$  positive Ladung<sup>78</sup>

$\mu < 0 \Leftrightarrow$  negative Ladung

$$\boxed{\eta = \frac{d\varphi}{d\varphi'}}$$

Aus (43) und (44) folgt

$$\boxed{r d\varphi' = \left(1 - \frac{\mu}{r}\right)^{-1} r d\varphi} \quad (45)$$

Die Bogenlängen  $r\varphi'$  und  $r\varphi$  verhalten sich umgekehrt wie die Bogendifferenziale  $r d\varphi'$  und  $r d\varphi$ :

---

<sup>78</sup> Die Zuordnung von  $\mu > 0$  zu *positiver* Ladung ist vorerst willkürlich. Weiter unten wird sich herausstellen, dass diese Zuordnung für die Übereinstimmung mit quantenmechanischen Vorgaben erforderlich ist.

$$\frac{r'}{r} = 1 - \frac{m}{r} \quad (15)$$

Das bedeutet: Jeder radiale Abstand wird um  $m$  Einheiten kleiner bzw. größer:

$$PO = r \quad \Leftrightarrow \quad (PO)' = r - m$$

( $S'$  ist ein nicht-relativistisches System; es gibt also beim Übergang auf ein relativ zu  $O$  bewegtes System keine Maßstabsänderungen.)

Das Bogendifferenzial  $r d\phi$  und das Zeitdifferenzial  $dt$  bleiben unverändert:

$$r d\phi' = r d\phi, \quad dt' = dt$$

$$\frac{r \phi'}{r \phi} = 1 - \frac{\mu}{r} \quad (46)$$

Aus (46) folgt: Der Umfang  $2\pi r$  eines Kreises mit Mittelpunkt  $O$  wird um  $2\pi\mu$  kürzer bzw. länger:

$$U = 2\pi r \quad \Leftrightarrow \quad U' = 2\pi(r - \mu)$$

( $S'$  ist ein nicht-relativistisches System; es gibt also beim Übergang auf ein um  $O$  rotierendes System keine Maßstabsänderungen.)

Das radiale Differenzial  $dr$  und das Zeitdifferenzial  $dt$  bleiben unverändert:

$$dr' = dr, \quad dt' = dt$$

### 5.3. Der um den Mittelpunkt rotierende Fluss

Im Folgenden werden die Bezugssysteme  $S$ ,  $S'$  und  $S_F$  verwendet.

$S$  ist das euklidische (ladungsfreie) Bezugssystem.  $S'$  ist (wie  $S_N$  bei der Gravitation) das relativ zu  $O$  ruhende System, dessen Metrik durch die Ladung verändert ist.  $S'$  ist nicht-relativistisch, die Lichtgeschwindigkeit ist in Bezug auf  $S'$  nicht konstant. (Das ist hier wiederum der *exakte Blick von außen*; vgl. Abschnitt 2.2.)  $S_F$  ist (wie bei der Gravitation) ein mit dem Fluss mitbewegtes lokales System. ( $S_F$  hat die gleichen differentiellen Maßgrößen wie  $S'$ . Wie das *im Fluss* bisher immer der Fall war, ist die lokale Lichtgeschwindigkeit in Bezug auf  $S_F$  konstant. Deshalb kann von  $S_F$  in ein relativistisches Bezugssystem *lokal* transformiert werden.) Da Aussagen über irgendein System  $S_F$  stets für alle  $S_F$  gelten, werde ich der Einfachheit halber auch das "rotierende System" – d.h. das Gesamtsystem, das alle lokalen, mit dem Fluss um  $O$  rotierenden Bezugssysteme umfasst – mit  $S_F$  bezeichnen.

Gleichung (34')

$$dr_F = dr (1 - v^2)^{-1}$$

zeigt den allgemeinen Zusammenhang zwischen der Flussgeschwindigkeit  $v$  und dem Längendifferenzial  $d r_F$  im Fluss. Dieser Zusammenhang muss also auch zwischen der transversalen Flussgeschwindigkeit  $w$  und dem Längendifferenzial im transversalen Fluss bestehen.

Im kugelsymmetrischen Fall rotiert der transversale Fluss um das Zentrum (siehe die folgende Skizze (S15) ), und das Längendifferenzial im transversalen Fluss wird zum Bogendifferenzial  $r d\varphi_F$ . Gemäß (34') gilt dann

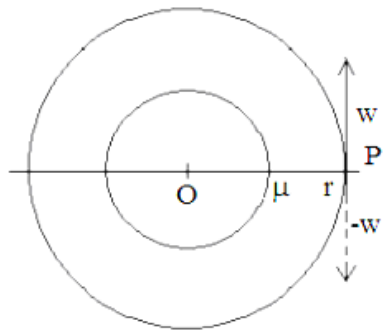
$$r d\varphi_F = r d\varphi (1 - w^2)^{-1} \quad (47)$$

Dann ist  $1 - w^2 = \frac{r d\varphi}{r d\varphi_F} = \eta = 1 - \frac{\mu}{r}$

und daher<sup>79</sup>  $w = \pm \sqrt{\frac{\mu}{r}}$  (48)

Bei positiver Ladung  $\mu > 0$  ist  $w$  reell, bei negativer Ladung  $\mu < 0$  ist  $w$  imaginär.

Hier eine Skizze zur Illustration des transversalen Flusses. Bei Kugelsymmetrie ergibt sich ein Fluss, der um  $O$  rotiert. Dargestellt ist eine beliebige Ebene durch  $O$ .  $P$  ist ein Punkt im Abstand  $r$  von  $O$ .



(S15)

<sup>79</sup> Auch hier gelten wieder, wie im vorigen Kapitel, die Bedingungen des hybriden Systems, da die übliche Beschreibung des Elektromagnetismus in der flachen Raumzeit erfolgt. Der Faktor 2 entfällt also. (Siehe 2.6.)

Da (S15) für *jede* Ebene durch O gilt, muss dem Punkt P eine Geschwindigkeit  $w(r)$  oder  $-w(r)$  in *jeder Richtung* auf der durch P definierten Tangentialebene an die Kugel mit Mittelpunkt O zugeordnet werden. Ich werde auf diesen eigenartigen Sachverhalt, der bereits quantenmechanische Züge aufweist, ein wenig später ausführlich eingehen.

Das bisher Gesagte lässt sich wie folgt zusammenfassen:

Das *Gravitationsfeld* einer zentralen geometrischen Masse  $m$  ist als jener stationäre, kugelsymmetrische Zustand definiert, der dadurch entsteht, dass für  $m > 0$  (im Fall von Materie) *jeder Abstand vom Mittelpunkt O* um  $m$  Einheiten *kleiner* – bzw. für  $m < 0$  (Antimaterie) um  $m$  Einheiten *größer* – ist als im glatten Kontinuum. Diese metrische Veränderung bewirkt einen *radialen Fluss*  $v(r)$  in Richtung Zentrum, der reell oder imaginär ist. (Die Umfänge von Kreisen um O bleiben unverändert.)

Das *elektromagnetische Feld* einer zentralen geometrischen Ladung  $\mu$  ist als jener stationäre, kugelsymmetrische Zustand definiert, der dadurch entsteht, dass für  $\mu > 0$  (im Fall von positiver Ladung) *der Umfang jedes Kreises mit Mittelpunkt O* um  $2\pi\mu$  Einheiten *kleiner* – bzw. für  $\mu < 0$  (bei negativer Ladung) um  $2\pi\mu$  Einheiten *größer* – ist als im unverzerrten Kontinuum. Diese metrische Veränderung bewirkt einen *kreisförmig um den Mittelpunkt O rotierenden Fluss*  $w(r)$ , der reell oder imaginär ist. (Radiale Distanzen bleiben unverändert.)

#### **5.4. Positive und negative Ladung**

Im metrisch-dynamischen Bild werden positive und negative Ladung in dasselbe Verhältnis zueinander gesetzt wie Materie und Antimaterie: Die metrischen Deformationen sind jeweils einander entgegengesetzt. So wird unmittelbar einsichtig, warum die Auswirkungen gleich großer positiver und negativer Ladung sich aufheben.

Bei Materie und Antimaterie betreffen die metrischen Änderungen nur die radialen Abstände  $r$ , bei positiver und negativer Ladung nur die Bogenlängen  $r\phi$ .

Das Folgende gilt für  $S'$  und daher auch für  $S_P$ , das dieselben differenziellen Maßgrößen hat wie  $S'$ :

Wenn positive Ladung nach (45) durch  $r d\phi_F = \left(1 - \frac{\mu}{r}\right)^{-1} r d\phi$  ( $\mu > 0$ )

definiert ist – mit der Folge, dass für den Umfang  $U_F$  eines Kreises um den Mittelpunkt  $O$  im durch die Ladung  $\mu$  veränderten Kontinuum gilt:

$$U_F(r) = 2\pi(r - \mu)$$

– dann ist die gleich große negative Ladung dadurch definiert, dass

$$r \, d\varphi_F = \left(1 + \frac{\mu}{r}\right)^{-1} r \, d\varphi$$

woraus folgt, dass  $U_F(r) = 2\pi(r + \mu)$

So wie bei Materie und Antimaterie heben sich auch bei gleich großer positiver und negativer Ladung die Quadrate der metrischen Flüsse überall auf:

Positive Ladung:  $w_{\text{pos}} = \pm \sqrt{\frac{\mu}{r}}$

Negative Ladung:  $w_{\text{neg}} = \pm i \sqrt{\frac{\mu}{r}}$

Und somit:  $w_{\text{pos}}^2 + w_{\text{neg}}^2 = 0$

### ***5.5. Der Übergang auf ein Beobachtersystem***

Genauso, wie es bei der Gravitation der Fall war, kann ein mit dem Fluss mitfließendes lokales System  $S_F$  als Basis für den Übergang auf ein (relativistisches) Beobachtersystem  $S_R$  dienen.

Gemäß (47) und (48) ist ein lokales, mit dem rotierenden Fluss mitfließendes System  $S_F$  charakterisiert durch

$$S_F: ( dt_F = dt, \, dr_F = dr, \, d\varphi_F = \left(1 - \frac{\mu}{r}\right)^{-1} d\varphi ) \tag{49}$$

Es ist ausschließlich das Bogendifferenzial verändert. (Das Bogendifferenzial  $r d\varphi_F$  ist zugleich das Längendifferenzial des lokalen Flusssystems  $S_F$ .) Die radialen Abstände bleiben gleich. Die Zeit bleibt im Fluss immer dieselbe, und sie entspricht der Zeit außerhalb des Feldes.

Nun kann von  $S_F$  (d.h. von der Umgebung eines beliebigen mitfließenden Punktes P mit  $PO > \mu$ ) auf ein lokales, relativ zu O ruhendes (nicht rotierendes) Beobachtersystem  $S_R$  transformiert werden,<sup>80</sup> und zwar mit dem Faktor der Lorentz-Transformation

$$k = \sqrt{1 - w^2} = \sqrt{1 - \frac{\mu}{r}} \quad (50)$$

$S_R$  bewegt sich mit der Geschwindigkeit  $-w$  relativ zu  $S_F$ . Das Längendifferenzial von  $S_F$  wird also mit  $k$  multipliziert, das Zeitdifferenzial durch  $k$  dividiert.

Es ergibt sich für das (tangente) Längendifferenzial  $r d\varphi_R$  von  $S_R$

$$\begin{aligned} r d\varphi_R &= r d\varphi_F k = r d\varphi \left(1 - \frac{\mu}{r}\right)^{-1} \left(1 - \frac{\mu}{r}\right)^{\frac{1}{2}} = r d\varphi \left(1 - \frac{\mu}{r}\right)^{-\frac{1}{2}} \\ r d\varphi_R &= r d\varphi \left(1 - \frac{\mu}{r}\right)^{-\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (51)$$

und für das Zeitdifferenzial  $dt_R$

$$dt_R = dt \left(1 - \frac{\mu}{r}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{zu beachten: } dt_F = dt) \quad (52)$$

Das radiale Differenzial  $dr$  bleibt unverändert.

---

<sup>80</sup> Der Zwischenschritt auf ein *relativistisches* Flusssystem, der bei der Gravitation erforderlich war, entfällt hier, weil der Faktor 2, der durch diesen Schritt begründet wird, unter den Bedingungen des hybriden Systems gar nicht aufscheint. (Siehe 2.6.)



Aus (51) folgt, dass in Bezug auf einen relativ zu O ruhenden Beobachter für den Umfang  $U_R$  eines Kreises mit Mittelpunkt O gilt:

$$U_R = U \left(1 - \frac{\mu}{r}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (53)$$

Aus (52) folgt, dass der transversale (hier rotierende) metrische Fluss  $w(r)$  beim Elektromagnetismus das Vergehen der Zeit in gleicher Weise ändert wie der radiale metrische Fluss  $v(r)$  bei der Gravitation: Für einen relativ zu O im Abstand  $r$  ruhenden Beobachter vergeht die Zeit bei positiver Ladung um den Faktor  $k$  in (50) langsamer, bei negativer Ladung schneller als ohne Ladung. Im Fall von negativer Ladung ist in (50) und (52)  $\mu < 0$  und das Zeitvergehen ist beschleunigt. Bei gleich großer positiver und negativer Ladung heben sich die Quadrate der metrischen Flüsse, die die Zeitunterschiede verursachen, überall auf, und die Zeit gleicht wieder der Zeit außerhalb des Feldes.

### ***5.6. Der fundamentale Unterschied zwischen Gravitation und Elektromagnetismus***

Bei allen bisher definierten und abgeleiteten Gesetzmäßigkeiten standen Gravitation und Elektromagnetismus in strenger Analogie zueinander. Nun werden wir uns mit einem wichtigen Unterschied der beiden Wechselwirkungen beschäftigen, und zwar mit genau jenem Unterschied, der die Ursache dafür ist, dass sie in der üblichen Sicht nahezu unvereinbar erscheinen. Folgendermaßen:

Bei der Gravitation bewirkt die radiale metrische Veränderung des Kontinuums einen radialen metrischen Fluss, der zum Mittelpunkt hin *beschleunigt* ist. Diese Beschleunigung selbst entspricht bereits der Newtonschen Näherung. Das vollständige Bild der Gravitation enthält zusätzlich noch die Vorstellung von Wellen im beschleunigten Fluss.

Gravitation wirkt also *durch den beschleunigten Fluss*. In diesem Sinn kann behauptet werden, dass der beschleunigte Fluss die Wechselwirkung *ist*.

Beim Elektromagnetismus hat die transversale metrische Veränderung des Kontinuums einen um den Mittelpunkt rotierenden metrischen Fluss zur Folge. Dieser Fluss nimmt zwar mit abnehmendem Abstand zum Mittelpunkt zu, er ist aber für jeden festgelegten Abstand *konstant*. Hier gibt es also *keine Beschleunigung* als Folge der metrischen Veränderung.

Deshalb kann der Elektromagnetismus *nicht direkt durch den Fluss* wirken.

Wie wirkt er also? – Tatsächlich verbleibt als einzige Möglichkeit, dass seine Wirkung durch *Wellen* vermittelt wird, die im Zusammenhang mit dem zugehörigen metrisch-dynamischen Feld auftreten, d.h. durch elektromagnetische Wellen. Dies entspricht offenbar der üblichen Vorstellung der Wechselwirkung. (Allerdings ändert sich die Interpretation entsprechend den Annahmen der lokalen, objektiven Interpretation der Quantentheorie im ersten Teil. Dort wurden der Lichtelektrische Effekt und der Compton-Effekt durch das einfachste Modell einer solchen Wechselwirkung beschrieben. Der wichtigste Punkt war: Photonen sind keine Teilchen. Für die elektromagnetische Wechselwirkung bedeutet das, dass die "virtuellen" Photonen keine Entsprechung in der Wirklichkeit haben)

Damit ist zugleich aufgeklärt, warum die elektromagnetische Wechselwirkung abgeschirmt werden kann, während dies bei Gravitation nicht möglich ist: Der Weg der Wellen, durch die die elektromagnetische Wechselwirkung vermittelt wird, kann unterbrochen werden.

Anders der metrische Fluss: er kommt *vor* allem Existierendem, so dass er durch alles hindurchfließt. Er kann daher nicht isoliert werden. Deshalb gibt es auch im Fall völliger elektromagnetischer Abschirmung eine beobachtbare Phasenverschiebung von Elektronen-Wellen im Außenraum: das ist genau der Effekt, der wegen des rotierenden metrischen Flusses des elektromagnetischen Feldes zu erwarten ist. Und deshalb kann Gravitation nicht isoliert werden, denn das Gravitationsfeld *ist* der longitudinale metrische Fluss.

Auf diese Weise zeigt sich aus metrisch-dynamischer Sicht der verschiedene Wirkungsmechanismus der beiden Wechselwirkungen als Folge ihrer Definition. Trotz ihres gemeinsamen Ursprungs im fundamentalen Gesetz (1) und ihrer vollständigen Analogie äußert sich die eine direkt als Beschleunigung, während die andere durch Wellen vermittelt wird.

Bemerkung: Bei der Definition (43) des stationären Zustands "Ladung" durch  $\eta = \frac{r - \mu}{r}$  ist die metrische Winkeldichte  $\eta$  von  $r$  abhängig. Nach Gleichung (2)  $\frac{d\eta}{dr} = -\frac{dw}{dt}$  müsste es also eine zeitliche Änderung der Flussgeschwindigkeit  $w$  geben. Warum tritt sie in unserem Szenario nicht auf?

In der Skizze (S4) aus Abschnitt 1.4. ist zu erkennen, dass die Winkeländerung zu beiden Seiten von  $r$  verschieden ist – nur dann ergibt sich eine Beschleunigung normal zu  $r$ . Bei der metrischen Änderung, die durch eine zentrale Ladung verursacht wird, ist das aber nicht der Fall (siehe (S15) und den daran anschließenden Kommentar). Die Winkeländerungen sind für *alle* Ebenen durch  $O$  identisch, und der Fluss ist daher in alle Tangentialrichtungen gleich groß.

## 5.7. Der Zweck der anschließenden Ausführungen

Ich unterbreche kurz den Gedankengang, um daran zu erinnern, was eigentlich der Zweck der ganzen Unternehmung ist.

Weder geht es darum, eine Theorie zu entwerfen, die in Konkurrenz zur Quantentheorie steht, noch darum, die Quantentheorie nochmals abzuleiten. Wie schon bei den Ausführungen zur Quantentheorie im ersten Teil der Arbeit ist auch hier beabsichtigt, die Erfahrungen, die zur Theorie Anlass gaben, von einem anderen Standpunkt aus zu rekonstruieren, um sie auf Basis dieser Rekonstruktion anders zu interpretieren und dadurch zu *verstehen*. Auf Grund der Einfachheit der verwendeten Mittel entsprechen die Ergebnisse der folgenden Abschnitte denen der "alten" Quantentheorie, zu der vor allem Bohr, de Broglie und Sommerfeld beitrugen. Aber das ist für das angestrebte Ziel kein Nachteil; im Gegenteil – gerade dadurch kehren wir wieder an den Ort des historischen Geschehens zurück, genau dorthin also, wo die den Erfahrungen an Gegenständen entstammende Physik auf die atomaren Tatsachen gestoßen ist und diese im bisherigen System nicht interpretieren konnte – oder sagen wir: nur unter Preisgabe jeder Möglichkeit, zu verstehen, was eigentlich vor sich geht, in ein mathematisches Schema integrieren konnte.

Wenn wir nun auf unserem Weg ebenfalls an diesen Punkt gelangen, ist die Situation völlig anders: wir sind nicht mit Modellen ausgerüstet, die ihren Ursprung in der Mechanik haben und hier versagen müssen, sondern mit den Konzepten Metrik und Fluss, und es wird sich zeigen, dass sich auf dieser Basis die atomaren Fakten geradezu von selbst ergeben oder zumindest auf durchaus verständliche Weise erschließen lassen.

Da wäre z.B. die Tatsache der "erlaubten Bahnen" bzw. Zustände. In der historischen Entwicklung wurde dieses Problem zunächst durch Bohr sozusagen "per Verordnung" geregelt und dann durch de Broglie mittels der Zuordnung von Welleneigenschaften zu Teilchen erklärt – wobei das Wort "erklärt" allerdings problematisch ist, denn genau an dieser Stelle ereignet sich der Schritt ins Absurde: in den Dualismus, die Unschärfe usw.

Im metrisch-dynamischen Modell sind diese "erlaubten Zustände" selbstverständlich. Es ist außerdem von Beginn an klar, dass es *eigentlich* keine Bahnen gibt – das Teilchen existiert ja gar nicht –, und dass sich bei den Zuständen ohne Drehimpuls überhaupt nichts bewegt. (Solche Zustände waren z.B. im Bohr-Sommerfeldschen Atommodell nicht darstellbar.)

Auch der Zusammenhang zwischen Drehimpuls und Zahl der Knotenflächen des jeweiligen Zustandes, der im Rahmen post-mechanischer Vorstellungen uninterpretierbar ist, lässt sich von

unseren Annahmen her auf einfachste Weise ableiten und verstehen. Im Grunde ist es bloß eine Übertragung des Zusammenhangs zwischen Impuls und reziproker Wellenlänge, der im ersten Teil am Beispiel des Lichtelektrischen und des Compton-Effekts aufgeklärt wurde. Auf dieselbe Weise, wie dort verständlich wurde, warum und auf welche Weise der Impuls mit laufenden Wellen zusammenhängt, wird hier verständlich, warum der Drehimpuls Kugelflächenwellen zugeordnet werden muss. Außerdem wird auch die Quantisierung einsichtig, und ebenso, dass sie in Vielfachen einer elementaren Einheit in Erscheinung tritt.

Auch der Spin kann im metrisch-dynamischen Modell rekonstruiert und verstanden werden, und dasselbe gilt für die anderen drei Quantenzahlen.

Als letzter Punkt dieser Vorschau sei noch erwähnt, dass sich all diese Rekonstruktionen für beliebige Kernladungszahlen durchführen lassen.

Wie werden die Rekonstruktionen durchgeführt? Indem die metrisch-dynamische Beschreibung des Feldes einer positiven Ladung  $\mu > 0$  dazu verwendet wird, die darin möglichen stationären Wellenzustände zu bestimmen.

(Ab jetzt werden nur noch relativistische Bezugssysteme verwendet. Das relativ zu O ruhende relativistische Bezugssystem – zuvor als  $S_R$  bezeichnet – heißt ab jetzt  $S'$ , und das mit dem rotierenden Fluss mitbewegte Bezugssystem wie bisher  $S_F$ .)

## 5.8. Zustände des Wasserstoffatoms

Sei  $S'$  das System, das in Bezug auf eine zentrale positive Ladung  $\mu > 0$  ruht.  $S_F$  sei das System, dessen Punkte mit der Geschwindigkeit  $w(r)$  um O rotieren. ( $S_F$  ist das Flusssystem.)

Für die Bestimmung möglicher stationärer Wellenzustände im Feld einer positiven Ladung  $\mu > 0$  werden folgende Voraussetzungen benötigt:

$$a) \quad r d\varphi' = r d\varphi \left(1 - \frac{\mu}{r}\right)^{-\frac{1}{2}}, \quad dt' = dt \left(1 - \frac{\mu}{r}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$b) \quad r d\varphi_F = r d\varphi \left(1 - \frac{\mu}{r}\right)^{-1}, \quad dt_F = dt$$

$$c) \quad w(r) = \pm c \sqrt{\frac{\mu}{r}}$$

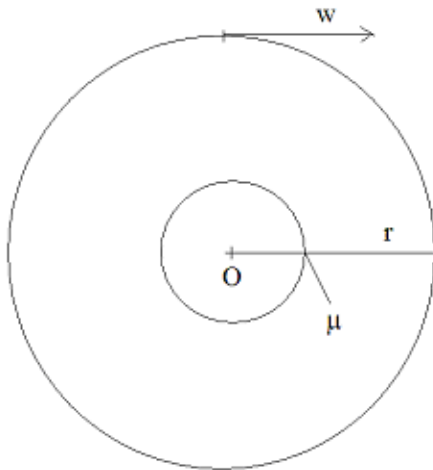
Für den Umfang  $U'(r)$  eines Kreises vom Radius  $r$ , der im System  $S'$  gemessen wird, gilt nach a)

$$U'(r) = 2\pi r \left(1 - \frac{\mu}{r}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Vom System  $S_F$  aus gesehen hat nach b) derselbe Kreis den Umfang  $U_F(r)$ :

$$U_F(r) = 2\pi r \left(1 - \frac{\mu}{r}\right)$$

Hier eine Skizze. Sie zeigt eine beliebige Ebene durch  $O$ . (Für  $w$  ist eine der zwei möglichen Richtungen ausgewählt.)



(S16)

Soweit die Voraussetzungen, die das Feld betreffen.

(Im folgenden steht der Faktor  $k$  wieder für:  $k = \sqrt{1 - \frac{w^2}{c^2}} = \sqrt{1 - \frac{\mu}{r}}$ )

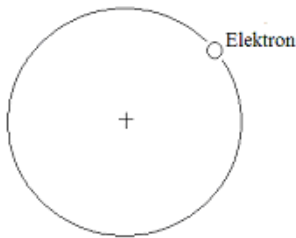
Als weitere Voraussetzung dient ein Sachverhalt, der im vorigen Kapitel abgeleitet wurde:

*Die Existenz eines Teilchens ist mit dem Auftreten einer gleichphasigen Schwingung auf einer Kugel­fläche verbunden, deren Frequenz gleich der Teilchenfrequenz  $f$  ist.*

(Die Frequenz  $f$  ist jene Frequenz, die in der Standardphysik mit der Energie  $E$  des Teilchens durch die Gleichung  $E = hf$  verknüpft ist.)

Betrachten wir nun ein *Elektron*. Die geometrische Masse sei  $m_e$ , die zugehörige Frequenz  $f_e$ . Dieses Elektron denken wir uns ins Feld einer positiven Ladung  $\mu$  versetzt.

Zunächst ist es notwendig, zu klären, was von unserem Standpunkt aus bedeutet, "ein Elektron in das Feld einer positiven Ladung  $\mu$  zu versetzen". Das Elektron kann ja hier kein "Teilchen" im üblichen Sinn sein, da es nur metrische Veränderungen, Flüsse und Wellen gibt. Es wäre also unpassend, hier eine Vorstellung anzuwenden wie etwa im Bohrschen Atommodell:



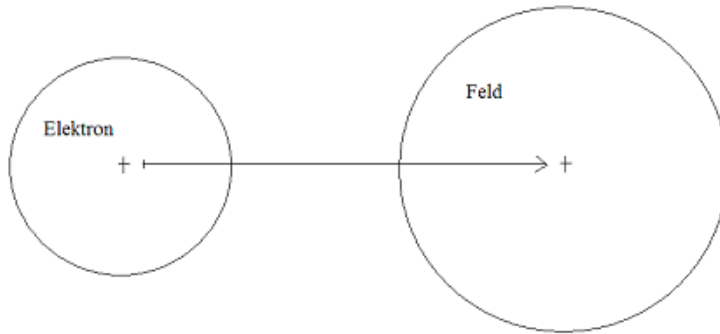
(S17)

– d.h. das Elektron um den Atomkern kreisen zu lassen.

Wir gehen stattdessen, genau wie im ersten Teil der Arbeit, von folgender Vermutung – oder sagen wir: Arbeitshypothese – aus:

*Das Elektron ist ein Schwingungszustand eines Bereichs des Kontinuums.*

Das "Elektron" ins Feld eines "Protons" zu versetzen bedeutet dann, die beiden Zustände des Kontinuums miteinander zu verbinden, sie sozusagen "übereinander zu legen", wie in der nächsten Skizze angedeutet:



(S18)

Die Frage, die zu stellen ist, lautet also:

*Was folgt in Bezug auf die gleichphasige Schwingung auf einer Kugelfläche, die mit der Existenz des "Elektron" genannten Kontinuumszustands verbunden ist, wenn dieser Zustand in einen Bereich des Kontinuums versetzt wird, der durch die geometrische Ladung  $\mu > 0$  verändert ist?*

Die folgenden Abschnitte werden zeigen, ob unsere Vermutung über das Elektron zielführend ist. Im ersten Schritt wird sie uns zum Grundzustand des Wasserstoffatoms führen.

### **Der Grundzustand**

Betrachten wir zunächst die Verhältnisse im Feld in einer beliebigen Ebene durch O. Das "Elektron" befindet sich im Feld. Das bedeutet: in dieser Ebene existiert auf einem Kreis um O eine gleichphasige Schwingung.

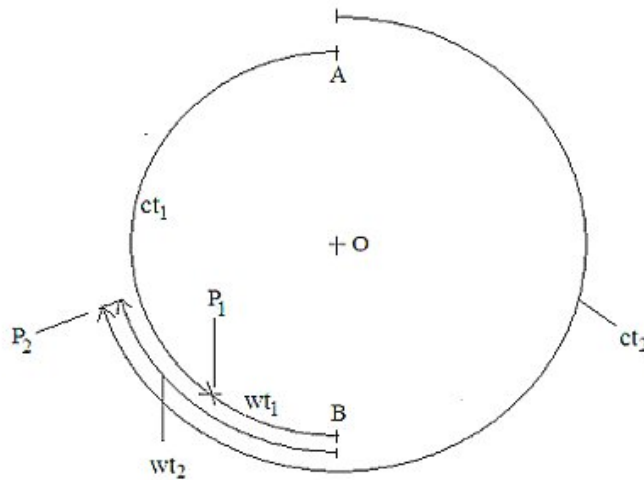
In bezug auf das rotierende Flusssystem  $S_F$  ist die Gleichheit der Phase dieser Schwingung aufgehoben, d.h. in Bezug auf  $S_F$  existiert eine *Phasenwelle*. Die Wellenlänge dieser Phasenwelle liefert die Bedingung, aus der sich der Radius  $r_1$  des einfachsten stationären Schwingungszustands für das Elektron bestimmen lässt.

Diese Bedingung lautet:

*In bezug auf das Flusssystem  $S_F$  ist die Wellenlänge der Phasenwelle gleich dem Umfang des Kreises mit Radius  $r_1$ .*

Da in  $S_F$  die Längen verändert sind, entspricht der Zusammenhang zwischen  $S_F$  und  $S'$  nicht dem Zusammenhang zwischen zwei Bezugssystemen der Speziellen Relativitätstheorie. Es kann also nicht Lorentz-Transformiert werden. Hier ist es deshalb am einfachsten, zur Bestimmung der Phasendifferenzen in Bezug auf  $S_F$  direkt auf die relativistische Zeitdefinition durch Licht zurückzugreifen. (Für eine Erläuterung siehe 2.8. aus dem ersten Teil.)

Die folgende Skizze dient der Veranschaulichung der Verhältnisse, aus denen die Zeitverschiebungen ermittelt werden können, die für einen in  $S_F$  ruhenden Beobachter im Vergleich zu einem in  $S'$  ruhenden Beobachter gelten:



(S19)

Von A aus werden in beide Tangentialrichtungen Lichtsignale ausgesendet. Wenn sie den Kreis entlang laufen, dann erreichen sie einen zu  $S'$  gehörenden, in B ruhenden Beobachter gleichzeitig. Einen Beobachter im System  $S_F$ , der zum Zeitpunkt des Aussendens der Signale ebenfalls in B ist und sich mit der Geschwindigkeit  $w$  auf dem Kreis bewegt, erreicht das eine Lichtsignal im Punkt  $P_1$  zur Zeit  $t_1$ , das andere im Punkt  $P_2$  zur Zeit  $t_2$ . Die Zeitpunkte des Aussendens der Signale *sind* also in Bezug auf den bewegten Beobachter um  $\Delta t = t_2 - t_1$  verschieden. Daher entspricht die Zeitdifferenz  $\Delta t$  der Phasenverschiebung pro Umfang in Bezug auf den bewegten Beobachter.

Wie (S19) zu entnehmen ist, gilt:



$$ct_1 + wt_1 = U_F/2 \quad ct_2 - wt_2 = U_F/2$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{U_F/2}{c-w} - \frac{U_F/2}{c+w}$$

Daraus folgt 
$$\Delta t = U_F \frac{w}{c^2} \left(1 - \frac{w^2}{c^2}\right) = U_F \frac{w}{c^2} \frac{1}{k^2}$$

Wegen 
$$U_F(r_1) = 2\pi r_1 \left(1 - \frac{\mu}{r_1}\right) = 2\pi r_1 k^2$$

ist 
$$\Delta t = 2\pi r_1 \frac{w}{c^2} \tag{54}$$

Diese Zeitdifferenz muss einer Periode der Schwingung gleichgesetzt werden. Da in  $S_F$  die Zeit identisch mit der Zeit außerhalb des Feldes ist, ist die Frequenz der Schwingung in Bezug auf  $S_F$  gleich  $f_e$  und daher die Periode gleich  $1/f_e$ .

Damit kann nun der Radius  $r_1$  abgeleitet werden. Ausgangspunkt ist

$$\Delta t = 1/f_e \tag{55}$$

$$2\pi r_1 \frac{w}{c^2} = \lambda_{Ce} \frac{1}{c} \quad (\lambda_{Ce} \text{ ist die Compton-Wellenlänge des Elektrons: } f_e \lambda_{Ce} = c)$$

$$2\pi r_1 = \lambda_{Ce} \frac{c}{w} \tag{56}$$

$$r_1 = \lambda_{Ce} \frac{c}{w} \tag{56'}$$

Mit 
$$\frac{c}{w} = \sqrt{\frac{r_1}{\mu}} \text{ ergibt sich}$$

$$r_1 = \frac{\tilde{\lambda}_{Ce}^2}{\mu} \quad (57)$$

Hier ist  $\tilde{\lambda}_{Ce}$  das geometrische Mittel von  $r_1$  und  $\mu$ . (Vgl. (41) und (41''))

Wird die geometrische Ladung  $\mu$  dem klassischen Elektronenradius  $r_e$  gleichgesetzt

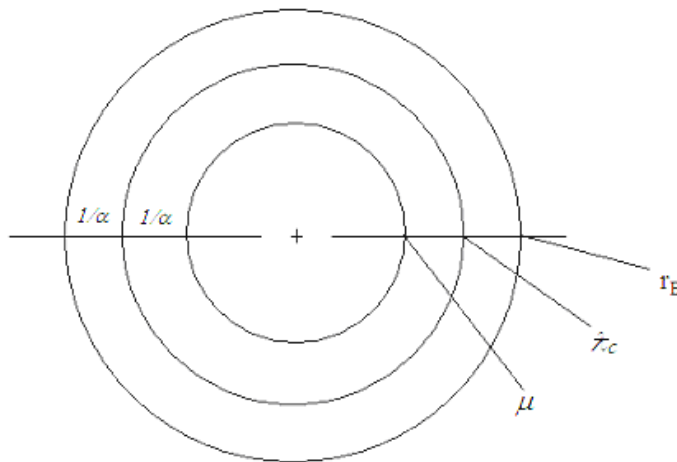
$$\mu = r_e \quad (58)$$

– dann ist  $r_1$  gleich dem Bohr-Radius, und (57) wird zu der bekannten Gleichung:

$$r_B = \frac{\tilde{\lambda}_{Ce}^2}{r_e} = \tilde{\lambda}_{Ce} \frac{\tilde{\lambda}_{Ce}}{r_e} = \tilde{\lambda}_{Ce} \frac{1}{\alpha} \quad (57')$$

$\mu$  wird durch (58) zur **geometrischen Elementarladung**.

Hier eine (logarithmisch skalierte) Skizze zu den Verhältnissen im tangentialen Fluss w:



(S20)

*Der Zusammenhang zwischen den drei Größen klassischer Elektronenradius – der hier der geometrischen Elementarladung  $\mu$  entspricht –, Compton-Wellenlänge des Elektrons und Bohr-Radius ist im metrisch-dynamischen Modell durch den rotierenden metrischen Fluss vermittelt.*

Bisher haben wir uns darauf beschränkt, die Verhältnisse in einer Ebene darzustellen. Alles, was abgeleitet wurde, gilt aber *in jeder Ebene* durch den Mittelpunkt O. Das bedeutet, dass nicht nur auf einem Kreis um O im Abstand  $r_B$  eine gleichphasige Schwingung mit der Frequenz  $f_e'$  eines Elektrons im Grundzustand des Wasserstoffatoms existiert, sondern auf einer *Kugelfläche* mit Radius  $r_B$ .

*Wird ein Elektron ins Feld einer positiven Ladung  $\mu$  gebracht, dann ergibt sich ein Zustand, bei dem auf einer Kugelfläche, deren Radius gleich dem Bohr-Radius ist, eine gleichphasige Schwingung existiert.*

Es stellt sich die Frage: Entspricht dieser Zustand dem Grundzustand des Wasserstoffs?

Das hängt davon ab, in welchem Maß die Eigenschaften, die sich für diesen Zustand unter Verwendung der metrisch-dynamischen Felddefinition ergeben, den Eigenschaften des Grundzustands entsprechen.

Bestimmen wir also weitere Eigenschaften dieses Zustands.

### **Die Frequenz des Grundzustands**

Die Frequenz  $f_e'$  der (in Bezug auf S' gleichphasigen) Schwingung im Abstand  $r_B$  ergibt sich aus metrisch-dynamischer Sicht daraus, dass in S' die Zeit im Abstand  $r_B$  um den Faktor

$$k = \sqrt{1 - \frac{w^2}{c^2}} = \sqrt{1 - \frac{\mu}{r_B}}$$

langsamer vergeht. Also ist

$f_e' = f_e k$	(59)
----------------	------

Der Standardwert der Frequenz  $f_e'$  eines Elektrons im Grundzustand des Wasserstoffs ist

$$f_e'/f_e = 1 - \frac{\alpha^2}{2} \quad (60)$$

Vergleichen wir  $f_e'/f_e = k = \sqrt{1 - \frac{\mu}{r_B}}$  mit diesem Wert:

Es ist  $\frac{\mu}{r_B} = \alpha^2$  und somit

$f_e'/f_e = \sqrt{1 - \alpha^2} = 1 - \frac{\alpha^2}{2} + \frac{\alpha^4}{8} - \dots \approx 1 - \frac{\alpha^2}{2} \quad (61)$
--

Der metrisch-dynamische Wert für  $f_e'/f_e$  in (61) ist also geringfügig verschieden vom Standardwert in (60). ( $\alpha^4/8 = 3.54 \cdot 10^{-10}$ ) Dieser erscheint hier als nicht-relativistische Näherung.

### Der Spin im metrisch-dynamischen System

Jedem Punkt P der Kugelfläche mit Radius  $r_B$ , auf der eine gleichphasige Schwingung mit der Frequenz  $f_e' = f_e k$  existiert, muss die Geschwindigkeit  $w(r_B)$  *in jeder Richtung* auf der durch P definierten Tangentialebene zugeschrieben werden.

In jedem ebenen Schnitt durch den Kugelmittelpunkt gibt es für die Flussgröße  $w(r)$  im Abstand  $r_B$  genau zwei Möglichkeiten:

$$w = \sqrt{\frac{\mu}{r_B}} \quad \text{und} \quad w = -\sqrt{\frac{\mu}{r_B}}$$

Die Tatsache einer Drehung in jeder Ebene, deren Größe feststeht und für die es genau zwei Möglichkeiten gibt, entspricht der Definition des quantenmechanischen Spins. Daher werden wir die Fluss-

größe  $w(r_B)$  zur Definition einer Größe benutzen, die das metrisch-dynamische Analogon zum Spin der Quantenmechanik darstellt.

Der quantenmechanische Spin hat die Dimension eines Drehimpulses  $\Theta$ , wobei

$$\Theta = M r w \quad (M \text{ die "normale" Masse, } w \text{ die Tangentialgeschwindigkeit})$$

Im metrisch-dynamischen System gibt es nur Längen und Zeiten und keine anderen Maßgrößen. Statt weitere Einheiten einzuführen, definieren wir als metrisch-dynamisches Analogon zum Spin

$$s_{\text{md}} = m_e r_B w_{r_B} \quad (m_e \text{ geometrische Masse des Elektrons, } w \text{ bedeutet } w/c)$$

$$w_{r_B} = \pm \sqrt{\frac{\mu}{r_B}}$$

$$s_{\text{md}} = \pm m_e r_B \sqrt{\frac{\mu}{r_B}} = \pm m_e \sqrt{\mu r_B}$$

Es gilt nach (57)  $\sqrt{\mu r_B} = \tilde{\lambda}_{\text{Ce}}$

Also ist  $s_{\text{md}} = \pm m_e \tilde{\lambda}_{\text{Ce}}$

Nach (41'') ist  $m_e \tilde{\lambda}_{\text{Ce}} = \tilde{\lambda}_{\text{Pl}}^2$ , so dass schließlich

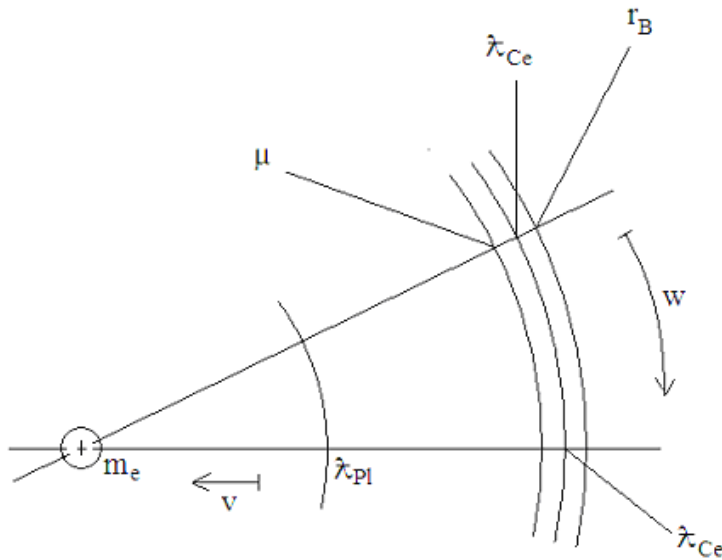
$s_{\text{md}} = \pm \tilde{\lambda}_{\text{Pl}}^2$	(62)
---	------

Der metrisch-dynamische Spin ist also gleich dem Quadrat der fundamentalen Länge. (Dass diese hier quadratisch auftritt, ist bloß eine Folge der Definition des metrisch-dynamischen Spins.)

Das entspricht der quantenmechanischen Identität von Spin und Wirkungsquantum – nur der Faktor  $1/2$  ist verlorengegangen. Er liegt aber gewissermaßen "nicht weit entfernt", wenn man bedenkt, dass bei negativer Ladung  $\mu < 0$  der Umfang eines Kreises mit  $r = |\mu|$  gleich  $4\pi|\mu|$  ist, so dass ein voller Kreis einem Winkel von  $720^\circ$  entspricht – und das ist genau der Sachverhalt, der in der Quantenmechanik mit dem halbzahligen Spin in Beziehung steht.

Bei der eben durchgeführten Ableitung der Größe des Spins ist zu erkennen, wie zuerst der durch den tangentialen Fluss  $w(r)$  vermittelte Zusammenhang zwischen den 3 Größen  $[\mu | \lambda_{Ce} | r_B]$  und danach der durch den radialen Fluss  $v(r)$  vermittelte Zusammenhang zwischen den 3 Größen  $[m_e | \lambda_{Pl} | \lambda_{Ce}]$  es ermöglichen, den Spin auf die elementare Länge zurückzuführen.

Dazu eine Skizze, logarithmisch skaliert (aber dennoch nicht maßstabsgetreu):



(S21)

Zur Erinnerung: Es gilt nach (42')

$$m_e Z'_E = \lambda_{Pl} \quad \text{und} \quad \lambda_{Pl} Z'_E = \lambda_{Ce} \quad \text{mit} \quad Z'_E = 2.390 \cdot 10^{22}$$

– und nach (57) und (57')

$$\mu \frac{1}{\alpha} = \lambda_{ce} \quad \text{und} \quad \lambda_{ce} \frac{1}{\alpha} = r_B \quad \text{mit} \quad \frac{1}{\alpha} = 137.036$$

### Interpretation des Spins

Wir werden nun die Bedeutung des Sachverhalts untersuchen, dass *in jeder Ebene* eine Drehung existiert, deren Größe feststeht und für die es genau zwei Möglichkeiten gibt.

Kehren wir kurz zum ersten Gesetz zurück. Es lautet

$$\frac{d\sigma}{dr} = \pm \frac{1}{c^2} \frac{dv}{dt}$$

Ich sagte an dieser Stelle: "*Dies ist das Gesetz, aus dem die Wirklichkeit gewebt ist.*"

Das ist zwar poetisch ausgedrückt, aber es ist auch sachlich gemeint: *Für uns* vollzieht sich dieses Gesetz zwar *in* einem Raum, *an sich* aber gibt es keinen solchen Raum – das Kontinuum *entsteht* erst durch das Wirken dieses Gesetzes, es ist tatsächlich *daraus gewebt*.

Im Fall der Gravitation ist der Entstehungsvorgang *eindimensional*: das Kontinuum wird aus Flusslinien gebildet. Bleiben wir der Einfachheit halber bei Kugelsymmetrie: hier besteht das Kontinuum aus Radien, aus Strahlen, die vom Mittelpunkt ausgehen (bzw. in ihm enden). Diesen Radien werden bestimmte metrische Eigenschaften zugeordnet, und den Punkten auf ihnen Flussgeschwindigkeiten. Die Bedingung, die an diese Zuordnung gestellt wird, ist Widerspruchsfreiheit, d.h. das 3-dimensionale metrisch-dynamische Kontinuum, das aus diesen eindimensionalen Gesetzmäßigkeiten gebildet wird, darf keine Widersprüche enthalten.

Da der Elektromagnetismus den Änderungen der metrischen Winkeldichte zugeordnet wird, ist der Aufbau hier *zweidimensional*: das Kontinuum des Elektromagnetismus ist aus *Flächen* zusammengesetzt, die durch den Mittelpunkt O gehen – nennen wir sie M-Flächen. Daran ist nichts Eigenartiges, es ist ebenso selbstverständlich wie der Aufbau des Kontinuums aus Linien. Im kugelsymmetrischen Fall sind die Flächen Ebenen durch den Mittelpunkt. Diesen Ebenen werden wieder metrische Eigenschaften zugeordnet, und den Punkten auf ihnen Flussgeschwindigkeiten normal zu den Radien. Die Bedingung ist abermals, dass bei der Zusammensetzung der Ebenen zu einem dreidimensionalen Kontinuum keine Widersprüche auftreten.

Wenn diese M-Flächen durch den Mittelpunkt O zu einem 3-dimensionalen Kontinuum zusammengefügt werden, dann entstehen andere Flächen – sagen wir R-Flächen (im kugelsymmetrischen Fall sind es Kugelflächen) –, die dadurch definiert sind, dass jedem Punkt der Fläche dieselbe Geschwindigkeit zugeordnet ist, und zwar *in jeder Tangentialrichtung* auf der Fläche.

Entscheidend für das Verständnis dieses Sachverhalts ist nun, dass er als *Aussage über das Kontinuum* aufgefasst wird. Als solche ist er nämlich weder absurd noch widersprüchlich: es handelt sich bloß um die Zuordnung von Geschwindigkeiten zu Punkten; Tatsächlich bewegt sich *nichts*; ein Punkt des Kontinuums ist keine Abstraktion von etwas Existierendem.

Wird dagegen versucht, diesen Sachverhalt als *Eigenschaft eines Objekts* zu interpretieren – wie das üblicherweise zur Demonstration der Unmöglichkeit geschieht, quantenmechanische Größen anders als auf rein mathematische Weise zu begreifen – dann ist er tatsächlich absurd, und es wäre dadurch bewiesen, dass quantenmechanische Objekte für unser Denken unzugänglich sind.

Aus metrisch-dynamischer Sicht lässt sich also feststellen:

Im Fall des Elektromagnetismus besteht das Kontinuum aus R-Flächen, auf denen jedem Punkt eine Flussgeschwindigkeit in jeder Tangentialrichtung zugeordnet ist. Die Flächen sind dadurch definiert, dass der Betrag dieser Geschwindigkeit für alle Punkte der Fläche identisch ist. Bei diesem Sachverhalt handelt es sich um eine *Eigenschaft des Kontinuums*. Es ist noch keine Rede von einem "Objekt".

Die solchermaßen definierten metrisch-dynamischen Eigenschaften des Kontinuums stellen aber nun die notwendige Voraussetzung dafür dar, dass sich stationäre Wellenzustände ausbilden können.

Erst diese stationären Wellenzustände können als "Objekte" aufgefasst werden. Sie enthalten die Flussgeschwindigkeit also nicht *als Eigenschaft*, sondern *als Voraussetzung*.

Im Abschnitt "Der Grundzustand" sind diese Zusammenhänge klar erkennbar. Dort wurde eine gleichphasige Schwingung auf einer Kugelfläche erzeugt. Dieser Schwingungszustand ist das "Objekt". Das Objekt hat weder die Eigenschaft "Flussgeschwindigkeit" noch rotiert es. Flussgeschwindigkeit und Rotation sind Eigenschaften des Kontinuums, und sie sind notwendige Voraussetzungen für die Existenz der gleichphasigen Schwingung.

Wenn man sich quantenmechanischen Objekten von den *Dingen* her kommend nähert, dann hat man nur die Möglichkeit, die Größen, die sich für die Darstellung als notwendig erweisen, als Eigenschaften von Dingen aufzufassen – und mit diesem Interpretationsversuch zu scheitern.



Beginnt man dagegen den Aufbau der Welt von den *Voraussetzungen des Seienden*, dann steht man zunächst vor der Notwendigkeit, das Dingliche zu rekonstruieren. Die Größen, die dafür benötigt werden, gehören daher nicht zur Welt der Objekte. Aus dieser Sicht ist es also selbstverständlich, dass sie Voraussetzungen und nicht Eigenschaften von Objekten sind.

Ich schließe die Bemerkungen zur Interpretation des Spins, indem ich mich selbst zitiere:

"Das, was die Quantentheorie beschreibt, liegt an der Grenze zwischen dem nicht-gegenständlichen und dem gegenständlichen Bereich. Erst aus dieser Sicht – durch die Betrachtung von *beiden* Seiten – werden Quantenobjekte verständlich." (1. Teil, 3.9, Punkt 3.)

### **Angeregte Zustände; Quantenzahlen**

Um die erste Rekonstruktion eines quantenmechanischen Zustandes möglichst übersichtlich zu halten und die metrisch-dynamischen Begründungen klar herauszustellen, habe ich die innerste Kugelfläche, auf der Gleichphasigkeit herrscht, ein wenig ausführlicher und getrennt von den weiter außen liegenden gleichphasigen Kugelflächen behandelt. Tatsächlich ist diese Trennung aber sachlich unnötig, denn die Ableitung der Radien dieser Kugelflächen verläuft analog zur Ableitung des Bohr-Radius, die soeben im Abschnitt "Der Grundzustand" durchgeführt wurde.

Gesucht ist der Radius  $r_n$  der n-ten Kugelfläche, auf der eine gleichphasige Schwingung existiert, und die Frequenz  $f_e(r_n)$  dieser Schwingung.

Wir gehen wieder davon aus, dass die Phasengleichheit der Schwingung auf einer Kugelfläche, die durch die geometrische Masse  $m_e$  des Elektrons verursacht wird, im Fluss infolge der Rotation aufgehoben ist, dass also in Bezug auf das rotierende System  $S_F$  eine Phasenwelle existiert.

Die Bedingung, die den Ausgangspunkt der Berechnung darstellt, ist jetzt, dass der Umfang des Kreises mit Radius  $r_n$  in Bezug auf  $S_F$  gleich der n-fachen Wellenlänge dieser Phasenwelle ist.

Wir beginnen wieder mit der in Bezug auf  $S_F$  bestehenden Phasendifferenz  $\Delta t$ . Es gilt analog zu (54)

$$\Delta t = 2\pi r_n \frac{w}{c^2} \quad (63)$$

Nun muss aber statt (55)  $\Delta t = 1/f_e$

für die n-te Kugelfläche gesetzt werden:

$$\Delta t = n / f_e \quad (64)$$

– denn jetzt soll ja der Radius jenes Kreises ermittelt werden, dessen Umfang dem n-fachen der Phasenwellenlänge entspricht, und  $\Delta t$  muss daher n Perioden der Schwingung entsprechen. (Man beachte, dass die Phasenwelle nur in Bezug auf das rotierende Flusssystem  $S_F$  existiert; in Bezug auf das nicht rotierende System  $S'$  gibt es keine Phasenverschiebung, sondern wiederum nur eine gleichphasig schwingende Kugelfläche vom Radius  $r_n$ .)

Mit  $\Delta t = 2\pi r_n \frac{w}{c^2}$  folgt

$$2\pi r_n \frac{w}{c^2} = n \lambda_{Ce} \frac{1}{c} \quad (\lambda_{Ce} \text{ Compton-Wellenlänge des Elektrons. } f_e \lambda_{Ce} = c)$$

$$2\pi r_n = n \lambda_{Ce} \frac{c}{w} \quad (65)$$

$$r_n = n \tilde{\lambda}_{Ce} \frac{c}{w} \quad (65')$$

Mit  $\frac{c}{w} = \sqrt{\frac{r_n}{\mu}}$  ergibt sich

$$r_n = n^2 \frac{\tilde{\lambda}_{Ce}^2}{\mu} \quad (66)$$

$$r_n = n^2 \tilde{\lambda}_{Ce} \frac{1}{\alpha} = n^2 r_B \quad (67)$$

Die zugehörige Frequenz  $f_e(r_n)$  folgt aus

$$f_e(r_n) = f_e \sqrt{1 - \frac{\mu}{r_n}} = f_e \sqrt{1 - \frac{\mu}{n^2 r_B}} = f_e \sqrt{1 - \frac{\alpha^2}{n^2}}$$

$$f_e(r_n) / f_e = \sqrt{1 - \frac{\alpha^2}{n^2}} = 1 - \frac{\alpha^2}{2n^2} + \frac{1}{8} \frac{\alpha^4}{n^4} - \dots$$

Das ist bis auf die Terme  $\frac{1}{8} \frac{\alpha^4}{n^4} - \dots$  identisch mit dem üblichen Wert

$f_e(r_n) = f_e \left( 1 - \frac{\alpha^2}{2n^2} \right)$	(68)
---	------

*n* ist die Hauptquantenzahl.

Die bisher beschriebenen Zustände sind gleichphasig. Es gibt also *keine Drehung* – der "Bahndrehimpuls" ist 0. Es existieren aber auch Zustände mit Bahndrehimpuls  $\neq 0$ . Diesen Zuständen wenden wir uns jetzt zu.

Zunächst ist wieder das metrisch-dynamische Analogon  $L_{md}$  des Bahndrehimpulses  $|L|$  zu definieren. Analog zur Vorgangsweise beim Spin definieren wir:

$$L_{md} = m r v_t \tag{69}$$

Auch hier ist  $m$  wieder die geometrische Masse,  $r$  ist die Entfernung zum Bezugspunkt der Rotation,  $v_t$  ist die Tangentialgeschwindigkeit (zu lesen  $v_t/c$ ).

Zuerst eine Vorüberlegung: Das Resultat der zuvor durchgeführten Ableitung war, dass auf einem Kreis mit Radius  $n^2 r_B$  eine gleichphasige Schwingung existiert, d.h. eine Schwingung ohne Knotenpunkte.

Auf diesem Kreis sind aber auch Zustände *mit* Schwingungsknoten möglich – allerdings nur dann, wenn die Knoten in Bezug auf S' *rotieren*.

Nehmen wir an, die Geschwindigkeit, mit der die Knoten – d.h. der Schwingungszustand selbst – den Kreis entlang laufen, sei  $w(r_n)$ . Wenn wir Gleichung (65) mit  $k$  erweitern, dann steht links der Umfang des Kreises in Bezug auf S', und rechts steht die Zahl der Wellen mal der Phasenwellenlänge:

$$2\pi r_n k = n \left( \lambda_{c_e} \frac{c}{w(r_n)} k \right)$$

Das bedeutet: Wenn die Geschwindigkeit der Knotenpunkte gleich der Rotationsgeschwindigkeit  $w(r_n)$  ist, dann ergibt sich in Bezug auf S' eine Phasenwelle mit  $n$  Wellenlängen pro Umfang. (In bezug auf S<sub>F</sub> herrscht dann Phasengleichheit.)

Es gilt ganz allgemein: Die Wellenlänge einer Phasenwelle, die aus einer gleichphasigen Schwingung mit der Frequenz  $q$  in einem relativ dazu mit der Geschwindigkeit  $v$  bewegten System durch die Lorentz-Transformation entsteht, ist  $(c/q)(c/v)k$ . Daraus folgt, dass die Wellenlänge annähernd umgekehrt proportional zur Geschwindigkeit  $v$  ist. (Nur annähernd, weil  $k$  von  $v$  abhängt.)

Wenn also bei einer Rotationsgeschwindigkeit, die gleich der Geschwindigkeit des Flusses  $w(r_n)$  ist, die Anzahl der Wellen pro Umfang gleich  $n$  ist, dann ist für eine Phasenwelle mit *einer* Welle pro Umfang eine Rotationsgeschwindigkeit von  $w(r_n)/n$  erforderlich.

Damit eine Phasenwelle mit  $l$  Wellen pro Umfang existiert, muss die Rotationsgeschwindigkeit  $v_t$  daher gleich  $l w(r_n)/n$  sein.

Setzen wir nun in (69) ein:

$$L_{md} = m r v_t$$

Für die geometrische Masse  $m$  ist  $m_e$  zu setzen,  $r$  entspricht  $r_n$ ,  $v_t = l w(r_n)/n$ .

Damit ergibt sich

$$L_{md} = m_e r_n l w(r_n)/n$$

Es ist  $r_n = n^2 r_B$ ,  $w(r_n) = \sqrt{\frac{\mu}{n^2 r_B}}$

Daraus folgt

$$L_{md} = m_e n^2 r_B l \sqrt{\frac{\mu}{n^2 r_B}} \frac{1}{n}$$

$$L_{md} = l m_e \sqrt{\mu r_B} \quad \mu r_B = \tilde{\lambda}_{Ce}^2 \quad (57)$$

$$L_{md} = l m_e \tilde{\lambda}_{Ce} \quad m_e \tilde{\lambda}_{Ce} = \tilde{\lambda}_{Pl}^2 \quad (41'')$$

Also ist schließlich

$L_{md} = l \tilde{\lambda}_{Pl}^2$	(70)
-------------------------------------	------

$l$  ist die Bahndrehimpulsquantenzahl.

Zum Vergleich: Der quantenmechanische Wert für den Bahndrehimpuls ist

$$|L| = (l(l+1))^{1/2} \hbar$$

---

Zwischen Bahndrehimpuls und Spin besteht ein grundsätzlicher Unterschied: Der Spin ist eine *Eigenschaft des Kontinuums* und somit eine *Voraussetzung* des Objekts "Schwingungszustand".

Der Bahndrehimpuls ergibt sich dagegen aus der Annahme einer *Drehung des Schwingungszustands selbst*, d.h. er ist eine *Eigenschaft des Objekts*.

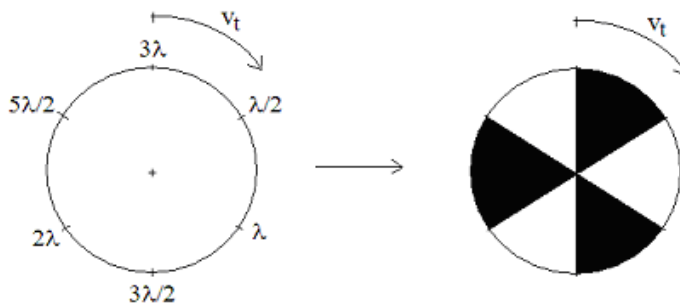
Bei Zuständen *ohne* Bahndrehimpuls ist es möglich, die gleichphasigen Schwingungen entlang von Kreisen mit Radius  $r_n$  auf allen Ebenen durch O zu einer gleichphasig schwingenden Kugelfläche zusammenzusetzen.

Bei Zuständen *mit* Bahndrehimpuls treten auf den Kreisen Knotenpunkte auf, die entlang der Kreislinien mit der Geschwindigkeit  $v_t(l)$  rotieren. Würde man dieselbe Rotation für alle Ebenen durch O annehmen, dann wäre es nicht mehr möglich, die Kreise zu einer schwingenden Kugelfläche zusammenzusetzen.

Das bedeutet: Bei Zuständen mit Bahndrehimpuls  $\neq 0$  wird – beim Übergang von der Kreis-Schwingung zur Kugelflächenschwingung – die Kugelsymmetrie des Kontinuum-Zustands gebrochen; Anders als der Spin, der eine *Eigenschaft des Kontinuums* ist und in *jeder* Ebene bzw. in Bezug auf jede Drehachse denselben Wert hat, existiert der Bahndrehimpuls als *Objekteigenschaft* stets *in Bezug auf eine bestimmte Richtung*.

Man gelangt so zur Vorstellung einer Kugelfläche, auf der eine Welle mit  $l$  Knotenlinien existiert und die sich zugleich in einer bestimmten Richtung dreht..

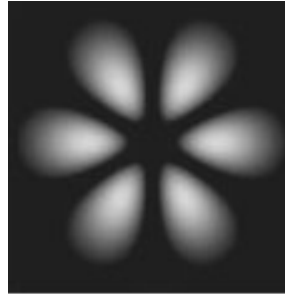
Hier eine Illustration am Beispiel des Zustands mit  $n = 4$  und  $l = 3$ :



(S22)

Wenn man von der Betrachtung in einer Ebene (links) auf eine räumliche Betrachtung (rechts) übergeht, dann wird der Schwingungszustand des Kreises zum Schwingungszustand einer Kugelfläche, die sich mit der Tangentialgeschwindigkeit  $v_t(l)$  dreht. Die 6 Knotenpunkte, die entlang der Kreislinie auftreten, werden zu 3 Knotenlinien auf der Kugelfläche. Die Bereiche positiver Amplitudenwerte sind schwarz dargestellt, die Bereiche negativer Werte weiß.

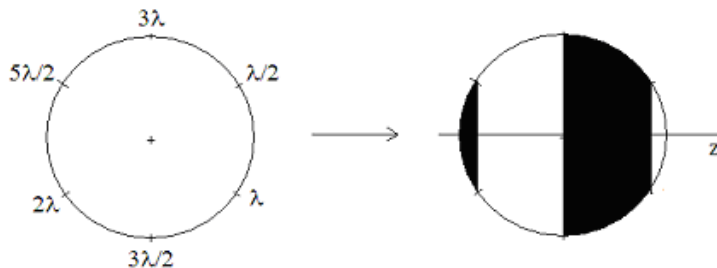
Der Drehimpuls des auf der rechten Seite skizzierten Schwingungszustands entspricht dem Drehimpuls des in der folgenden Skizze abgebildeten quantenmechanischen 4f-Zustands:



(S23)

(In (S23) erscheinen alle Schwingungsbereiche weiß, weil hier die Quadrate der Wellenfunktion dargestellt sind.)

Der Übergang von der schwingenden Kreislinie zur schwingenden Kugelfläche kann auch auf andere Weise erfolgen als in (S22). Z.B. wie in dieser Skizze:

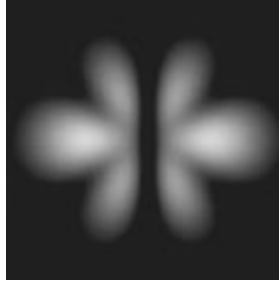


(S24)

Hier sind alle durch Knotenlinien definierten Ebenen parallel zueinander und normal zu einer vorgegebenen Richtung orientiert. In der Skizze ist es die Richtung des Pfeils. Bezeichnen wir sie, wie üblich, mit  $z$ . Aus der Ableitung von (70) geht hervor, dass die Rotationsgeschwindigkeit proportional zur Zahl der Knoten ist, die in der Ebene auftreten, die durch  $O$  geht und normal zur Rotationsachse ist. Da in (S24) die Anzahl der Knoten in der Ebene durch  $O$  und normal zu  $z$  gleich 0 ist, existiert in Bezug auf  $z$  keine Rotation.

Das bringt uns zur *vierten Quantenzahl*  $m$ :

$m$  bezeichnet die Anzahl der durch Knotenlinien definierten Ebenen, die *nicht* normal zu  $z$  sind. In (S24) ist also  $m = 0$ , und der Zustand rechts in der Skizze (S24) kann mit dem  $4f$  ( $m=0$ ) Zustand in der folgenden Skizze identifiziert werden:



(S25)

(Auch hier sind wieder alle Schwingungsbereich weiß, weil die Skizze die Amplitudenquadrate der Wellenfunktion wiedergibt.)

Bei vorgegebener Knotenzahl  $l$  muss die Anzahl der möglichen  $m$ -Zustände  $2l + 1$  betragen; Sie ergibt sich unmittelbar aus der Anzahl der Möglichkeiten, bei insgesamt  $l$  Knotenlinien  $m$  der dadurch definierten Ebenen normal zu  $z$  anzuordnen, und aus der Tatsache, dass für  $m \neq 0$  in Bezug auf  $z$  immer zwei Drehrichtungen existieren.

Die Geschwindigkeit der Rotation der Kugelfläche um die  $z$ -Achse – und der zugehörige Drehimpuls – werden von der Anzahl jener durch Knotenlinien definierten Ebenen bestimmt, die nicht normal zu  $z$  sind. Der bezüglich  $z$  vorhandene Drehimpuls hängt also von  $m$  ab.

Das entspricht den quantenmechanischen Vorgaben.

Der allgemeine Zusammenhang ist klar: Die Gesamtzahl  $l$  der Knoten ist vorgegeben. Beim Übergang von der Betrachtung in einer Ebene zur räumlichen Interpretation wird die Symmetrie des Kontinuum-Zustands gebrochen, und es müssen die auf einer Kugelfläche möglichen Schwingungszustände mit  $l$  Knotenlinien gesucht werden. Man gelangt so zu den Kugelflächenfunktionen. Auf diese Weise können die Drehimpulse aller quantenmechanischen Zustände des Wasserstoffatoms rekonstruiert werden.

---

Bisher haben wir nur die Phasenverhältnisse auf Flächen mit den Radien  $n^2 r_B$  untersucht, die sich dadurch auszeichnen, dass die Phasenwellen konstruktiv interferieren. Es ist aber klar, dass es sich bei dem Phänomen "Elektron im Feld der positiven Ladung  $\mu$ " um einen *dreidimensionalen* Schwingungszustand handeln muss. Werfen wir also zuletzt einen Blick ins "Innere" eines Zustands A, der durch die Quantenzahlen  $n_A, l_A$  charakterisiert ist.



Die Flächen mit den Radien  $n^2 r_B$  ( $1 \leq n \leq n_A$ ) sind ganz allgemein als jene Flächen aufzufassen, auf denen die Amplitude des dreidimensionalen Schwingungszustands *maximal* ist. Beim Zustand A ist offenbar die Fläche mit Radius  $n_A^2 r_B$  die am weitesten außen liegende dieser Flächen.

Wie viele solcher Flächen maximaler Amplitude gibt es im Inneren des Zustands A? Es scheint zunächst, als wäre die Antwort einfach  $n_A - 1$ . Die folgende Überlegung zeigt aber, dass für  $l_A > 0$  nicht alle Kugelflächen mit Radius  $n^2 r_B$  zugelassen sind. Folgendermaßen:

Der (metrisch-dynamische) Drehimpuls von A beträgt  $l_A \lambda_{pl}^2$ . Er hängt also nur von  $l_A$  ab. Wir haben ihn aus den Phasenverhältnissen der am weitesten außen liegenden Kugelfläche abgeleitet. Es ist aber anzunehmen, dass derselbe Wert des Drehimpulses auch für alle anderen Kugelflächen maximaler Amplitude gilt.

Wie bei der Ableitung von (70) gezeigt, bezeichnet  $l_A w(r_n)/n$  die Rotationsgeschwindigkeit der Kugelfläche mit Radius  $r_n$ . Mit  $l_A = n$  wäre die Rotationsgeschwindigkeit gleich  $w(r_n)$ , und es lässt sich leicht zeigen, dass dann die Frequenz auf dieser Fläche gleich  $f_e$  wäre, d.h. gleich der Frequenz eines ungebundenen Elektrons, was nicht zulässig ist.

Es muss also die Bedingung erfüllt sein:  $l_A < n$  ( $1 \leq n \leq n_A$ ).

Das bedeutet, dass von den  $n$  Flächen mit Radius  $n^2 r_B$  nur  $n_A - l_A$  eine Rotationsgeschwindigkeit haben können, die den erforderlichen Drehimpuls ergibt. Mit anderen Worten: beim Zustand A, der durch die Quantenzahlen  $n_A, l_A$  charakterisiert ist, gibt es  $n_A - l_A$  Kugelflächen, auf denen die Amplitude maximal ist.

*Zwischen* diesen Kugelflächen maximaler Amplitude müssen *Knotenflächen* liegen. Die Zahl der im Inneren liegenden kugelflächenförmigen Knotenflächen beträgt daher  $n_A - l_A - 1$ .

Da die Zahl der Knotenflächen, die ebene Schnitte durch den Zustand A( $n_A, l_A$ ) darstellen, zuvor als  $l_A$  bestimmt wurde, erhalten wir also einen räumlichen Schwingungszustand mit insgesamt  $n_A - 1$  Knotenflächen, von denen  $n_A - l_A - 1$  innen liegende Kugelflächen sind.

Das entspricht der quantenmechanischen Definition des *Orbitals*. Allerdings sind beim Orbital Rotation und Schwingung gewissermaßen "eingefroren"; dies ist eine Folge der Zeitunabhängigkeit der zugrunde liegenden Schrödingergleichung.

(Um die Radien der innenliegenden Knotenflächen sowie ganz allgemein die Verteilung der Amplituden zu ermitteln, wäre es notwendig, zusätzlich zu den Kugelflächenfunktionen auch die Radius-Abhängigkeit der Amplituden zu berücksichtigen. Das werden wir aber hier nicht mehr durchführen.)

### 5.9. Atome mit Kernladungszahl $Z > 1$

Abschließend einige Bemerkungen über die Verallgemeinerung der bisherigen Ergebnisse auf den Fall einer positiven Ladung  $Z\mu$  ( $Z \in \mathbb{N}$ ,  $Z > 1$ ), d.h. auf Atome mit Kernladungszahl größer als 1. Ich werde mich kurz fassen, weil das Konstruktionsschema im wesentlichen gleich bleibt.

In allen Ableitungen, die für  $Z = 1$  durchgeführt wurden, muss einfach  $\mu$  durch  $Z\mu$  ersetzt werden.

Also ist statt  $w = \sqrt{\frac{\mu}{r}}$  zu setzen:  $w = \sqrt{\frac{Z\mu}{r}}$

Bei der Ableitung des Radius der n-ten gleichphasig schwingenden Kugelfläche gilt im allgemeinen Fall genauso wie beim Wasserstoff (Gleichung (65')):

$$r_n = n \lambda_{Ce} \frac{c}{w}$$

Mit  $\frac{c}{w} = \sqrt{\frac{r_n}{Z\mu}}$  folgt dann

$$r_n = n^2 \frac{\lambda_{Ce}^2}{\mu} \frac{1}{Z} \quad (71)$$

$$r_n = n^2 \tilde{\lambda}_{Ce} \frac{1}{\alpha} \frac{1}{Z} = n^2 r_B \frac{1}{Z} \quad (72)$$

Bei Zuständen mit Drehimpuls  $\neq 0$  ist wie zuvor:

$$L_{md} = m r v_t$$

$$m = m_e, \quad r = r_n = n^2 r_B \frac{1}{Z}, \quad v_t = l w(r_n)/n = l \sqrt{\frac{Z\mu}{n^2 r_B \frac{1}{Z}}} \frac{1}{n} = l Z \sqrt{\frac{\mu}{r_B}} \frac{1}{n^2}$$

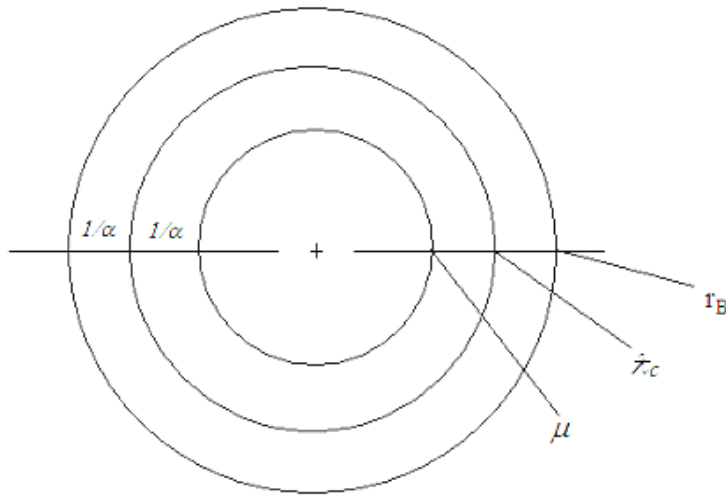
Die Faktoren  $Z$  kürzen sich weg, und damit ist das Ergebnis wieder wie in (70)

$$L_{md} = l \tilde{\lambda}_{pl}^2$$

Bemerkung:

Erwähnenswert ist, dass sich im metrisch-dynamischen Modell auf einfache Weise zeigen lässt, dass Kernladungszahlen  $Z > 137$  vermutlich nicht möglich sind. Folgendermaßen:

Betrachten wir nochmals die (logarithmisch skalierte) Skizze (S20)



(S26)

Es ist  $\lambda_{Ce}/\mu = r_B/\lambda_{Ce} = 1/\alpha$

$\lambda_{Ce}$  ist das geometrische Mittel von  $\mu$  und  $r_B$ , d.h. von geometrischer Ladung und Radius der innersten Schale.

Das gilt aber offensichtlich ebenso für jede geometrische Ladung  $Z\mu$  und jeden zu dieser Ladung gehörenden Radius der innersten Schale  $r_B / Z$ : mit wachsendem  $Z$  nähert sich die geometrische Ladung der Compton-Wellenlänge des Elektrons von innen her an, und der Radius der innersten Schale nähert sich der Compton-Wellenlänge von außen; Die Compton-Wellenlänge bleibt jedoch immer das geometrische Mittel der beiden Größen.

Nun ist aber  $1/\alpha = 137.036$ , und mit  $Z > 137$  wird die geometrische Ladung  $Z\mu$  größer als  $\lambda_{Ce}$ . Der innerste Radius liegt dann innerhalb von  $\lambda_{Ce}$  und damit auch innerhalb von  $Z\mu$ .

Innerhalb von  $Z\mu$ , d.h. für  $r < Z\mu$ , ist aber die Geschwindigkeit des rotierenden metrischen Flusses

$$w = c \sqrt{\frac{Z\mu}{r}}$$

größer als  $c$ , und es gibt dort – wie bei der Gravitation innerhalb von  $2m$  – keine statische reelle Metrik.

Das ist zwar noch kein vollständig zwingender Grund dafür, dass hier eine Grenze der möglichen Kernladungszahlen erreicht ist, aber zumindest lässt sich behaupten, dass sich mit  $Z > 137$  etwas Wesentliches ändert. Es erscheint deshalb wenig wahrscheinlich, dass im Bereich, der außerhalb dieser Grenze liegt, dieselben Gesetzmäßigkeiten gelten wie im Bereich innerhalb.

#### Bemerkung:

$\lambda_{Cp}$ , die Compton-Wellenlänge des Protons, ist um den Faktor 13.399 *kleiner* als die geometrische Ladung  $\mu$ .

Daraus folgt, dass der positiv geladene Kern *immer* im Bereich der komplexen Metrik liegt.

### ***5.10. Interpretation: Was ist eine Elektronenhülle?***

*Was ist die "Elektronenhülle" eines Atoms?*

Diese Frage wurde schon im ersten Teil beantwortet. Die Antwort wurde in diesem Teil vervollständigt und präzisiert. Sie lautet wie folgt:

*Die Elektronenhülle eines Atoms mit der Kernladungszahl  $Z$  ist ein stationärer Schwingungszustand eines Raumbereichs, in dessen Mittelpunkt  $O$  sich die (positive) geometrische Ladung  $Z\mu$  befindet. Diese Ladung erzeugt ein Feld, das durch einen rotierenden metrischen Fluss und eine metrische Änderung der Umfänge von Kreisen um  $O$  definiert ist. Das Feld bildet die notwendige Bedingung für den stationären Schwingungszustand "Elektronenhülle". Die Hülle ist vollständig, wenn ihre (negative) geometrische Gesamtladung  $-Z\mu$  beträgt. Dann heben sich die Quadrate des mit der negativen Ladung der Hülle verbundenen imaginären metrischen Flusses und des mit der positiven Ladung des Kerns verbundenen reellen metrischen Flusses sowie die metrischen Änderungen der Umfänge gegenseitig auf. Das Atom ist dann neutral.*

Die Elektronenhülle als stationären Schwingungszustand eines Raumbereichs aufzufassen war im ersten Teil die Basis für die Erklärung der *Reduktion der Wellenfunktion* und für deren Beschreibung als gewöhnlichen physikalischen Prozess. (Teil 1, 3.6.: Die Reduktion der Wellenfunktion.)

Diese Hypothese, deren Stärke zunächst darin lag, dass sie eine konsistente lokale und objektive Interpretation der Quantentheorie ermöglichte, hat sich nun zweifach bestätigt: Einerseits dadurch, dass es gelungen ist, den Entwurf eines beträchtlichen Teils der physikalischen Wirklichkeit allein durch die Größen metrische Dichte und metrischer Fluss zu erstellen, woraus offensichtlich folgt, dass lokal begrenzte physikalische Phänomene ("Teilchen") nichts anderes sein *können* als stationäre Zustände der Änderungen dieser beiden Größen, und andererseits dadurch, dass wir etliche bekannte atomare Tatsachen zum Teil genau, zum Teil zumindest näherungsweise unter der Voraussetzung abgeleitet haben, dass Elektronenhüllen *tatsächlich* Wellenzustände sind *und sonst nichts*.

Damit kommen wir zur nächsten Frage: *Welche Art von Wellen sind Elektronenhüllen?*

Sie sind hier als *Strukturen aus Phasenwellen der Planck-Wellen* konstruiert worden, die durch die Bedingung festgelegt sind, dass sie stehende Wellen bilden. Diese Bedingung tritt zweifach auf: zunächst muss sie im longitudinalen, radialen metrischen Fluss, der durch die geometrische Masse  $m_e$  erzeugt wird, erfüllt sein, und dann im transversalen, rotierenden Fluss der geometrischen Ladung  $Z\mu$ . Erst durch das Zusammenwirken beider Bedingungen entsteht die räumliche Wellenstruktur, die sich uns als Elektronenhülle präsentiert.

Sind die materiellen Objekte tatsächlich Phasenwellenstrukturen? Das würde bedeuten, dass jeder physikalische Prozess *letztlich* auf Veränderungen der Planck-Wellen zurückgeht. Besteht die Möglichkeit, dass es sich hier um ein Artefakt einer zu sehr vereinfachten Darstellung handelt? Ich denke nein. Die Beziehungen, die sich auf dem von uns beschrittenen Weg ergeben haben, sind so spezifisch und so grundlegend, dass es unwahrscheinlich ist, dass sie durch andere Annahmen ebenfalls erklärt werden könnten.

Die nächste Frage ist: *Was schwingt eigentlich?*

Das haben wir schon beantwortet: die Raumzeit selbst. Die in den Wellen auftretende Amplitude ist die Geschwindigkeit des longitudinalen oder des transversalen metrischen Flusses, oder, alternativ, die metrische Dichte der Länge oder des Winkels.<sup>81</sup>

Das Auftreten eines "Elektrons" ist immer mit einer lokalen Zunahme der Winkeldichte verbunden; Im Fall eines "gebundenen Elektrons" ist der Bereich vergrößerter Winkeldichte kugelsymmetrisch, im

---

<sup>81</sup> Unserer Konstruktion zufolge enthält die Phasenwellenstruktur *Elektronenorbital* tatsächlich beide Wellenarten: die zur Gravitation und die zum Elektromagnetismus gehörenden. Sie sind im Orbital aufeinander abgestimmt. Das lässt vermuten, dass sich in den Schwingungszuständen der Elektronenhüllen auch die Information über den Zusammenhang zwischen den Stärken der beiden Wechselwirkungen verbirgt.

Fall eines "freien Elektrons" muss die vergrößerte Winkeldichte mit der Elektron-Welle durch den Raum transportiert werden. Das bedeutet vermutlich, dass die Amplitude der Winkeldichte nicht um den Wert 1 schwingt, sondern um einen Wert größer als 1 – im Gegensatz zu Lichtwellen, wo keine veränderte Winkeldichte transportiert wird und somit der mittlere Wert der Amplitude 1 beträgt.

Die Hypothese, dass die Elektronenhülle ein stationärer Zustand von "normalen" Wellen ist, hat einige wichtige Folgen. Sie sind schon im ersten Teil genannt worden. Ich will sie aber hier kurz wiederholen und auf Basis der zuletzt abgeleiteten Fakten genauer formulieren:

*Ebenso wie "Photonen" sind "Elektronen" Übergänge bzw. Differenzen zwischen verschiedenen, im Feld der Ladung  $Z\mu$  möglichen räumlichen Schwingungszuständen. Der Unterschied besteht darin, dass sich beim "Elektron" genannten Übergang zwischen zwei Schwingungszuständen die geometrische Ladung ändert und beim "Photon" genannten nicht.*

Die Übergänge selbst sind zwar – wie das immer bei stehenden Wellen der Fall ist – unstetig, aber nur in dem trivialen Sinn, dass die Werte der Größen, die die möglichen Zustände charakterisieren, nicht kontinuierlich sind, sondern diskrete Folgen bilden. Die Prozesse, die die Übergänge verursachen, sind jedoch stetig – und auch das ist bei Elektronen nicht anders als bei stehenden Wellen irgendeiner anderen Art. Ein Elektron ist in dieser Hinsicht durchaus einem Intervall vergleichbar, das beim Übergang zwischen zwei verschiedenen Zuständen einer stehenden Luftwelle in einem Rohr auftritt bzw. die Differenz zwischen zwei Tönen darstellt. Völlig ungeeignet ist dagegen die Vorstellung einer undefinierbaren, "Teilchen" genannten Entität, die sich irgendwo "aufhält". (**Was** soll sich irgendwo aufhalten?)<sup>82</sup>

Aus metrisch-dynamischer Sicht ist es also nicht sinnvoll, von der "Zahl der Elektronen" in der Hülle zu sprechen, die dadurch begrenzt ist, dass "kein Elektron" in allen Quantenzahlen mit einem "anderen Elektron" übereinstimmen darf. Es gibt nicht  $2n^2$  Elektronen pro "Schale", sondern  $2n^2$  mögliche Schwingungszustände.

---

<sup>82</sup> Noch einmal die akustische Analogie: Elektronen sind im selben Sinn "Teilchen" bzw. *keine* Teilchen wie eine stehende Luftwelle in einem Rohr aus einer bestimmten Anzahl von Teilchen besteht bzw. *nicht* besteht oder wie der Übergang von einem Oberton in einen benachbarten Oberton einem Teilchen entspricht bzw. *nicht* entspricht. Wer also sagen möchte, dass eine Elektronenhülle aus einer bestimmten Anzahl von Elektronen-Teilchen besteht, der kann diese Benennung natürlich beibehalten – aber konsequenterweise sollte er/sie dann auch sagen, dass der Schwingungszustand der Luft im Rohr, der dem fünften Oberton entspricht, aus fünf Teilchen besteht, und dass der Übergang von einem Oberton in einen benachbarten Oberton durch ein Teilchen verursacht wird. Und vor allem sollte er/sie wissen, dass es sich bei all diesen "Teilchen" nicht um unteilbare substantielle Entitäten handelt, sondern um Gestaltphänomene, die sich unter identischen Randbedingungen stets auf identische Weise neu bilden.

Auch die übliche Interpretation des Amplitudenquadrats der Wellenfunktion als "Aufenthaltswahrscheinlichkeit" eines "Elektrons" wird damit hinfällig, was jedoch kein Verlust ist: es ist ja ohnehin vollständig unmöglich, die Frage zu beantworten, auf *welche physikalische Entität* sich die Aufenthaltswahrscheinlichkeit an einem bestimmten Ort eigentlich beziehen soll. Die Antwort könnte nur lauten: "Auf genau *jene* Entität, die sich mit ebendieser Wahrscheinlichkeit dort aufhält."

Alles, was sich über diese unsinnige Tautologie hinaus sagen lässt, ist, dass die Wahrscheinlichkeitsverteilungen von Ereignissen, die auf der Wechselwirkung mit dem Elektron beruhen, auf die Verteilung der Amplitudenquadrate der Wellenfunktion des Elektrons zurückgeführt werden können.

Dieser Zusammenhang wird aber natürlich auch durch die reine Welleninterpretation ohne den absurden Umweg über die Entität "Teilchen" hergestellt.

Nehmen wir z.B. an, Licht werde an einem Elektron-*Teilchen* gestreut. Dann wird der durchschnittliche Streuwinkel dort groß sein, wo das Amplitudenquadrat groß ist, denn in der üblichen Interpretation bedeutet das, dass sich das Elektron dort mit hoher Wahrscheinlichkeit aufhält.

Dasselbe gilt aber natürlich auch dann, wenn das Elektron als der *ganze räumliche Schwingungszustand* aufgefasst und die Amplitude als *Winkeldichte* interpretiert wird: wo die periodische Änderung des Quadrats der Winkeldichte groß ist, dort wird auch die durchschnittliche Ablenkung der Lichtwelle groß sein.

Und weiter: In der üblichen Interpretation verursacht das gestreute Photon mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit – die wiederum das Quadrat der Amplitude einer Welle ist – einen Übergang, der gemessen werden kann. In der Welleninterpretation summieren sich die Quadrate der Amplituden der gestreuten Lichtwellen, bis es irgendwo zu einem Übergang kommt. Das Resultat ist in beiden Fällen identisch.

Ich kann nur wiederholen, was ich schon im ersten Teil festgestellt habe: Das Elektron als Teilchen aufzufassen führt zu unbehebbar begrifflichen Schwierigkeiten. Die damit zusammenhängenden Absurditäten haben im Grund den Verlust *jeder* Interpretation zur Folge – ein Faktum, das nur dadurch verschleiert wird, dass die gegenwärtig herrschende Kombination aus völliger Begriffslosigkeit sowie formalem und experimentellem *Know-how* noch immer als *Interpretation* bezeichnet wird, obwohl sie diesen Namen nicht verdient.

Ein Zustand, der umso unerfreulicher erscheint, als das Festhalten am Begriff des Teilchens als *unteilbarer substanzieller Entität* tatsächlich vollständig überflüssig ist.



## 5.11. Schluss

Ich schließe damit das Kapitel über Elektromagnetismus und verzichte auf eine Zusammenfassung: alles Wichtige ist schon mehrfach gesagt worden.

Einerseits erscheint es unangebracht und willkürlich, an dieser Stelle abubrechen; es gibt zu viele offene Fragen.

Vor allem fehlt eine Beschreibung der *eigentlichen* elektromagnetischen Wechselwirkung. Allerdings sind die metrisch-dynamischen *Voraussetzungen* der Wechselwirkung geschaffen worden, und es wäre deshalb ganz einfach, die Beschleunigung eines Test-Objekts im elektromagnetischen Feld einer zentralen Ladung durch die Größen des metrisch-dynamischen Modells wie folgt zu definieren: proportional zur zentralen Ladung  $Z_1 \mu$ , zur Ladung des Objekts  $Z_2 \mu$ , zu  $1/r^2$  und zu  $1/m$  des Objekts. ( $\mu > 0$ ,  $Z_1 \in \mathbb{Z}$ ,  $Z_2 \in \mathbb{Z}$ ,  $m$  geometrische Masse. Ich habe die Gleichung am Ende von 6.2 notiert.)

Eine solche Beschreibung wäre aber rein formal und deshalb unbefriedigend: Beim Elektromagnetismus gibt es – im Gegensatz zur Gravitation – keinen beschleunigten Fluss und daher auch keine direkte Beschleunigung; Entweder folgt alles Notwendige aus den Frequenzen, Längen und Phasen der Wellen<sup>83</sup>, oder – und das wäre die attraktivere Variante – das elektrische und magnetische Feld lässt sich direkt aus dem rotierenden Fluss-Feld ableiten. Mir ist beides nicht gelungen.

Andererseits ist es aber durchaus gerechtfertigt, hier abubrechen. Das Hauptziel dieses zweiten Teils meiner Arbeit ist, bekannte Hypothesen allein aus den Größen *metrischer Fluss* und *metrische Dichte* abzuleiten und dadurch zu demonstrieren, dass es möglich ist, das Projekt *Naturphilosophie* nicht von den beobachtbaren Phänomenen, sondern von der anderen Seite – von den metaphysischen Voraussetzungen des Seienden aus – zu beginnen, und dafür wurde auch in diesem Kapitel mehr als genug Material gesammelt.

---

<sup>83</sup> Wenn die Wechselwirkung durch Wellen beschrieben werden soll, dann gibt es zwei Möglichkeiten:

Die erste ist, sie einfach als *Superposition* der Wellen darzustellen. Die aus dieser Superposition resultierenden Geschwindigkeiten sind dann das Ergebnis der Wechselwirkung. Zwei Beispiele einer solchen Darstellung durch Wellenüberlagerung finden sich im ersten Teil der Arbeit in den Abschnitten 3.4. und 3.5. über den Lichtelektrischen und den Compton-Effekt.

Die zweite Möglichkeit ist, die Beschleunigung eines Objekts im Feld auf die *Phasenverschiebungen* der Wellen im Feld zurückzuführen.

## Bemerkungen

1. Die Überlegungen dieses Kapitels haben die Hypothese bestätigt, die im ersten Teil der Arbeit aufgestellt wurde: dass die Quantenmechanik als Theorie verstanden werden muss, durch die stationäre Wellenzustände und deren Übergangswahrscheinlichkeiten beschrieben werden.

Diese stationären Zustände sind Attraktoren der lokalen Dynamik, d.h. es sind die einfachst-möglichen lokalen Schwingungszustände. Deshalb ist auch die Quantenmechanik einfach. Allerdings ist sie deshalb auch nicht fundamental: in ihr sind die fundamentalen Prozesse der Erzeugung, des Übergangs und des Zerfalls solcher Zustände nicht enthalten, sondern werden vorausgesetzt.

Für die Beschreibung dessen, was in atomaren Größenordnungen vor sich geht, ist die Quantenmechanik jedoch bestens geeignet, und es mag sein, dass es niemals gelingen wird, die eigentliche, ursächliche Wellen-Ebene zu formalisieren. Es verhält sich hier genauso wie im Fall von stehenden Luftwellen in Blasinstrumenten: die Beschreibung der Frequenzen der Teiltöne ist einfach, und sie reicht zur Beschreibung dessen, was hörbar (beobachtbar) ist, vollkommen aus. Die Übergangsprozesse aber, die zwischen den verschiedenen Tonereignissen liegen, sind äußerst komplex, niemals vollständig gleich und vielleicht im Prinzip, aber wohl niemals im Detail formalisierbar.

Um jedoch zu *verstehen*, was sich etwa beim Spielen einer Trompete *wirklich* ereignet und warum es geschieht, ist es notwendig, die gesamte Dynamik zu betrachten – und genau dasselbe gilt im Fall der molekularen und atomaren Ereignisse.

2. Dass die übliche Beschreibung der elektromagnetischen Wechselwirkung (und aller anderen Wechselwirkungen) durch "Austauschteilchen" erfolgt, kann aus metrisch-dynamischer Sicht ebenso einfach erklärt werden wie die Tatsache der (scheinbar) un stetigen Übergänge zwischen den beobachtbaren Zuständen von Elektronenhüllen, die als "Photonen" aufgefasst werden.

Dazu wird zusätzlich zur Annahme, dass Photonen nichts anderes sind als diese Übergänge selbst (und keine "Teilchen") noch die Annahme benötigt, dass Geschwindigkeitsänderung immer zugleich Frequenzänderung ist – was im Wellenmodell selbstverständlich ist.

Wenn nun zwei Objekte miteinander wechselwirken, dann muss sich diese Wechselwirkung als Frequenzänderung äußern. Diese Änderung ist zwar – wie immer – stetig, aber beobachtbar ist – wie immer – wiederum nur der un stetige Übergang in einen anderen Gesamtschwingungszustand, der dann gemäß der üblichen Deutung wieder als Folge eines "Teilchens", eben des Austauschteilchens, aufgefasst wird.

3. Die Schwierigkeiten, die die Vereinheitlichung von Gravitation und Elektromagnetismus bereitet, sind aus unserer Sicht darauf zurückzuführen, dass die Theorie der Gravitation (AR) *fundamental* ist und die Theorie des EM *phänomenal*. Folgendermaßen:

Was ist der Grund, warum sich die Frequenzen zweier identischer Teilchen unterscheiden, deren Abstände zu einer Masse verschieden sind? Man könnte zwei Gründe nennen: das unterschiedliche Vergehen der Zeit, und die Energiedifferenz.

Ontologisch betrachtet kann es jedoch für einen einfachen Sachverhalt nur einen einzigen Grund geben. Von unserem Standpunkt aus ist das das unterschiedliche Vergehen der Zeit. Daraus folgt die Verschiedenheit der Frequenzen, und erst durch die *Definition* der Energie proportional zur Frequenz folgt dann die Energiedifferenz.

Was ist nun aber der Grund, warum sich die Frequenzen zweier Elektronen unterscheiden, die sich in verschiedenen Entfernungen vom Atomkern befinden? Aus üblicher Sicht kann es nur die Energiedifferenz sein, da der EM in der unverzerrten, flachen Raumzeit stattfindet und sich daher die Zeit nicht ändert. Falls man aber diesen Standpunkt einnimmt, dann hat man die fundamentale ontologische Differenz zwischen EM und G zur Tatsache erklärt, und die beiden Wechselwirkungen lassen sich nicht mehr oder nur noch auf absurden Umwegen vereinigen.

Diese Schwierigkeit verschwindet bei unserem Zugang. Im metrisch-dynamischen Modell ist auch im Fall der Elektronen der *eigentliche* Grund für die Frequenzdifferenz das unterschiedliche Vergehen der Zeit. Beide Wechselwirkungen sind raum-zeitliche Phänomene, d.h. sie sind Veränderungen der Raumzeit zugeordnet.

Die Wirklichkeit wird nur *aus einem einzigen Gesetz* gewebt, demjenigen, das durch Gleichung (1) beschrieben wird. Dieses Gesetz hat zwei Interpretationen: in der einen wird der longitudinale metrische Fluss mit der metrischen Dichte der Länge verknüpft, in der anderen der transversale metrische Fluss mit der metrischen Dichte des Winkels; die eine Interpretation führt zur Gravitation, die andere zum Elektromagnetismus. Die Phänomene, die gegenwärtig unter den Bezeichnungen Gravitation und Elektromagnetismus zusammengefasst werden, sind daher Zustände und Prozesse, zu denen sich die Wirklichkeit aufgrund des einzigen Gesetzes organisiert.

In diesem Bild sind Gravitation und Elektromagnetismus vereinheitlicht, weil sie demselben Gesetz entstammen. Beide sind auf Raum-Zeit-Dynamik zurückzuführen. Zugleich wird damit aber auch ihre Verschiedenheit klar: Gravitation ist ein Phänomen des longitudinalen Flusses und wirkt direkt durch den beschleunigten Fluss, Elektromagnetismus ist ein Phänomen des transversalen bzw. rotierenden Flusses und wirkt durch Wellen.

# *Zwei Arten geistiger Verwirrtheit*

## **I. Der Ente-Raumschiff-Dualismus**

Was ist das?

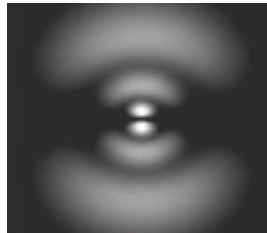


*Eine Ente.*

Wenn nun aber ein Mensch dieses Bild sieht, dessen Verstand dadurch getrübt ist, dass er aus Gründen, die er für absolut sicher und unwiderlegbar hält, zu wissen glaubt, dass das Bild ein Raumschiff darstellt? – Dann wird er die evidente Gestalt nicht leugnen; er wird behaupten, dass es sich um ein Raumschiff in Entengestalt handelt. Wenn das Objekt dann auch noch watschelt und quakt, hat er damit kein Problem. Er behauptet einfach, dass das Raumschiff alle Eigenschaften einer Ente hat.

## **II. Der Welle-Teilchen-Dualismus**

Was ist das?



*Die Verteilung der Amplitudenquadrate des Schwingungszustands einer Kugel mit drei Knotenflächen: eine davon in Form einer Ebene durch den Mittelpunkt und zwei in Form von Kugelflächen.*

Wenn nun aber ein Mensch dieses Bild sieht, dessen Verstand dadurch getrübt ist, dass er aus Gründen, die er für absolut sicher und unwiderlegbar hält, zu wissen glaubt, dass das Bild ein Teilchen darstellt? – Dann wird er die evidente Gestalt nicht leugnen; er wird behaupten, es sei ein Teilchen, dessen Aufenthaltswahrscheinlichkeit genauso verteilt ist wie das Amplitudenquadrat des Schwingungszustands einer Kugel. Wenn das Objekt dann auch noch Frequenz und Wellenlänge hat und interferiert, hat er damit kein Problem. Er behauptet einfach, dass das Teilchen alle Eigenschaften einer Welle hat.



## 6. Ein Universum ohne Masse

### 6.1. Vorbemerkung

Im ersten Teil wurde gezeigt, dass grundlegende Interpretationsprobleme wie Dualismus und Nichtlokalität verschwinden, wenn das *Nebeneinander* von Teilchen und Wellen durch eine *hierarchische* Struktur ersetzt wird, in der der Begriff "Welle" ein *fundamentales Konzept* bezeichnet und der Begriff "Teilchen" ein *abgeleitetes Phänomen*.

Voraussetzung für die Durchführbarkeit dieser Interpretationsänderung ist, dass sich die jeweiligen Messergebnisse aus Welleneigenschaften ableiten lassen – auch solche, für die das Konzept *Teilchen* zunächst unerlässlich scheint. Für den Lichtelektrischen und den Compton-Effekt wurde das direkt bewiesen: die experimentellen Fakten, die sich aus der Wechselwirkung zwischen Elektron und Photon ergeben, konnten aus den Welleneigenschaften allein – ohne auf den Teilchenbegriff oder irgendwelche Teilcheneigenschaften Bezug zu nehmen – abgeleitet werden. Das heißt aber nichts anderes, als dass beim Lichtelektrischen und beim Compton-Effekt die Größen *Wellenlänge* und *Frequenz* als fundamental und die Größen *Impuls* und *Energie* als abgeleitet gelten können.

Im zweiten Teil ist die Naturbeschreibung durch die ausschließliche Verwendung der Größen *metrische Dichte* und *metrischer Fluss* so weit durchgeführt worden, dass es nun ganz allgemein möglich ist, die Größen Energie, Masse, Impuls, Drehimpuls, Wirkung usw. auf der Basis metrisch-dynamischer Begriffe und Zusammenhänge zu definieren.

Wie kann diese Definition durchgeführt werden? Kehren wir zur Klärung dieser Frage kurz in den ersten Teil der Arbeit zurück – zum Abschnitt über den Lichtelektrischen Effekt. Die Gleichung für die Geschwindigkeit  $v$  der austretenden Elektronen

$$v_L = v_{e_0} \frac{v^2}{2c^2}$$

ist dort allein aus der Annahme abgeleitet worden, dass Elektronen und Photonen *Wellen* sind, und dass die Wechselwirkung als Superposition dieser Wellen aufzufassen ist. Die Multiplikation mit  $h$  ergab dann

$$h\nu_L = h\nu_{e_0} \frac{v^2}{2c^2} = m_e c^2 \frac{v^2}{2c^2} = \frac{m_e v^2}{2}$$

Der Begriff *Energie* war zur Ermittlung der Geschwindigkeit  $v$  nicht erforderlich. Die Definition einer Energie genannten Größe

$$E = h\nu$$

hat hier also nur den Zweck, auf die übliche (post-mechanische) Sichtweise überzugehen.

Soweit die Ausführungen im Abschnitt über den Lichtelektrischen Effekt. Sie waren allerdings in zweifacher Hinsicht unvollständig: *Erstens* musste die Identität

$$h\nu = mc^2$$

vorausgesetzt werden. Diese Unvollständigkeit wurde im zweiten Teil durch die metrisch-dynamische Begründung von Gleichung (41') im Kapitel 4

$$m c = \lambda_{pl}^2 \nu_m$$

beseitigt. (Die fundamentale Länge  $\lambda_{pl}$  tritt an die Stelle des Wirkungsquantums.)

*Zweitens* enthält aber die Definition  $E = h\nu$  selbst eine undefinierte Größe, und zwar die *Einheit der Masse*, da das Wirkungsquantum  $h$  die Dimension [Kilogramm Meter<sup>2</sup> Sekunde<sup>-1</sup>] hat.

Der Beseitigung dieser grundlegenden Unvollständigkeit werden wir uns jetzt zuwenden.

## ***6.2. Die Beziehung zwischen metrisch-dynamischer Physik und Standardphysik***

Zunächst scheint es, als wären wir auf ein unlösbares Problem gestoßen, weil der Begriff der *in Kilogramm gemessenen Masse* nicht bloß undefiniert ist, sondern im metrisch-dynamischen Universum überhaupt *undefinierbar* erscheint. Tatsächlich gibt es aber eine überraschende und einfache Lösung – so naheliegend, dass sie dem in abstrakte Weiten schweifenden Blick verborgen bleiben könnte:

**Die in Kilogramm gemessene Masse  $M$  ist durch die in Metern gemessene geometrische Masse  $m$  zu ersetzen – und zwar in allen physikalischen Definitionen und Gleichungen.**

Dieser Akt mag seltsam erscheinen, ist aber eigentlich selbstverständlich: da Gravitation und Elektromagnetismus geometrisiert sind – in dem Sinn, dass beide als *metrische Defekte* definiert wurden, wobei Masse einer *Änderung des Längenmaßes* entspricht und Ladung einer *Änderung des Winkelmaßes* –, ist der Begriff einer Masse, die einer *selbständigen, von Länge und Zeit unabhängigen Maßeinheit* bedarf, entbehrlich, und dasselbe gilt für den Begriff der Ladung. (Ich werde hier aber nur auf die Änderung eingehen, die sich durch die Elimination der Masse im Bereich der Mechanik ergeben.)

Das ganze formale System der Physik bleibt dann in *einer* Hinsicht gleich: alle Gleichungen gehen in formal identische Gleichungen über; In einer anderen Hinsicht aber wird es zugleich vollständig umgewandelt: bei allen Gleichungen, die die Größe *Masse* beinhalten, ändert sich die Dimension dadurch, dass [Kilogramm] durch [Meter] ersetzt wird. *Das Set elementarer Maßeinheiten wird reduziert.*

Ich will hier nur kurz demonstrieren, wie das vor sich geht: (Im Folgenden sind alle metrisch-dynamischen Größen durch \* gekennzeichnet.)

Beginnen wir mit Newtons Gleichung Kraft = Masse mal Beschleunigung:

$$F = Ma \quad \text{oder, in differenzieller Schreibweise: } F = d(Mv)/dt$$

Daraus wird  $F^* = M^* a$  bzw.  $F^* = d(M^* v)/dt$  (für die geometrische Masse steht hier  $M^*$  statt wie bisher  $m$ .  $M^*$  hat also die Dimension Länge)

Einige Beispiele für die Änderungen physikalischer Größen:

	Dimension der <i>mechanischen</i> Größe:	Dimension der <i>metrisch-dynamischen</i> Größe:
<i>Kraft:</i>	$\dim F = \text{kg m s}^{-2}$ ,	$\dim F^* = \text{m}^2 \text{s}^{-2}$
<i>Energie:</i>	$\dim E = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$	$\dim E^* = \text{m}^3 \text{s}^{-2}$
<i>Wirkung:</i>	$\dim W = \text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$	$\dim W^* = \text{m}^3 \text{s}^{-1}$ usw.



Es gilt 
$$M^* = M \frac{G}{c^2}$$

Daraus folgt, dass das metrisch-dynamische Wirkungsquantum  $h^*$  zum üblichen Wirkungsquantum  $h$  in folgender Beziehung steht:

$$h^* = h \frac{G}{c^2} \quad (\dim h^* = m^3 s^{-1}) \quad (73)$$

Dann folgt aus  $E = h \nu$

$$E^* = h \frac{G}{c^2} \nu$$

$$E^* = h^* \nu \quad (74)$$

Für die fundamentale Länge  $\lambda_{pl}$  gilt:

$$\lambda_{pl}^2 = \frac{hG}{c^3} = h \frac{G}{c^2} \frac{1}{c} = h^* \frac{1}{c} \quad (75)$$

Das *metrisch-dynamische Wirkungsquantum*  $h^*$  ist also gleich dem Quadrat der Elementarlänge mal der Lichtgeschwindigkeit:

$$h^* = \lambda_{pl}^2 c \quad (75')$$

Damit nehmen einige der in dieser Arbeit abgeleiteten Gleichungen die übliche Form an. Z.B. wird aus Gleichung (70) für das metrisch-dynamische Analogon zum quantenmechanischen Drehimpuls

$$L_{md} = l \tilde{\lambda}_{pl}^2$$

die Gleichung  $L_{md} = L^* = l h^*$

(Hier ist berücksichtigt, dass in der Ableitung von Gleichung (70)  $\nu$  für  $v/c$  steht.)

Gleichung (41'):  $M^* c = \lambda_{pl}^2 \nu$

wird zu  $M^* c = h^* \frac{1}{c} \nu$

Also ist  $M^* c^2 = h^* \nu = E^*$

und damit erscheint diese wichtige Beziehung – die im Kapitel 4 auf metrisch-dynamische Weise abgeleitet worden ist – hier ebenfalls in der bekannten Gestalt.

Zuletzt eine Bemerkung zur Gravitationskonstante  $G$ . Es gilt

$$G = G^* \frac{G}{c^2}$$

Daher ist  $G^* = c^2$  (76)

Das bedeutet: *die Gravitationskonstante  $G$  verliert ihre Bedeutung als eigenständige Naturkonstante.*

Die Newtonsche Näherung

$$F = G \frac{M_1 M_2}{r^2}$$

geht über in  $F^* = c^2 \frac{m_1 m_2}{r^2}$  (77)

(Analog dazu geht das Coulombsche Gesetz

$$F_E = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

das die Kraft zwischen zwei Ladungen  $Q_1$  und  $Q_2$  im Abstand  $r$  beschreibt, über in

$$F_E^* = \beta c^2 \frac{Z_1 \mu Z_2 \mu}{r^2} \quad (\mu > 0, Z_1, Z_2 \in \mathbb{Z}, \beta \in \mathbb{R}, \beta \text{ ist eine Konstante}^{84} )$$

Mit diesem einfachen formalen Akt – der Ersetzung der in Kilogramm gemessenen Masse  $M$  durch die in Metern gemessene Masse  $M^*$  (bzw.  $m$ ) – ist die Umstellung auf ein metrisch-dynamisches Beschreibungssystem vollzogen. Jetzt kann mit Recht behauptet werden, dass nur die Begriffe *metrische Dichte* und *metrischer Fluss* fundamental sind und *alle anderen physikalischen Begriffe* abgeleitet.

Das ganze physikalische System bleibt auf diese Weise formal unverändert weiter bestehen. Alle Gleichungen, alle Prinzipien – wie etwa das *Prinzip der kleinsten Wirkung* – behalten ihre Gültigkeit. (Es wäre ja auch völlig absurd, wenn das nicht der Fall wäre.)

Dennoch hat sich das Verständnis der Natur auf grundlegende Weise geändert.

(Gemäß unserer Definition der elektrischen Elementarladung  $\mu$  ändert sich die Dimension der elektrischen Ladung  $Q$  wie folgt:

$$\dim Q = \text{kg}^{1/2} \text{m}^{3/2} \text{s}^{-1} \rightarrow \dim Q^* = \dim \mu = \text{m}$$

Die Zuordnung der Dimension Länge zur elektrischen Ladung ergibt sich aus der metrisch-dynamischen Sicht der Wechselwirkung und lässt die Analogie zur Gravitation hervortreten. Die anderen elektromagnetischen Größen müssen angepasst werden.)

### 6.3. Über die Verständlichkeit physikalischer Begriffe und Zusammenhänge

"Es ist wichtig, einzusehen, dass wir in der heutigen Physik nicht wissen, was *Energie* ist."<sup>85</sup>

Woran liegt es, dass physikalische Begriffe nicht über die mathematische Definition hinaus verstanden werden können?

Um diese Frage beantworten zu können, ist es zunächst notwendig, zwischen *Grundbegriffen* und *abgeleiteten* Begriffen zu unterscheiden. In keinem Beschreibungssystem – sei es nun mathematisch,

<sup>84</sup> Vermutlich gilt  $\beta = m_e / \mu$  ( $m_e$  geometrische Masse des Elektrons). Ich habe das nicht weiter verfolgt.

<sup>85</sup> Richard Feynman, *Vorlesungen über Physik*, Band I, Kap. 4-1, Seite 4-2, Oldenburg, 1972, 2. Auflage.

physikalisch oder sprachlich – könnte gefordert werden, dass abgeleitete Begriffe, die in Sätzen erscheinen, die das Ergebnis von Ketten von Schlussfolgerungen bilden, *unmittelbar* einsichtig sind. Für deren Verständnis ist es immer notwendig, den logischen Weg bis zu den Grundbegriffen zurück nachzuvollziehen.

Daher kann bloß gefordert werden, dass die *Grundbegriffe* unmittelbar verständlich sind.

Ähnliches gilt für die Zusammenhänge, die zwischen den Begriffen (Größen) eines Beschreibungssystems auftreten. Auch hier gibt es *elementare* und *abgeleitete* Zusammenhänge, und es ist wiederum bloß die unmittelbare Verständlichkeit der fundamentalen Zusammenhänge zu fordern – und natürlich die der Schlussfolgerungen, die zu den abgeleiteten Zusammenhängen führen.

Was sind die Grundbegriffe eines physikalischen Beschreibungssystems?

In der Standardphysik sind es *Länge*, *Zeit* und *Masse*. Was kann über diese Begriffe gesagt werden?

Zum Begriff Länge: Es besteht kein Zweifel, dass der Begriff *Länge* unmittelbar einsichtig ist.

Zum Begriff Zeit: Der Begriff Zeit ist hingegen nicht direkt zugänglich. Dieses Problem ist aber, wie schon im ersten Teil festgestellt, leicht dadurch zu lösen, dass nicht *Zeit*, sondern *Bewegung* als Grundbegriff aufgefasst wird, und *Zeit* aus Bewegung und Länge abgeleitet. Das ist genau dann möglich, wenn es eine fundamentale Bewegung gibt, auf die jede Bewegung bezogen werden kann. Die Bewegung des Lichts erfüllt offensichtlich diese Voraussetzung. Formal ändert sich bei der Ersetzung von Zeit durch Bewegung als Grundbegriff nichts, aber es wird dadurch eine erkenntnistheoretische Unklarheit beseitigt.

Also ist *Länge* unmittelbar verständlich, und *Zeit* durch die Rückführung auf *Bewegung* und *Länge*. Gäbe es nur diese beiden Grundbegriffe, dann wären alle Grundbegriffe einsichtig.

Somit ist der Begriff *Masse* verantwortlich dafür, dass abgeleitete physikalische Begriffe und Relationen unverständlich erscheinen. Tatsächlich zeigt eine kritische Prüfung sofort, dass dieser Begriff sich zwar auf einen Sachverhalt aus dem Bereich unserer alltäglichen Erfahrung stützt, dass er sich aber "auflöst", wenn man versucht, ihn als *Objekteigenschaft* zu verstehen. Fragt man, was die Masse eines Objekts *eigentlich* sei, dann sieht man sich außerstande, darauf eine Antwort zu geben, die über Messvorschriften hinausgeht.

Es besteht ein enger Zusammenhang mit der Problematik des Begriffs *Objekt*, falls dieser etwas bezeichnet, was *elementar* sein soll. Es ist dann unmöglich zu beantworten, *was* dieses elementare

Objekt ist und *woraus* es besteht. Der Begriff *Masse* ist aber mit diesen Fragen verbunden, und die Widersprüchlichkeit des Begriffs des elementaren substanzialen Objekts überträgt sich daher auf die als elementar vorgestellte Eigenschaft *Masse* eines solchen Objekts (wobei *elementar* bedeutet: auf nichts anderes reduzierbar).

Die geometrische Masse ist hingegen frei von diesem Widerspruch. Sie ist nicht einfach eine Eigenschaft eines Objekts, die diesem bloß *per definitionem* angeheftet worden ist, sondern – als metrischer Defekt – ein konstituierendes Element dieses Objekts, das heißt eine Eigenschaft, die zu dessen metrisch-dynamischer Beschaffenheit gehört und aus der die Wirkungen, die von dem Objekt ausgehen, abgeleitet und verstanden werden können. Ebenso wie der Begriff *Objekt* ist auch der Begriff *geometrische Masse* ein abgeleiteter Begriff und kein Grundbegriff.

Nun zu den physikalischen Zusammenhängen bzw. Gesetzen. Auch hier ist, wie zuvor festgestellt, genau wie bei den Begriffen zwischen fundamentalen und abgeleiteten Gesetzen zu unterscheiden. Und auch hier kann bloß gefordert werden, dass die elementaren Zusammenhänge unmittelbar einsichtig sind.

Die Standardphysik beginnt mit der Newtonschen Gleichung:

$$\mathbf{F} = M \mathbf{a}$$

Nach dem soeben Gesagten führt schon dieser erste Schritt aus dem Bereich des Verstehbaren hinaus: die Gleichung enthält den unzugänglichen und zu ontologischen Widersprüchen führenden Grundbegriff *Masse* und den abgeleiteten Begriff *Kraft*, der die Dimension Kilogramm beinhaltet, wodurch sich die Problematik des Begriffs *Masse* auf den Begriff *Kraft* überträgt. Dasselbe gilt natürlich für alle weiteren Gleichungen, in denen ein Begriff auftritt, der die Dimension Kilogramm enthält.

Die metrisch-dynamische Physik beginnt mit der Gleichung:

$$\frac{d\sigma}{dr} = \pm \frac{1}{c^2} \frac{dv}{dt}$$

Sie enthält die Variablen *metrische Dichte*  $\sigma$  und *Flussgeschwindigkeit*  $v$ . Beide sind intuitiv verständlich. Der durch die Gleichung ausgedrückte Zusammenhang zwischen den beiden Variablen folgt direkt aus der Analyse des *Ursprungs des Seienden*.

Die Gleichung ist die Basis der metrisch-dynamischen Physik. Sie stellt den *einzigsten* fundamentalen metrisch-dynamischen Zusammenhang dar.

Zusammengefasst kann also behauptet werden:

Die Standardphysik enthält den Begriff der mechanischen, in Kilogramm gemessenen Masse. Dieser ist als Grundbegriff ungeeignet und überflüssig. Seine Unverständlichkeit und ontologische Widersprüchlichkeit überträgt sich auf das ganze System der Standardphysik.

Dieser Massenbegriff ist mit dem Begriff der *materiellen Substanz* und dadurch mit der Vorstellung von *elementaren Objekten (Teilchen)* verknüpft, die mit sich stets *substanziell identisch* sind; – eine Vorstellung, die – wie im ersten Teil gezeigt wurde – schließlich zu absurden Begriffsbildungen wie *Nichtlokalität* oder *Reduktion der Wellenfunktion* führt. Die Folge ist ein vollständiger Verlust der Wirklichkeit.

Die metrisch-dynamische Physik vermeidet diese Schwierigkeiten. Die einzigen beiden Grundgrößen sind *Länge* und *Bewegung*, die einzigen Maßeinheiten somit Meter und Sekunde. *Masse* ist ein abgeleiteter Begriff. Als solcher ist er einsichtig, und das gilt ebenso für alle anderen abgeleiteten Begriffe.

Von *vollständiger Verstehbarkeit* der Wirklichkeit kann allerdings erst dann die Rede sein, wenn alle Begriffe und Zusammenhänge auf metrisch-dynamische Weise erklärt sind. Davon sind wir noch weit entfernt.

Aber immerhin haben wir ein nicht unbeträchtliches Stück des Wegs dorthin zurückgelegt.

## 7. Bemerkungen, Fragen

Bis auf eine kurze Anmerkung zur Kosmologie, die den Schluss des zweiten Teils bilden wird, ist nun – soweit es um physikalische Fragen geht – im Wesentlichen alles gesagt, was ich zu sagen habe.

Dieses Kapitel bildet daher nur eine Ergänzung, eine lose Zusammenstellung von Anmerkungen, die mir aus verschiedenen Gründen einer Erwähnung wert scheinen.

### Die vier Wechselwirkungen

Gravitation wurde als der Bereich von Gesetzen bestimmt, die sich daraus ergeben, dass die im Anfangsgesetz auftretende Größe  $\sigma$  als metrische Dichte der Länge interpretiert wird, Elektromagnetismus als der Bereich von Gesetzen, die aus der Interpretation von  $\sigma$  als metrische Dichte des Winkels folgen. Da es aber außer Längen und Winkeln nichts gibt, scheint das Problem aufzutauchen, dass für weitere Wechselwirkungen kein Platz mehr ist. Das trifft jedoch aus zwei Gründen nicht zu:

1. Beim Atomaufbau wurden nicht alle Möglichkeiten ausgeschöpft. Die Bedingung stehender Wellen wurde nur zur Bestimmung von Strukturen im Außenraum eingesetzt. Sie kann jedoch auch *nach innen* angewendet werden: das Schalenmodell des Atomkerns lässt sich analog zum Schalenmodell der Elektronenhülle rekonstruieren, wenn man das geometrische Verfahren, das hier auf die Größen geometrische Ladung  $Z\mu$  und Compton-Wellenlänge des Elektrons  $\lambda_{Ce}$  angewendet wurde, einfach auf die Größen  $Z\mu$  und Compton-Wellenlänge des Protons  $\lambda_{Cp}$  überträgt. Dadurch entsteht eine Struktur *innerhalb* des Kerns. Diese Tatsache sowie die enge Verwandtschaft von Elektromagnetismus und schwacher Wechselwirkung im Standardmodell führen zu der Vermutung, dass die schwache Wechselwirkung sich aus der Flussrotation auf ähnliche Weise ableiten lässt wie der Elektromagnetismus.

2. Hier sind nur die einfachsten linearen Gesetzmäßigkeiten berücksichtigt worden. Wenn es sich aber, wie im metrisch-dynamischen Modell angenommen wird, bei den Wellen der Quantentheorie um wirklich existierende Wellen handelt, dann muss irgendwo – d.h. bei einer bestimmten Größenordnung – eine Grenze der Linearität erreicht sein. Es liegt nahe anzunehmen, dass das bei der Größenordnung der Atomkerne der Fall ist. Falls das zutrifft, dann ist die starke Wechselwirkung vermutlich ein nichtlineares Phänomen des transversalen Flusses.

Ob es auch nichtlineare Phänomene des gravitativen, longitudinalen Flusses gibt, bleibt offen.

Zur starken Wechselwirkung ist außerdem Folgendes anzumerken: Im metrisch-dynamischen Modell des Universums kann die derzeitige Beschreibung dieser Wechselwirkung nicht den gleichen Rang beanspruchen wie die Beschreibung der Gravitation. Vielmehr ist es eine Näherung, vergleichbar etwa der Beschreibung der Planetenbahnen durch ein Epizykelsystem. Um dies zu begründen, erinnere ich an die Bemerkungen über die starke Wechselwirkung am Schluss des ersten Teils:

Einerseits können Quarks, die Träger der Farbladungen, nicht voneinander getrennt werden, weil die starke Wechselwirkung nicht mit der Entfernung abnimmt.

Andererseits werden in einem Neutroneninterferometer einzelne Neutronen geteilt.

In der Standardinterpretation ist das "kein Problem", weil es sich ja bei den beiden Strahlen, in die das Neutron aufgespalten wird, nicht um etwas Existierendes handelt, sondern nur um ein mathematisches Hilfsmittel: die Wellengleichungen beziehen sich nicht etwa auf wirkliche Wellen – ihre Amplitudenquadrate stellen bloß Wahrscheinlichkeiten von Messergebnissen dar.

Von dem hier eingenommenen Standpunkt aus ist es aber keine mögliche Interpretation, einem Phänomen, das nicht bloß einer Wellengleichung entspricht, sondern tatsächlich *interferiert*, Existenz abzusprechen, sondern Unsinn. Aus der Tatsache der Interferenz folgt zwingend, dass die Neutronenstrahlen nicht bloß mathematische Hilfsmittel sind, sondern wirklich existierende Wellen. Also wird das "Neutron" genannte Phänomen wirklich geteilt.

Zu dieser Tatsache steht aber das Modell der starken Wechselwirkung im Widerspruch, dem zufolge das Neutron aus drei Quarks besteht, die nicht voneinander getrennt werden können.

Das bedeutet, dass die übliche Beschreibung der starken Wechselwirkung nur eine Näherung ist, die die Verhältnisse zwar quantitativ angenähert wiedergibt, aber dem, was *wirklich existiert*, nicht entspricht – etwa so, wie ein Epizykelsystem die Planetenbahnen mit beliebiger Genauigkeit wiedergeben kann, obwohl seine Parameter keinen existierenden Größen entsprechen, oder wie Newtons Beschreibung der Gravitation eine für viele Fälle ausreichende Näherung darstellt, aber doch in ihren Grundbegriffen die Wirklichkeit vollständig verfehlt.

Was ist mit der Vorhersagekraft der derzeit akzeptierten Beschreibung der "starken Wechselwirkung"? Sie stellt zweifellos ein Argument dar, das für die gegenwärtige Deutung der starken Wechselwirkung spricht – wenn auch kein sehr aussagekräftiges: vermutlich ist fast jede Beschreibung, die allgemeine Parameter enthält und einige Phänomene näherungsweise wiedergibt, zu weiteren annähernd richtigen Voraussagen fähig.



## Von beiden Seiten

Wenn man den Weg der Naturbeschreibung von *dieser* – der *dinglichen* – Seite her beginnt, dann scheinen die anfänglichen Begriffsbildungen selbstverständlich (Teilchen, Kraft usw.). Schließlich erweist sich aber diese Selbstverständlichkeit als Täuschung; der ursprüngliche Inhalt der Begriffe verschwindet. Das Versagen der Interpretation bei der Begegnung mit Quantenobjekten ist unvermeidlich. Die Modelle, von denen man ausging, bieten keine Verständnismöglichkeit mehr. Absurde Begriffsbildungen sind die Folge.

Die Objekte der Quantentheorie sind nicht als real existierend im üblichen Sinn interpretierbar. Das hat zur Folge, dass im 20. Jahrhundert die Interpretation der Sachverhalte selbst aufgegeben wird und an ihre Stelle die Interpretation unseres Unverständnisses tritt. Die Paradigmen erklären nicht mehr das Geschehen, sondern demonstrieren stattdessen die Unmöglichkeit, zu begreifen, was eigentlich geschieht. Die eigentliche Interpretation verschwindet bzw. sinkt auf die Stufe einer bloßen Bedienungsanleitung für eine *Black Box* herab.

Dies ist deshalb problematisch, weil Naturwissenschaft nur als Wechselspiel von Interpretation und Mathematik funktioniert. In der Grundlagenphysik entspringen die kreativen Akte, die zur Weiterentwicklung beitragen, in vielen Fällen in Interpretationsänderungen. Erst im zweiten Schritt, wenn der kreative Akt in eine formale Beschreibung mündet, übernimmt wieder Mathematik die Führung. Interpretationslose Grundlagenphysik ist – wie die Erfahrung der vergangenen Jahrzehnte lehrt – unvollständig und unfruchtbar. Ohne interpretative Führung gerät die Forschung auf Irrwege.

Wenn man den Weg der Naturbeschreibung von der *anderen* – der *abstrakten* – Seite her beginnt, ergibt sich ein völlig anderes Bild. Dem Prinzip der Notwendigkeit folgend wird man zu Objekten geführt, die genau die Differenzen zu "normalen" Objekten aufweisen, wie die Quantentheorie sie vorschreibt. Dennoch sind es diese Objekte – und *nur* diese Objekte – die wir eigentlich verstehen können, in dem Sinn, dass sie aus den als notwendig erkannten Voraussetzungen der Existenz ableitbar und metrisch-dynamischer Natur sind. Genau jene Elemente physikalischer Erfahrung, die eine realistische Interpretation für immer auszuschließen schienen – imaginäre Dimensionen, Quantisierung, Unschärfe, Drehungen in jeder Ebene usw. – erweisen sich als notwendige und geometrisch verständliche Konsequenzen des Aufbaus der Physik auf den metaphysischen Voraussetzungen des Seienden.

Es mag zur Übersichtlichkeit beitragen, sich folgende Einteilung vorzustellen:

Es gibt zwei Bereiche. Der eine ist der Bereich gegenständlicher Objekte. Bei dem Versuch, deren Existenz mit Begriffen und Methoden zu begründen, die diesem Bereich selbst entstammen, gerät man an dessen Grenze – die "Objekthaftigkeit" der Gegenstände löst sich auf. Der andere ist der Bereich abstrakter Prinzipien. Hier gibt es keine Objekte. Objekte müssen erst konstruiert werden – als Muster der Veränderung der Bewegung von AGENS.

In diesem Bild ist die Quantentheorie als Schnittstelle zwischen den beiden Bereichen aufzufassen: an dieser Schnittstelle erweisen sich die aus reiner Notwendigkeit abgeleiteten Objekte als identisch mit jenen, die sich als letzter Schritt auf dem Weg der fortschreitenden Abstraktion von Erfahrungen in der dinglichen Welt ergeben. Von dieser Abstraktion her können sie nicht mehr verstanden werden, wohl aber von der anderen Seite: von dort aus erscheinen sie notwendig und geometrisch einsichtig.

### **Was sind materielle Objekte?**

Unsere Untersuchungen legen folgende Hypothese nahe:

Materielle Strukturen sind Interferenzphänomene, lokalisierte Muster aus Phasenwellen der Planckwellen, quantisiert durch die Bedingung, dass sie im radialen und tangentialen Fluss stehende Wellen bilden. Die kausalen Beziehungen, auf denen diese Muster beruhen und die ihre Interaktionen bestimmen, liegen nicht in ihnen selbst, sondern im Hintergrund aus Planckwellen und Flüssen.

Die lokalisierten Muster können sich in die Wellen auflösen, aus denen sie aufgebaut sind. Sie bilden sich – als identische Muster über identischem Hintergrund – an anderer Stelle wieder neu. Es sind aber nicht in dem Sinn *dieselben* Muster, wie das bei der Teilchenvorstellung der Fall wäre: der Anteil von Wellen, der tatsächlich von dem ursprünglichen, dann aufgelösten Muster stammt, kann gegenüber dem Anteil, der von anderen gleichartigen – d.h. formal identischen – Mustern stammt, verschwindend gering sein.

### **Ein Grundprinzip physikalischer Erkenntnis**

Ich nütze die Freiheit, die mir die thematische Ungebundenheit dieses Kapitels lässt, um einen Gedanken über physikalische Erkenntnis zu skizzieren, den ich zwar für wichtig halte, aber bis jetzt unerwähnt ließ, weil mir seine Entfernung vom gegenwärtigen Denkstil noch größer erscheint als die der bislang geäußerten Schlussfolgerungen.

Für das grundlegende Prinzip physikalischer Erkenntnis halte ich *konzeptionelle und begriffliche Widerspruchsfreiheit*. (Ich werde gleich an Beispielen verdeutlichen, was ich damit meine.) Mein Vertrauen in dieses Prinzip geht so weit, dass ich sogar meine, dass es für sich allein schon ausreicht, um zur wahren Beschreibung der Wirklichkeit zu gelangen – und ich denke, dass der bisherige Verlauf meiner Argumentationen und deren Ergebnisse dieses Vertrauen in einem gewissen Maß rechtfertigen.

Daraus ergibt sich unmittelbar, dass die geeignete Strategie des Fortschreitens physikalischer Erkenntnis ist, solche Widersprüche in vorhandenen Theorien zu finden und zu eliminieren.

Ein Beispiel: Newtons Theorie der Gravitation enthält einen fundamentalen konzeptionellen Widerspruch: eine Kraft, die von einer Masse ausgeht und über den leeren Raum hinweg – ohne irgendeine Art der Vermittlung – an einer anderen Masse angreift. Das ist offensichtlich unmöglich, und daher kann auch der große Erfolg der Newtonschen Theorie nicht darüber hinweg täuschen, dass sie nur eine *phänomenale* Näherung ist, einfach aufgrund des in ihr enthaltenen konzeptionellen Widerspruchs.

Damit ist eindeutig vorgegeben, was eine "bessere" Theorie leisten muss: Sie hat die Fernwirkung durch eine Nahwirkung zu ersetzen, die sich von Punkt zu Punkt fortpflanzt. Genau das ist bei Einsteins Gravitationstheorie der Fall. In ihr ist dieser konzeptionelle Widerspruch beseitigt.

Nun erscheint allerdings ein weiterer Widerspruch, der ebenfalls schon bei der Newtonschen Theorie auftritt und von der Einsteinschen Theorie nicht behoben wird. Er zeigt sich in Gestalt der Unbeantwortbarkeit der "Warum"-Frage:

Masse krümmt die Raumzeit. Warum? Diese Frage kann nicht beantwortet werden. Die Verbindung von Masse und Raumzeit existiert bloß *per definitionem*, nicht anders als die Verbindung von Masse und Anziehungskraft bei Newton.. Das eigentliche Problem ist aber nicht die Unbeantwortbarkeit dieser Frage im Bereich der Beschreibung, sondern die damit zusammenhängende Unmöglichkeit des damit verbundenen Sachverhalts im Bereich der Existenz: Raumzeit ist etwas grundsätzlich anderes als Masse, sie ist von dieser *essentiell* verschieden und hat nichts mit ihr zu schaffen. Die Masse *kann* die Raumzeit daher gar nicht beeinflussen.

Es gilt ganz allgemein Folgendes: ausschließlich Entitäten gleicher Art können einander beeinflussen, und das vermittelnde Element muss ebenfalls gleicher Art sein. Eine Änderung der Raumzeit kann nur durch Raumzeit selbst verursacht und durch Raumzeit selbst vermittelt werden; der Begriff *Masse* muss daher auf Raumzeitänderung zurückgeführt werden.

Daraus folgt bereits, dass alles, was existiert, von derselben Art ist, oder genauer: dass es aus einem einzigen metaphysischen Urgrund hervorgeht, und des Weiteren folgt daraus, dass alle Entitäten und ihre Wechselwirkungen immer metrisch-dynamischer Natur sind, denn nur wenn das der Fall ist – wenn also alles *Raumzeitänderung* ist –, dann erübrigt sich die Einführung von elementaren Wesenheiten wie *Masse* oder *Ladung* oder *Teilchen*, die in keiner ontologischen Verbindung zueinander stehen können und deshalb *unmöglich* sind.

Was damit gemeint ist, wird verständlicher, wenn man den Begriff "Teilchen" untersucht, da dieser in sich einen Widerspruch trägt, der mit dem eben genannten eng zusammenhängt.

Es gibt bei einem Teilchen zwei Möglichkeiten:

a) Das Teilchen ist punktförmig. Dann existiert es nicht und kann somit nicht Träger irgendwelcher Eigenschaften (Ladungen) sein.

b) Das Teilchen ist ausgedehnt. Dann gilt Folgendes: Wenn es elementar ist, muss es strukturlos sein. Dann "existiert" ein ausgedehnter räumlicher Bereich, der per definitionem aus der Zeit herausfällt. Strukturlosigkeit bedeutet: nichts verändert sich. Also gibt es in einem strukturlosen Bereich keine Zeit. Zeit gibt es nur außerhalb; sie reicht bis an seine Grenze, dort verschwindet sie, und erst, wenn wir aus ihm heraustreten, tritt sie wieder in Kraft. Das ist schon für sich allein offensichtlicher Unsinn, aber noch deutlicher durch die Tatsache, dass etwas, was außer der Zeit bzw. ohne Zeit ist, nicht etwas beeinflussen kann, was in der Zeit bzw. zeitbehaftet ist. Deshalb habe ich zuvor den Begriff "existiert" in Anführungszeichen gesetzt: ein ausgedehnter strukturloser Bereich – d.h. ein Elementarteilchen – kann einfach nicht existieren.

Es gibt somit keine "strukturlosen" Elementarteilchen. Ihre Existenz ist widersprüchlich und deshalb unmöglich. Alles, was existiert, muss innere Struktur aufweisen und daher Teil der Raumzeit sein. Die durch das fundamentale Gesetz (1) beschriebenen differenziellen Kausalketten können nicht irgendwo enden, sie müssen überallhin führen. Anders gesagt: Alles, was existiert, muss ein Muster der Veränderung der Raumzeit sein.

Also gelangt man auf ganz kurzem Weg ebenfalls zu genau jener grundsätzlichen Erkenntnis über Existenz, die die Basis der hier vorgestellten physikalischen Beschreibung der Welt bildet.

## 8. Kosmologie

Die metrisch-dynamische Sicht des Universums führt zu einer Kosmologie, die sich von der Standardkosmologie erheblich unterscheidet. Sie soll in diesem Kapitel skizziert werden.

Was zurzeit als Geschichte des Universums erzählt und als gesichertes Wissen ausgegeben wird, ist ja hinlänglich bekannt. Ich kann mir also ersparen darauf einzugehen. Stattdessen will ich Sie etwas fragen:

Nehmen wir an, Sie messen *heute* die Länge Ihres Esstisches. Sie beträgt einen Meter. *Morgen* messen Sie abermals, und zwar mit demselben Maßstab. Diesmal ist das Ergebnis zwei Meter.

Was schließen Sie daraus? Entweder, dass die Größe Ihres Esstisches sich seit gestern verdoppelt hat, oder dass Ihr Maßstab auf die Hälfte geschrumpft ist (– oder dass sich die Größen beider verändert haben, aber diese Variante wollen wir außer Acht lassen). Offensichtlich lassen die beiden Messergebnisse für sich allein keinen Schluss zu, welche von diesen Alternativen die richtige ist. Die Entscheidung darüber ist nur möglich, wenn *weitere Information* verfügbar ist.

Das Gleiche gilt aber auch bezüglich der gemessenen entfernungsabhängigen Rotverschiebung:

Nehmen wir an, wir messen die Wellenlängen von zwei Lichtstrahlen, die von einem bestimmten Element, sagen wir Wasserstoff, aus zwei verschiedenen kosmischen Entfernungen – d.h. zu zwei verschiedenen Zeitpunkten – ausgesendet worden sind. Die Messung erfolgt durch den Vergleich mit der Wellenlänge, durch die unsere Längeneinheit definiert ist.

Offensichtlich gibt es zwei Möglichkeiten, die entfernungsabhängige Rotverschiebung zu interpretieren:

1. Das Universum dehnt sich aus.
2. Das Universum dehnt sich *nicht* aus – stattdessen schrumpfen unsere Maßstäbe, d.h. alle Wellenlängen, die zur Definition der Längeneinheit dienen können, nehmen mit der Zeit ab. (Das gilt natürlich auch für die Wellen, die der Wasserstoff aussendet; ab dem Zeitpunkt der Emission bleiben sie jedoch unverändert.)

Auch hier gilt wieder, dass wir nicht direkt aus der Messung erschließen können, ob 1. oder 2. der Fall ist. Dafür wird zusätzliche Information benötigt. Der "Rest der Umstände" wird uns veranlassen, uns für eine Variante zu entscheiden.

Diese Offenheit der Interpretation der Rotverschiebung ist so augenfällig, dass man sich fragen muss, woher eigentlich die Sicherheit stammt, mit der von Anfang an angenommen wurde, dass das Universum sich ausdehnt, und warum die Alternative niemals ernsthaft in Betracht gezogen wurde – umso mehr, als sich durch die Annahme, die Größe des Universums wäre unveränderlich und die Rotverschiebung sei eine Folge der zeitlichen Verkleinerung der mit materiellen Phänomenen verbundenen Wellenlängen die absurde Behauptung eines sogenannten Urknalls einfach erübrigt hätte.

Es fällt auf, dass im historischen Ablauf überhaupt nicht von einer "Wahl" die Rede sein kann; die Entscheidung stand von vornherein fest, weil die Alternative einfach nicht im Horizont des Denkbaren lag. Das bedeutet, dass hier tiefsitzende unbewusste Vorurteile wirken – solche, die schon vor jedem Denktakt bestehen und ihm vorausgesetzt sind. Es ist auch sofort klar, *welches* Vorurteil die Sicht auf die Alternativmöglichkeit verhindert: die Vorstellung von substanzieller, unveränderlicher Existenz, die in der Physik in der Form von Elementarteilchen und den damit verbundenen Naturkonstanten fortbesteht.

Um unsinnige und absurde Begriffsbildungen aufgeben zu können und zu einer widerspruchsfreien lokalen und objektiven Interpretation zu gelangen, war es schon bei der Erklärung der Relativitätstheorie und der Quantentheorie notwendig, die Vorstellung – nein: das Vorurteil von substanzieller Existenz aufzugeben und durch die Idee der Veränderung zu ersetzen (die sich im zweiten Teil zu reiner, d.h. *subjektloser* Veränderung weiterentwickelt hat). Jetzt, bei der Frage nach der Geschichte des Universums, ereignet sich dasselbe; Wieder ist es erforderlich, die aus der Tiefe apriorischer Vorurteile stammende Idee zu verwerfen, es gäbe etwas, was als unbedingtes, unveränderliches Existierendes gegeben sei. Genau diese Idee ist die Quelle der gegenwärtig vorherrschenden Überzeugung, es gäbe *ein absolutes Maß*, an dem sogar das Universum als Ganzes gemessen werden könnte, und aus dessen Existenz geschlossen werden müsste, dass das Universum sich ausdehnt.

Die beiden alternativen Hypothesen sollen nun kurz diskutiert werden. Formulieren wir sie zunächst genauer:

Hypothese 1: Die Wellenlänge, durch die das Längenmaß definiert ist, ist *absolut*, d.h. zeitlich unveränderlich. Die entfernungsabhängige Rotverschiebung kosmischer Objekte ist eine Folge der wachsenden Größe des Universums.

Hypothese 2: *Alle* Wellenlängen – sowohl diejenigen, die von Objekten im Kosmos ausgesendet werden, als auch diejenigen, durch die ein Längenmaß definiert werden kann – sind *zeitlich veränderlich*. Die entfernungsabhängige Rotverschiebung folgt aus der Tatsache, dass alle diese Wellenlängen in gleichem Maß mit der Zeit abnehmen. Einfach ausgedrückt: die Größe der materiellen Strukturen nimmt ab. Die Annahme einer veränderlichen Größe des Universums erübrigt sich.

Die beiden Hypothesen können auf drei Arten beurteilt werden:

1. Von den Beobachtungen her.
2. Von den Theorien aus, die hier eine Rolle spielen.
3. Auf der Basis grundsätzlicher, philosophischer Überlegungen.

Da Sie mit meiner Art zu denken inzwischen einigermaßen vertraut sind, wissen Sie, dass ich die dritte Art für die wichtigste halte. Ich beginne aber trotzdem mit Punkt 1, weil er im historischen Gang von entscheidender Bedeutung war.

Die Beobachtung, die zur Hypothese des sich ausdehnenden Universums geführt hat, war eben die entfernungsabhängige Rotverschiebung kosmischer Objekte. Sie steht aber nicht nur am Beginn dieser seltsamen Hypothese, sondern bildet auch deren Fundament. Als solches ist sie aber ungeeignet, da sie – wie soeben gezeigt wurde – nicht nur die Annahme des expandierenden Universums stützt, sondern in gleicher Weise auch die Annahme der abnehmenden Wellenlängen.

Die zweite Beobachtung, die zur "Bekehrung" der meisten Physiker geführt hat, war die kosmische Hintergrundstrahlung, die vorausgesagt worden war und als Nachhall des "Urknalls" aufgefasst werden konnte. Wie kann die Hintergrundstrahlung im Rahmen der Alternativhypothese erklärt werden?

Genauso wie bei der Standardhypothese. Was ist überhaupt – abgesehen von der Frage der veränderlichen bzw. unveränderlichen Größe des Universums – der Unterschied zwischen den beiden Hypothesen? Folgender: Bei der Standardhypothese gibt es feststehende Verhältnisse zwischen bestimmten Größen (Naturkonstanten), *zusätzlich* sind aber auch diese Größen selbst feststehend, d.h. sie haben zeitlich unveränderliche, absolute Werte. Bei der Alternativhypothese gibt es ebenfalls feststehende Verhältnisse zwischen bestimmten Größen (Wellenlängen), aber die zusätzliche Annahme absoluter Werte dieser Größen selbst entfällt.

Das ist ein starkes Argument für die Alternativhypothese, denn von zwei Hypothesen, die dasselbe erklären, ist diejenige vorzuziehen, die weniger voraussetzt.

Abgesehen davon, dass sich bei der alternativen Variante alles, was existiert und was sich ereignet, im Lauf der Zeit verkleinert, laufen physikalische Prozesse bei beiden Varianten im Grunde gleich ab. Daraus folgt, dass die beobachteten Phänomene keine Unterscheidung zwischen beiden Varianten ermöglichen.

Ein Beispiel: Die sogenannte kosmologische Zeitdilatation. Nehmen wir an, ein weit von uns entferntes Ereignis A verursache ein Ereignis B. In der Standardkosmologie erscheint der Prozess, der zwischen A und B liegt, im Vergleich mit einem Universum, das sich nicht ausdehnt, verlangsamt – einfach deshalb, weil das Ereignis B weiter von uns entfernt stattfindet, so dass uns die Information darüber später erreicht und der dazwischen liegende Prozess von uns aus gesehen längere Zeit zu benötigen scheint. In der Alternativkosmologie ist die Ursache der Verlangsamung darin zu sehen, dass die Orte der Ereignisse tatsächlich weiter voneinander entfernt liegen.

Heißt das nun, dass die Alternativhypothese einfach eine raumzeitliche Transformation der Kosmologie ist? Keineswegs! Der Kosmos ist im Rahmen der alternativen Kosmologie eine *geschlossene metrische Struktur*, und das bedeutet eine fundamentale Veränderung gegenüber der Standardkosmologie. Z.B. ergibt sich daraus sofort eine Selbstorganisation in Form stehender Wellen. Doch dazu kommen wir später. Zunächst ist festzuhalten, dass die Alternativhypothese auf Basis der metrisch-dynamischen Physik mehr ist als eine bloße Transformation der Kosmologie, weil sie zu einer radikalen Umdeutung der Geschichte des Kosmos führt, und weil der "Rest der Umstände" – der wie oben erläutert, überhaupt erst eine Entscheidung zwischen beiden Hypothesen ermöglicht – sich darin vollständig verändert.

Das Universum ist hier kein Baukasten mehr, in dem mit sich selbst stets identische Entitäten und deren stets gleiche Eigenschaften die Wirklichkeit bilden, sondern eine sich selbst organisierende Struktur, in der alle Entitäten *entstanden* sind. Die Idee eines absoluten Existierenden, die der Annahme eines absoluten Maßes vorausgesetzt ist, hat hier keinen Platz. Es gibt nur Wellen, die Muster bilden und deren Wellenlängen zeitlich veränderlich sind. Das Einzige, was konstant bleibt, sind die Verhältnisse der Wellenlängen untereinander, weil sie sich im Rahmen der Selbstorganisation aufeinander beziehen und daher gesetzmäßig miteinander verbunden sind.

Ein *stationäres* Universum, wie Einstein es sich zunächst vorstellte, wäre allerdings aus verschiedenen Gründen nicht möglich. Einer dieser Gründe ist, dass die Gleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie für das Universum als Ganzes keine zeitlich konstante Größe des Universums zulassen.



Einsteins Versuch, dies durch die Einführung der sogenannten *kosmologischen Konstante* zu ändern, ist bekanntlich gescheitert: Das Universum, das diesen Gleichungen entspricht, ist nicht stabil.

Die Alternativhypothese, derzufolge sich nicht das Universum, sondern alle mit materiellen Phänomenen verbundenen Wellenlängen ändern, beschreibt jedoch kein stationäres Universum: Die Dynamik, die erforderlich ist, um Widersprüche zu vermeiden, wird einfach von der Größe des Universums auf die Größe der materiellen Strukturen übertragen.

Ich komme nun zu dem Argumentationsbereich, der mir für die Entscheidung zwischen den beiden alternativen Hypothesen am Wichtigsten erscheint: dem philosophischen. Hier ist die Situation vollkommen eindeutig. Um es vorweg zu nehmen:

*Eine veränderliche Größe des Universums kann aus metaphysischen Gründen ausgeschlossen werden.*

Die Basis der Argumentation ist, dass der Begriff *Größe* nur im Bereich des *Existierenden* anwendbar ist. Er ist eine Relation zwischen existierenden Objekten bzw. zwischen mit diesen Objekten verbundenen Größen.

Wir sind schon einmal – gleich zu Beginn des Zweiten Teils – einer Wesenheit begegnet, auf die der Begriff *Größe* nicht angewendet werden kann: Der *Ursprung alles Seienden* – das, was weder ist noch nicht ist und in seinem *An-sich-Sein* nicht gedacht werden kann – hat keine Größe. Aus ihm geht all das hervor, was relational ist, er erzeugt die relationale Welt, aber er selbst ist *nicht* relational.

Kehren wir kurz zur Ausgangsgleichung (1) zurück:

$$\frac{d\sigma}{dr} = \pm \frac{1}{c^2} \frac{dv}{dt}$$

Die Tatsache, dass der Ursprung alles Seienden keine Größe hat, äußert sich darin auf dreifache Weise:

1. Es gibt nur *Differenzialquotienten*, d.h. *Änderungen* von Größen. Die Größen selbst treten nicht auf.
2. Die Gleichung ist *linear*. Linearität bedeutet aber Größeninvarianz. Eine Gleichung der Form  $x = y$  geht bei einer Transformation

$$x \Rightarrow qx \quad y \Rightarrow qy$$

wieder in sich selbst über.

3. Damit Gleichung (1) diese einfache lineare Gestalt annehmen konnte, war es notwendig,  $\sigma$  als *metrische* Dichte zu bestimmen. Diese unterscheidet sich von einer "normalen" (eindimensionalen) Dichte  $\rho$  eben dadurch, dass es keinen absoluten Wert gibt, auf den die jeweilige Größe von  $\sigma$  zu beziehen ist, sondern dass immer nur *ein* (einziger) differenzieller Zeitschritt berücksichtigt wird. Anders ausgedrückt: die normale Dichte hat ein Gedächtnis, die metrische Dichte hat kein Gedächtnis.

Das Fehlen eines absoluten Bezugswertes bedeutet aber nichts anderes, als dass es – auf dieser Ebene der Wirklichkeit und ihrer Beschreibung – keine Größe gibt. Wäre  $\sigma$  als normale Dichte aufgefasst worden, dann würde in Gleichung (1) und in Gleichung (1a) der Faktor  $1/\sigma$  auftreten, und die unter 2. beschriebene Größeninvarianz gäbe es dann nicht.

Der Unterschied zeigt sich am einfachsten an folgendem Gedankenexperiment: Wenn man eine Kugel aus einem ideal-elastischen Medium, die in einem stabilen (kräftefreien) Zustand ist, vergrößert oder verkleinert, dann entsteht eine Kraft, die der Veränderung entgegenwirkt.

Bei einer *metrischen* Kugel, bei der nur die metrische Dichte existiert, sind Vergrößerung und Verkleinerung dagegen Operationen, die *überhaupt nichts verändern*. Die Kugel geht dabei in eine identische Kugel über. *Der Begriff der absoluten Größe wird leer bzw. unsinnig.*

(Es ist aber Vorsicht geboten. Aus der Skaleninvarianz von (1) folgt *nicht*, dass eine aus dieser Gleichung hervorgehende physikalische Theorie skaleninvariant ist.)

Am Anfang des Aufbaus der Physik aus Metaphysik steht also die Tatsache, dass es keine Größe gibt.

Dasselbe gilt aber für das Universum *im Ganzen*. Genauso wie der Ursprung alles Seienden kein *Ding mit Eigenschaften* ist, ist auch das Universum als Ganzes kein Ding mit Eigenschaften. *Es ist nicht relational.*

Diese Tatsache offenbart sich ja augenblicklich, wenn man die Frage stellt: *Wogegen* dehnt sich das Universum eigentlich aus? Diese Frage wurde schon oft geäußert, aber bisher hat niemand die Konsequenz daraus gezogen, dass eine Antwort *prinzipiell* nicht möglich ist: die Konsequenz also, dass es sich nicht ausdehnen *kann*, weil der Begriff "Größe" hier nicht anwendbar ist.

Der Grund für diese Unterlassung ist, dass wir das, was wir denken, immer als *Substanz und Akzidens* denken *müssen*. Es war am Anfang unserer Überlegungen unvermeidlich, den *Ursprung alles*

*Seienden* zu verdinglichen: Obwohl er nicht in Substanz und Akzidens zerfällt, mussten wir ihm *Veränderung* als *Eigenschaft* zuschreiben, um ihn überhaupt denken zu können.

Und genauso, wie es unerlässlich war, *das, was weder ist noch nicht ist*, als Ding zu behandeln – einfach deshalb, weil wir nicht anders denken können –, so ist es gedanklich unvermeidlich, das Universum im Ganzen zu verdinglichen. *Eine* Weise der Verdinglichung – zurzeit die bekannteste – ist eben die, ihm eine Größe zuzuschreiben.

Ist das aber nicht schon deshalb gerechtfertigt, weil wir ja das gewählte Längenmaß zur Größe des Universums in Beziehung setzen können?

Keineswegs! Aus metrisch-dynamischer Sicht ist die Möglichkeit, über die Größe des Universums zu verfügen, bloß ein Artefakt der apriorischen Notwendigkeit, alles, was gedacht wird, zu verdinglichen. *An sich* hat das *Universum im Ganzen* keine Größe – genauso wenig wie der *Ursprung alles Seienden*.

Was also ist zu tun, wenn die Größe des Universums in Gleichungen als Funktion der Zeit aufscheint?

Ganz einfach: Da die Anwendung des relationalen, der Dingwelt zugehörigen Begriffs "Größe" auf das Universum als Ganzes unzulässig ist, muss die Größe des Universums unangetastet bleiben – und daraus folgt, dass die zeitliche Änderung dem Maßstab angelastet werden muss.

**Satz:**

***Es gibt keine absolute Größe, nur Größenrelationen.***

***Nicht das Universum dehnt sich aus, sondern alle mit materiellen Phänomenen verbundenen Wellenlängen – und dazu gehören sowohl die, die wir aus dem Kosmos empfangen als auch die, mit denen wir messen – werden kürzer.*** (Ab dem Zeitpunkt der Abstrahlung bleiben sie konstant.)

Diese Hypothese ist ein weiterer wichtiger Baustein für ein Universum, das den Prinzipien der Vernunft entspricht. Auf diese Weise wird die Annahme eines Urknalls vermieden, durch die das wichtigste dieser Prinzipien verletzt wird: das Prinzip der *Vollständigkeit der Wirklichkeit*, welches besagt, dass nichts ist außer der Wirklichkeit und dass daher nichts – kein Modell, keine Theorie – aus der Wirklichkeit hinausführen kann. Wird der Urknall als Anfang verstanden, in dem – wie gegenwärtig oft zu hören ist – *alles*, auch Raum und Zeit, entstanden sein soll, dann ist das im Licht dieses Prinzips ganz einfach unsinnig.

In den letzten Jahren tauchen allerdings vermehrt Spekulationen auf, dass hinter dem Urknall ein weiteres Universum liegt. Diese Urknallvarianten sind der völlig absurden Vorstellung eines Anfangs von Allem vorzuziehen. Insgesamt aber zeigt sich doch eines: genauso, wie sich im Umfeld der "Reduktion der Wellenfunktion" seit Jahrzehnten die skurrilsten Ideen herumtreiben, so wird auch das Urknallszenario mehr und mehr zu einem Tummelplatz der abstrusesten Phantasien, wie etwa der Vorstellung von "Raumzeit-Blasen", die unentwegt neu entstehen und sich zu Universen entwickeln. Hier verwandelt sich Wissenschaft in *Science-Fiction* und schließlich in reine *Fantasy*.

Es ist das Schicksal solch irriger Hypothesen, immer weiter bloß Unsinn zu zeugen. Die betreffenden Szenarien stellen nicht etwa Erklärungen dar – d.h. es wird nicht eine Rückführung auf Einfacheres ermöglicht –, sondern umgekehrt wird eine *Öffnung* bewirkt, hin zu weiteren komplexen Szenarien voll unbekannter Elemente, in denen überdies stets der Zufall eine zentrale Rolle spielt. Die scheinbare Attraktivität solch phantastischer Erweiterungen verschleiert bloß die Tatsache, dass eine echte Erklärung fehlt.

## **Dunkle Energie**

Durch die Hypothese, dass nicht das Universum sich ausdehnt, sondern die Wellenlängen sich verkürzen, wird nicht nur die absurde Vorstellung eines Anfangs von Raum und Zeit vermieden, durch sie löst sich auch das Problem der sogenannten *dunklen Energie* augenblicklich in Nichts auf. Folgendermaßen:

In der Standardkosmologie gab es vor 1998 nur zwei Faktoren, von denen die Geschwindigkeit abhängen konnte, mit der sich das Universum angeblich ausdehnt: eine *Anfangsgeschwindigkeit* (nach dem Ende der sogenannten inflationären Phase – einer Phase exponentiell beschleunigten Auseinanderdriftens), und ab diesem Zeitpunkt nur noch eine allmähliche *Verringerung* der Geschwindigkeit durch die Wirkung der Gravitation.

Als dann am Ende des vorigen Jahrtausends Beobachtungen zu dem Schluss führten, dass die Geschwindigkeit der Expansion *zunimmt*, hatte diese Tatsache im bestehenden Modell keinen Platz. Dadurch wurde die Einführung eines *zusätzlichen Elements* im Modell erzwungen – der sogenannten *dunklen Energie*.

Solche *ad hoc* eingeführten zusätzlichen Elemente, die dem einzigen Zweck dienen, einen Widerspruch zu beseitigen, der in einem sonst bewährten Modell auftritt, sind gelegentlich dort angemessen, wo es um Probleme geht, die eher peripher erscheinen. Die *dunkle Energie* ist nun allerdings gewiss

kein unbedeutendes Element der physikalischen Wirklichkeit: Sie soll 70 % der Gesamtenergie des Universums ausmachen. Es ist die gewaltigste *ad hoc* Begriffsbildung aller Zeiten! Dass ihre Erfindung, dem Stil der Zeit entsprechend, mancherorts als "Aufbruch in eine neue Physik" gefeiert wird, entschädigt wohl kaum dafür, dass es bis jetzt nicht im geringsten gelungen ist, diesen Begriff entweder in die bestehende Physik zu integrieren oder auch nur einen sinnvollen Ansatz einer neuen Art von Physik zu entwickeln.

Wie stellt sich dieselbe Beobachtungstatsache in der Alternativkosmologie dar?

Der Sachverhalt ist eindeutig: Dunkle Energie ist für die Beschleunigung der Expansion des Universums verantwortlich. *Wenn es keine Expansion gibt, dann gibt es also auch keine dunkle Energie.*

Damit ist das Wesentliche auch schon gesagt. Die unerfreuliche *ad hoc* Einführung einer unbekanntenen Art von Energie erübrigt sich.

Trotzdem werden wir noch ein wenig beim Thema verweilen, um zu erörtern, welche Beobachtungen unter der Voraussetzung zu erwarten sind, dass nicht das Universum sich ausdehnt, sondern die Wellenlängen kleiner werden.

Als erstes fällt auf, dass eine zeitlich konstante Abnahme der Wellenlängen im Alternativmodell bereits einer beschleunigten Ausdehnung des Universums im Standardmodell entspricht. Ein einfaches Beispiel zur Veranschaulichung:

Seien  $t_0, t_1, t_2$  drei kosmische Zeitpunkte, es sei  $t_2 - t_1 = t_1 - t_0$ .

Zum Zeitpunkt  $t_0$  sei die Maßwellenlänge 1. Wenn sie zwischen  $t_0$  und  $t_1$  um 0.1 auf 0.9 abnimmt, wird das in der Standardinterpretation als Vergrößerung des Universums um  $1/9$  aufgefasst.

Eine gleich große Abnahme der Maßwellenlänge zwischen  $t_1$  und  $t_2$  von 0.9 auf 0.8 bedeutet eine Zunahme der Größe des Universums um  $1/8$  der Größe, die es zum Zeitpunkt  $t_1$  hatte. Die Vergrößerung, die zwischen  $t_1$  und  $t_2$  stattfindet, beträgt also  $(1/8 * 10/9) = 1/7.2$  der Größe zum Zeitpunkt  $t_0$ . Die Zunahme der Ausdehnung ist also zwischen  $t_1$  und  $t_2$  größer als zwischen  $t_0$  und  $t_1$ , die Ausdehnungsgeschwindigkeit hat sich erhöht.

Das also wäre der Fall, wenn die Verkürzung aller materiellen Wellenlängen mit gleichbleibender Geschwindigkeit stattfinden würde. Allerdings ist das keine plausible Annahme. Wahrscheinlicher ist

eine periodische Form der Änderung der Wellenlängen. (Mit einer Periodendauer von mindestens einigen zehn Milliarden Jahren.)

Um dies einzusehen, ist es nützlich, eine Skizze des sich selbst organisierenden Universums zu entwerfen.

Woran denkt man sofort, wenn eine geschlossene metrische Struktur sich selbst organisiert? Natürlich an *stehende Wellen*. Einem Gefäß vergleichbar, das durch einen Schlag in einen Schwingungszustand versetzt wird, der sich als Klang äußert, organisiert sich der Kosmos aufgrund der Gesetze (1) und (1a) in Form stehender Wellen.

(Ich bin an dieser Stelle gefragt worden: *Wer schlägt das Universum an?* – Nun, Niemand. Der *Ursprung alles Seienden* zerfällt nicht in Substanz und Akzidens, er ist nicht *etwas*, *was* sich verändert. Das, was weder ist noch nicht ist, *ist* Veränderung. Ohne Veränderung verschwindet es. Es muss also nicht angeschlagen – nein, es *kann* gar nicht angeschlagen werden, weil es nur als "Angeschlagenes", d.h. als sich überall und permanent Veränderndes vorhanden ist.)

Kosmische Beobachtungen einerseits und unsere Überlegungen andererseits führen zu folgender Vermutung:

Der Kosmos organisiert sich in Form stehender Wellen in zwei Größenordnungen:

1. in Wellen der Größenordnung von einigen hundert Millionen Lichtjahren. Deren Schwingungsbereiche sind die kosmischen Leerräume, um die herum Galaxien in der Form von Haufen und Filamenten angeordnet sind. Sie bilden in diesem Modell die "Knotenflächen", d.h. die zwischen den wabenartigen Leerräumen liegenden Gebiete geringerer Ausdehnung.

2. in Wellen, deren Wellenlänge gleich der (hier zeitabhängigen) Planck-Länge ist. Sie stellen die Basis der materiellen Strukturen dar. Über ihnen baut sich, wie in den Kapiteln 4 und 5 skizziert, die materielle Welt in der Gestalt von Phasenwellen auf, deren Wellenlängen in konstanten Verhältnissen zueinander und zur Planck-Länge stehen.

Wäre das Anfangsgesetz (1) auf die normale Dichte gegründet, dann wäre das Universum einem ideal-elastischen Medium vergleichbar, und es müsste angenommen werden, dass es einem *stationären* Zustand zustrebt, einem Attraktor, der prinzipiell von ähnlicher Art ist wie der Klang des angeschlagenen Glases. Wie oben erwähnt, ist ein solcher Zustand aber verboten.

Kann die Tatsache, dass (1) nicht die normale Dichte, sondern die *metrische Dichte* enthält, die Existenz eines Attraktors dieser Art verhindern? Ich glaube ja, und ich denke, der Grund ist, dass sich bei einem Gesetz, das die normale Dichte enthält, jeder Attraktor auf den Absolutwert der Länge bezieht, an dem die Dichte 1 ist und keine Beschleunigungen auftreten. Bei der metrischen Dichte existiert kein solcher Absolutwert. Während es bei der normalen Dichte vom *Absolutwert* der Länge abhängt, welche Beschleunigungen auftreten, hängt die Beschleunigung bei der metrischen Dichte nur vom *zeitlichen Verlauf der Längenänderung* ab.

Grundsätzlich gibt es zwei Varianten: entweder die materiellen Wellenlängen werden *ad infinitum* kleiner, oder sie ändern sich periodisch. Ich neige zur Annahme einer periodischen Änderung. Eine Veränderung, die unaufhörlich in ein und dieselbe Richtung erfolgt, erschien mir seltsam. Ich halte es für wahrscheinlich, dass im Rahmen der Selbstorganisation einer geschlossenen metrischen Struktur die meisten Größen einer periodischen Veränderung unterworfen sind.

Zurück zur Frage: ist die Abnahme der materiellen Wellenlängen zeitlich konstant oder veränderlich?

Hier fällt die Entscheidung leicht. Im Rahmen der Standardkosmologie ist die Annahme einer (annähernd) konstanten Geschwindigkeit der Ausdehnung darauf zurückzuführen, dass die Geschwindigkeit bewegter Massen immer konstant ist, wenn keine Kraft wirkt. Diese Begründung verschwindet in der Alternativkosmologie, weil sich hier die Massen ja gar nicht voneinander weg bewegen. Tatsächlich gibt es dann überhaupt keinen Grund mehr für die Annahme, die Änderung der Wellenlängen erfolge auf eine Weise, dass sie als konstante Fluchtgeschwindigkeit interpretierbar wäre.

Auch die Annahme, die Änderung sei zeitlich konstant, ist unwahrscheinlich. Die Wellenlängen würden dann irgendwann einfach zu Null – aber nicht asymptotisch, sondern augenblicklich. Das ist wenig plausibel, und es ist daher anzunehmen, dass die Abnahme der Wellenlängen zeitlich veränderlich ist.

Allerdings ist das für das Problem der *dunklen Energie* ohne Bedeutung. Das Einzige, was hier zu beachten ist, ist Folgendes:

Die Beobachtungen, die in der Standardkosmologie als Beweise für eine beschleunigte Ausdehnung des Universums aufgefasst werden müssen und *ad hoc* Annahmen erzwingen, sind in der metrisch-dynamischen Kosmologie mit den einfachsten Modellannahmen kompatibel. Zu ihrer Erklärung müssen keine zusätzlichen Annahmen getroffen werden. Das gilt in *jeder* Variante – gleichgültig, ob die Änderung der Wellenlängen nur in eine Richtung verlaufend oder periodisch wechselnd angenommen wird.

In der alternativen Kosmologie verhält es sich genau umgekehrt wie in der Standardkosmologie:

Während in der Standardkosmologie eine *ad hoc* Annahme notwendig ist, um die Veränderung der Ausdehnungsgeschwindigkeit zu erklären, würde in der Alternativkosmologie die Annahme, die Änderung der Wellenlängen erfolge genau so, dass sie – als Expansion des Universums gedeutet – einer zeitlich konstanten Expansionsgeschwindigkeit entspricht, eine *ad hoc* Erklärung nach Art der *dunklen Energie* erfordern.

### **Eine alternative Geschichte des Kosmos**

Vervollständigen wir noch kurz unsere Geschichte des sich selbst organisierenden Universums:

Es gibt keinen Anfang. Das Universum ist eine geschlossene metrische Struktur, die sich in Form stehender Wellen in zwei Größenordnungen organisiert. Die erste Wellenart sind kosmische Wellen: longitudinale metrische Wellen mit einer Länge von einigen 100 Millionen Lichtjahren. Sie formen *kosmische Leerräume*, die die schwingenden Bereiche dieser kosmischen Wellen darstellen. Dort, wo die Leerräume aneinander grenzen, befinden sich Gebiete geringerer Ausdehnung, die die Knotenbereiche der kosmischen Wellen darstellen. Die Musterbildung, die hier stattfindet, gleicht der Strukturbildung, die in der Standardphysik angenommen wird. Es entstehen zunächst die einfachsten Formen von Materie. Allerdings werden diese – wie in den vorangegangenen Kapiteln ausgeführt – uminterpretiert: die Teilchen und Felder, die hier entstehen, sind *Phasenwellenstrukturen*.

Voraussetzung für diese Art der Musterbildung ist die Existenz einer zweiten Art stehender Wellen, deren Länge sich im Lauf der kosmischen Entwicklung verringert. (Gegenwärtig sind sie um ca. 57 Größenordnungen kleiner als die Wellen erster Art.) Es sind Wellen von Planck-Länge. Sie existieren in den longitudinalen Flüssen, deren einfachste Form wir im Kapitel 2 mit den Phänomenen identifiziert haben, die in der Standardphysik *Gravitation* genannt werden.

Die Dynamik der Phasenwellenstrukturen – sie führt in der Standardphysik die Bezeichnung "*die vier Wechselwirkungen*" – führt zu weiterer Musterbildung über zahlreiche Größenordnungen hinweg, von "Atomen" bis zu Superhaufen von Galaxien. Da alle Strukturen in den Knotenbereichen der kosmischen Wellen auf den Planckwellen aufbauen und damit verknüpft bleiben, ändert sich mit der Länge der Planck-Wellen zugleich die Größe all dieser Strukturen.

Warum ändern sich die Wellenlängen? Da sich, wenn das Universum ein ideal-elastisches Medium wäre, ein stabiler Zustand in Form einer Grundfrequenz mit Oberfrequenzen einstellen würde, muss



der Grund dort zu suchen sein, wo sich das Universum der Alternativkosmologie von einem Universum unterscheidet, das sich als ideal-elastisches Medium selbst organisiert. Dieser Unterschied besteht, wie oben erwähnt, genau darin, dass ein ideal-elastisches Medium eine normale Dichte hätte, während im Alternativuniversum *alles* von der metrischen Dichte abhängt, mit anderen Worten: ausschließlich vom zeitlichen Verlauf der metrischen Längen- und Winkeländerungen. Der absolute Bezugspunkt, der das Verhalten eines Mediums bestimmt, fehlt.

Nehmen wir also an, dass die materiellen Wellenlängen mit der Zeit abnehmen. Wie ist der zeitliche Verlauf dieser Verkürzung? Vermutlich periodisch, wobei die Dauer einer Periode deutlich größer sein sollte als die Zeit, die gegenwärtig in der Standardkosmologie als die Zeit betrachtet wird, die das Universum seit dem Urknall existiert.

Vielleicht erfolgt nach einer bestimmten Zahl von Perioden eine Auflösung der materiellen Strukturen, und es beginnt danach eine neue Phase der Selbstorganisation.

Vielleicht gibt es aber auch nur eine einzige Periode. Die materiellen Strukturen entstehen, entwickeln sich, werden zugleich kleiner, bis ein Minimum erreicht ist, danach vergrößern sich alle materiellen Wellenlängen wieder – so lange, bis sich schließlich alle Muster wieder auflösen. Dann kann das Spiel von neuem beginnen.<sup>86</sup>

## Dunkle Materie

Die äußeren Bereiche von Galaxien rotieren schneller, als es auf Grund der beobachteten Massen der Fall sein sollte. Daraus muss im Standardmodell geschlossen werden, dass zusätzliche, nicht sichtbare Masse vorhanden ist. Sie wird *dunkle Materie* genannt.

(Die andere Möglichkeit wäre, das Gravitationsgesetz auf großen Skalen zu ändern. Newtons Gesetz – die  $1/r^2$  Abhängigkeit der Gravitation – kann natürlich leicht verändert werden. Eigentlich geht es aber um Einsteins Gravitationsgesetz, und dieses Gesetz leistet gegenüber der notwendigen Korrektur wesentlich mehr Widerstand. In noch höherem Maß gilt das für das in dieser Arbeit vorgestellte Gravitationsgesetz: es kann seinem Wesen nach *überhaupt nicht* verändert werden.)

---

<sup>86</sup> Da die Gerichtetheit der Zeit nur durch Selbstorganisation zur Notwendigkeit wird und somit an Struktur- bildung gebunden ist, gibt es in einer Phase der Strukturauflösung oder der Abwesenheit von Strukturen keine Zeitrichtung. Das bedeutet, dass es beim Vergehen eines Kosmos und Entstehen eines neuen Kosmos nicht möglich ist, den einen als den "früheren" und den anderen als den "späteren" aufzufassen. Es kann also nicht behauptet werden, dass sich die Zeit unbegrenzt "in die Vergangenheit" oder "in die Zukunft" fortsetzen lässt.

Das metrisch-dynamische Modell des Kosmos bietet auch hier die Möglichkeit, auf *ad hoc* Annahmen zu verzichten.

Führen wir uns zunächst vor Augen, worin eigentlich der Unterschied zwischen der Einsteinschen und der metrisch-dynamischen Gravitation besteht. Einstein beschreibt Gravitation als eine durch Masse verursachte Verzerrung des Raum-Zeit-Kontinuums. Im metrisch-dynamischen Modell wird Gravitation dagegen als metrische Verdichtung des Raums aufgefasst (d.h. als Veränderung der Einheitslänge), aus der wiederum ein *metrischer Fluss* folgt. Der Raum wird auf diese Weise zu einem dynamischen Gebilde, er wird selbst zu einem beschleunigten Fluss.

In diesem Bild bleibt die Zeit zunächst unverändert, und erst beim Übergang auf lokale Beobachtersysteme kann aus der Geschwindigkeit des metrischen Flusses auf die lokal gemessene Zeit geschlossen werden.

Wie im zweiten Teil gezeigt worden ist, stimmen die Ergebnisse in einigen einfachen Fällen (Periheldrehung, Lichtablenkung, Kreisbahn des Lichts) mit denen der Allgemeinen Relativitätstheorie überein. Falls aber große Massen in Bewegung sind, weichen die Ergebnisse der beiden Theorien voneinander ab, und zwar aus folgendem Grund:

Die Flusslinien sind auf die Massen hin beschleunigt. Sie *folgen* den Massen. Wenn also, wie im Fall vom Galaxien, eine große Ansammlung von Massen um ein Zentrum rotiert, dann *rotiert auch der Raum selbst*. Die Bewegung der Sonnen, die sich aus ihrer wechselseitigen Gravitation plus der Gravitation des zentralen schwarzen Lochs ergibt, muss nun auf *diesen* Raum bezogen werden, der selbst schon rotiert – im Gegensatz zur Newtonschen oder Einsteinschen Theorie, wo sie natürlich relativ zum *ruhenden* Raum betrachtet werden muss.

Das bedeutet: *Die Rotation des Raums, die aufgrund unserer Sichtweise zu erwarten ist, muss zur Rotation, die aus der üblichen Sichtweise folgt, addiert werden.*

Eigentlich stimmen die Einsteinsche und die metrisch-dynamische Version der Gravitation nur dann genau überein, wenn die Gravitation eines einzigen Objekts betrachtet wird. In jedem realen Fall gibt es aber mehr als ein Objekt, und da die Flusslinien den Bewegungen der Objekte folgen, durch die der Fluss verursacht wird, muss die Bewegung des Raums immer berücksichtigt werden. In vielen Fällen, etwa in Sonnensystemen, ist die Korrektur aber minimal, weil der Großteil der metrischen Verdichtung und damit auch der Beschleunigung des Flusses durch ein zentrales Objekt verursacht wird. Bei Galaxien trifft das jedoch nicht zu. Hier liefert die Rotation des Raums einen erheblichen Beitrag zur beobachteten Rotationsgeschwindigkeit.

Zwar ist diese Erklärung nicht mehr als eine Skizze.<sup>87</sup> Aber sie zeigt doch klar den Mechanismus, der hinter der beobachteten erhöhten Rotationsgeschwindigkeit steht, und – wie ich meine – zeigt sie auch, dass die Vorstellung eines Kosmos, der sich in Form von metrischen Flüssen und Wellen selbst organisiert, viel mehr dynamische Möglichkeiten bietet als die Standardvorstellung – Möglichkeiten, die für die Erklärung der beobachteten gravitativen Phänomene attraktiver sind als die Annahme exotischer Arten von Materie.

Im Standardmodell der Kosmologie hat die dunkle Materie noch eine weitere Aufgabe: ohne sie gäbe es keine Verdichtung von Materie, d.h. keine großen materiellen Objekte – weder Sterne noch Galaxien noch Galaxienhaufen usw. Erst die dunkle Materie ermöglicht also die Bildung materieller Strukturen. Dazu ist es jedoch erforderlich, sowohl ihre Gesamtmenge als auch den Zeitpunkt, an dem sie sich im frühen Universum von der Strahlung entkoppelt, *ad hoc* festzulegen.

Im metrisch-dynamischen Universum ist die anfängliche Verdichtung hingegen selbstverständlich: der Raum organisiert sich selbst zu einer Gesamtgestalt aus stehenden Wellen, die dann den großräumigen Hintergrund für die Entstehung materieller Strukturen darstellen.

## Vergleich

Vergleichen wir abschließend die beiden kosmologischen Erzählungen.

Was ist hinsichtlich der Beobachtungsdaten zu sagen?

Wie schon eingangs festgestellt, erlauben die Beobachtungen keine Entscheidung, welche Variante zu wählen ist. Da die Strukturbildung, was die materiellen Strukturen betrifft, in der Alternativkosmologie analog zur Standardkosmologie erfolgt, und weil ja die bisherige Physik nicht außer Kraft gesetzt, sondern nur uminterpretiert wird, bestätigen die bisherigen Daten *beide* Modelle – mit zwei Ausnahmen: einige ab 1998 gemessene Rotverschiebungen und die Dynamik von Galaxien.

In der Standardkosmologie wird dadurch die Einführung zweier *ad hoc* Begriffe erzwungen: *dunkle Energie* und *dunkle Materie*.

Um es ganz klar zu sagen: Beide Tatsachen *widersprechen* der bis dahin geltenden Vorstellung vom Kosmos und seiner Geschichte. Es erscheint also durchaus angemessen, dies als *Widerlegung* der bisherigen Annahmen aufzufassen – soweit eine Widerlegung überhaupt möglich ist; Ein existierendes

---

<sup>87</sup> Mehr dazu findet sich in meiner Arbeit [\*Gegen dunkle Materie – eine neue Theorie der Gravitation\*](#).

Modell kann bekanntlich immer durch *ad hoc* Annahmen gegen auftretende Widersprüche immunisiert werden.

(Seit ihrer Erfindung macht sich die dunkle Materie allerdings bei Computersimulationen der Strukturbildung im Kosmos nützlich – so sehr, dass inzwischen ohne sie nichts mehr funktioniert. Das spricht aber keineswegs, wie manche glauben, für die Existenz der dunklen Materie. Es ist selbstverständlich, dass eine Entität, über deren Verteilung und deren Eigenschaften völlig frei und unbehindert von theoretischen Vorgaben verfügt werden kann, die Modellierung erleichtert.)

In der Alternativkosmologie werden dagegen keine zusätzlichen Annahmen benötigt. Die Annahme einer dunklen Energie ist überflüssig. Ein nichtlineares Rotverschiebungsgesetz entspricht hier den einfachsten Modellannahmen. (Wäre es hingegen wirklich langfristig annähernd linear, dann würde genau das im Alternativmodell eine *ad hoc* Erklärung erfordern.)

Auch die beobachtete Galaxiendynamik, die in der üblichen Auffassung nur durch die Anwesenheit zusätzlicher, nicht leuchtender Masse unbekannter Art erklärt werden kann, erfordert im alternativen Modell keine exotischen *ad hoc* Erweiterungen.

Was die Frage der Strukturbildung im Allgemeinen betrifft, unterscheidet sich das Alternativmodell vom Standardmodell insofern, als es eine *top-down* Strukturbildung enthält, die es in der Standardversion nicht gibt: die Strukturierung im großen Maßstab in der Form stehender Wellen. Die Strukturbildung in allen Größenordnungen, die im Standardmodell doch erhebliche Schwierigkeiten bereitet, wird dadurch erleichtert.

## **Zusammenfassung**

*Kein Anfang, keine Expansion, keine absoluten Größen, Selbstorganisation durch metrische Flüsse und Wellen.* Das sind in Kürze die wesentlichen Charakteristika, durch die sich das Alternativmodell des Kosmos vom Standardmodell unterscheidet.

*Kein Anfang:* das entspricht dem Gebot der *Vollständigkeit der Wirklichkeit*. Die Idee eines Anfangs von allem führt über die Wirklichkeit hinaus und ist daher zu verwerfen.

*Keine Expansion:* das ist eine metaphysische Gewissheit. Das Universum im Ganzen ist kein *Ding*. Es ist *nicht relational*. Es wäre unsinnig, ihm eine veränderliche Größe zuzuschreiben.

*Keine absoluten Größen:* das folgt aus den Grundprinzipien dieser Arbeit, die im ersten und im zweiten Teil vorgestellt worden sind. Kurz gesagt: es gibt keine absoluten Entitäten. Alles, was existiert, ist entstanden. Alles ist veränderlich. Das Einzige, was im Rahmen der Selbstorganisation konstant bleibt, sind Verhältnisse von Wellenlängen.

*Selbstorganisation durch metrische Flüsse und Wellen:* das ergibt sich aus dem Aufbau der Physik aus Metaphysik.

Diese Feststellungen betreffen das, was am Beginn dieses Kapitels als *zusätzliche Information* bezeichnet wurde, die überhaupt erst eine Entscheidung erlaubt, welches kosmologische Modell zu wählen ist. Die bisherigen Beobachtungsdaten stützen beide Modelle in gleicher Weise – mit zwei Ausnahmen: Gravitation, die nicht auf die in der Physik bekannte (leuchtende) Materie zurückgeführt werden kann, und "beschleunigte Expansion".

Im Standardmodell erfordern diese beiden Phänomene die Einführung exotischer Entitäten. Im Alternativmodell hingegen gibt es überhaupt keine Expansion – die Erklärung ihrer Beschleunigung ist somit obsolet –, und die eben erwähnten gravitativen Phänomene (wie etwa die hohe Rotationsgeschwindigkeit der äußeren Bereiche von Galaxien) lassen sich als Teil der universellen Selbstorganisation durch metrische Flüsse und Wellen verstehen.

#### Bemerkung:

Historisch betrachtet, ist die Frage, ob sich das Universum ausdehnt oder die materiellen Wellenlängen kleiner werden, von ähnlicher Art wie die Frage, ob sich die Sonne um die Erde dreht oder die Erde um die Sonne. In beiden Fällen gleichen sich (zunächst) die beobachtbaren Folgen der konkurrierenden Hypothesen, und die erstgenannte Hypothese ist diejenige, die mit der gerade vorherrschenden Weltsicht perfekt übereinstimmt, während die Alternative auf fast lächerliche Weise unmöglich erscheint.

Und dennoch ist diese Überzeugung in beiden Fällen nichts weiter als ein Vorurteil, das als Folge einer Reihe weiterer Vorurteile auftritt und sich zugleich mit diesen auflöst.

## 9. Sätze

### Satz 1

*Der Ursprung des Seienden ist selbst kein Seiendes. Er zerfällt nicht in Substanz und Akzidens. Er existiert weder noch existiert er nicht.*

### Satz 2

*Die Antwort auf die Frage: "Warum ist Etwas und nicht Nichts" lautet daher: Da der Ursprung des Seienden selbst weder existiert noch nicht existiert, ist er **notwendig** – und mit ihm zugleich das aus ihm sich entfaltende Seiende. (Wenn nichts existierte, würde auch der Ursprung alles Seienden nicht existieren – im Widerspruch zu Satz 1.)*

### Satz 3

*Existenz ist Aktivität. Was sich nicht ändert, existiert nicht. Der Gedanke eines bloß Seienden ist ein Artefakt der apriorischen Notwendigkeit, Existierendes als Substanz und Akzidens zu denken – als Verbindung eines Dings, das bloß ist (Inaktivität), und einer Eigenschaft (Aktivität).*

### Satz 4

*Um den Ursprung alles Seienden denken zu können, muss ihm Änderung als Eigenschaft zugeschrieben werden,*

### Satz 5

*Würde die Änderung aufhören, wäre Nichts. Die Kette von Änderungen muss also unaufhörlich sein.*

### Satz 6

*Das fundamentale Gesetz lautet daher: Eine Änderung ist gleich einer anderen Änderung.*

### **Satz 7**

*Die notwendigen Voraussetzungen von Existenz sind Raum und Bewegung.*

### **Satz 8**

*Deshalb muss das fundamentale Gesetz die einfachste Beziehung zwischen Raumänderung und Bewegungsänderung sein. Raumänderung ist die Änderung der metrischen Dichte, Bewegungsänderung ist die Beschleunigung des metrischen Flusses.*

### **Satz 9**

*Alles was existiert ist ein Muster aus Änderungen des metrischen Flusses.*

### **Satz 10**

*Unmittelbare Folge des fundamentalen Gesetzes ist das Auftreten metrischer Wellen, die sich im Fluss mit Lichtgeschwindigkeit fortpflanzen.*

### **Satz 11**

*Gravitation ist die Dynamik der beschleunigten longitudinalen metrischen Flüsse, die durch metrische Änderungen der Länge verursacht werden. Im Fall einer zentralen Materie oder Antimaterie führen diese Änderungen zu kugelsymmetrischen stationären Zuständen des longitudinalen metrischen Flusses.*

### **Satz 12**

*Bei Materie ist der metrische Fluss reell, bei Antimaterie ist er imaginär. Das Vergehen der Zeit wird durch Materie verlangsamt, durch Antimaterie beschleunigt.*

### **Satz 13**

*Elektromagnetismus ist die Dynamik der transversalen metrischen Flüsse, die durch metrische Änderungen des Winkels verursacht werden. Im Fall von zentraler positiver oder negativer Ladung*

*führen diese Änderungen zu kugelsymmetrischen stationären Zuständen des transversalen metrischen Flusses.*

#### **Satz 14**

*Bei positiver Ladung ist der Fluss reell; die Zeit vergeht langsamer. Bei negativer Ladung ist der Fluss imaginär; die Zeit vergeht schneller. Positive und negative Ladung heben sich gegenseitig auf. Positive und negative Ladung stehen zueinander in Bezug auf den tangentialen Fluss im selben Verhältnis wie Materie und Antimaterie in Bezug auf den longitudinalen Fluss.*

#### **Satz 15**

*Longitudinale und transversale Flüsse und Wellen folgen aus dem fundamentalen Gesetz. Daher sind auch Gravitation und Elektromagnetismus auf dieses Gesetz zurückzuführen. Das ist die metrisch-dynamische Form ihrer Vereinheitlichung.*

#### **Satz 16**

*In den longitudinalen Flüssen gibt es stehende Wellen von Planck-Länge. Sie bilden die Basis der materiellen Strukturen.*

#### **Satz 17**

*Wegen des radialen Flusses, der durch eine geometrische Masse  $m$  verursacht wird, existiert in Bezug auf ein relativ zu  $m$  ruhendes System eine Phasenwelle der Planck-Wellen. Dadurch tritt auf einer Kugelfläche im Abstand einer Compton-Wellenlänge vom Zentrum eine gleichphasige Schwingung auf, mit einer Frequenz, die der Frequenz eines Teilchens mit der Masse  $m$  entspricht.*

#### **Satz 18**

*Durch den tangentialen, rotierenden Fluss, der bei einer geometrischen Ladung  $Z\mu$  auftritt, wird die Gleichphasigkeit dieser Kugelflächenschwingung aufgehoben. Es entstehen tangentiale metrische Phasenwellen. Die lokalen metrischen Schwingungszustände – d.h. die Elektronenhüllen – die bei einer geometrischen Ladung  $Z\mu$  auftreten, sind durch die Bedingung festgelegt, dass die Phasenwellen im rotierenden Flusssystem stehende Wellen bilden.*



### **Satz 19**

*Die Quantentheorie bildet die Schnittstelle zwischen der abstrakten Vorstufe des Seienden und der Gegenstandswelt. Die Objekte, die durch die QT beschrieben werden, sind von beiden Seiten aus gesehen keine gegenständlichen Objekte – von der dinglichen Seite aus sind sie das nicht mehr; von der abstrakten Seite aus gesehen noch nicht.*

### **Satz 20**

*Materielle Strukturen sind Interferenzphänomene, lokalisierte Muster aus Phasenwellen der Planckwellen, quantisiert durch die Bedingung, dass sie im radialen und tangentialen Fluss stehende Wellen bilden. Die kausalen Beziehungen, auf denen diese Muster beruhen, liegen nicht in ihnen selbst, sondern im Hintergrund aus metrischen Flüssen und Planckwellen.*

### **Satz 21**

*Es gibt keinen "Urknall" – die Größe des Universums ist unveränderlich, weil es keine absolute Größe gibt, nur Größenrelationen. Was sich ändert, sind somit die Wellenlängen, durch die unser Längenmaß definiert ist.*

### **Satz 22**

*Das Universum ist eine geschlossene metrische Struktur. Es organisiert sich selbst durch metrische Flüsse und Wellen.*

### **Satz 23**

*Die Musterbildung im größten Maßstab erfolgt durch stehende Wellen in der Größenordnung von ca.  $10^8$  Lichtjahren. Sie bilden die kosmischen Leerräume.*

### **Satz 24**

*Die materielle Strukturfindung findet in den Zwischenräumen dieser wabenartigen Struktur statt, also in den Knotenbereichen der stehenden kosmischen Wellen. Sie beginnt mit stehenden Wellen von Planck-Länge, deren Wellenlänge mit der Zeit abnimmt. Es entstehen zunächst "Teilchen" – metrische Verdichtungen, die die notwendige und hinreichende Bedingung für die Bildung stationärer*

*Phasenwellen-Zustände darstellen –, dann "Wechselwirkungen" – Flüsse und Wellen, die durch diese metrischen Verdichtungen verursacht werden und ihrerseits die Dynamik der stationären Phasenwellen-Zustände bestimmen. Die materielle Strukturbildung verläuft analog zur Standardkosmologie. Durch Gravitation setzt sie sich bis zur Größenordnung von Galaxienhaufen fort.*

#### **Satz 25**

*Da es keine Expansion gibt, gibt es auch keine dunkle Energie.*

#### **Satz 26**

*Gravitative Flüsse sind metrische Verschiebungen. In ihrer stationären Form sind sie mit Gravitation in der bekannten Form identisch. In ihrer nichtstationären Form wirken sie sich wie zusätzliche Gravitation auf die Dynamik von Galaxien aus. Die Annahme dunkler Materie ist überflüssig.*

## *Zeitgeist-Musical*

Eine halbdunkle Fabrikhalle. Maschinenlärm.

Es treten auf: PHYSIKER, TECHNIKER, PHILOSOPHEN, die WELT, die KOSMOLOGISCHE KONSTANTE, die HEILIGEN GEISTER der Physik, ICH SELBST, ein AUSSERIRDISCHER GNOM.

Über die ganze Bühne verteilt sind Gruppen von PHYSIKERN und TECHNIKERN, die mit Arbeiten an seltsamen Maschinen beschäftigt sind. Die PHILOSOPHEN bilden eine geschlossene Gruppe.

Rechts im Vordergrund versuchen einige PHYSIKER, die WELT in ein Bett zu pressen, auf dem in goldenen Buchstaben steht: SO(10). Das Bett ist zu klein. Die WELT wehrt sich verzweifelt.

Die PHYSIKER singen:

*Wir lieben die Gruppen, was schert uns die Welt!*

Dann schneiden sie der WELT alle Gliedmaßen ab. Jetzt passt sie in das Bett. Sie ist tot.

Die PHYSIKER singen:

*Es geht, es geht! Wir haben es gewusst, wir haben es gewusst!*

Die PHILOSOPHEN singen:

*Das Sein des Seins ist die Nichtung des Nichts.*

Lärm aus dem Hintergrund. Die KOSMOLOGISCHE KONSTANTE will nicht auftreten. Einige PHYSIKER zerren sie auf die Bühne und vergewaltigen sie. Sie läuft schreiend davon und will von der Bühne. Aber schon wieder macht sich eine Gruppe von PHYSIKERN über sie her. Wieder wird sie vergewaltigt.

Die HEILIGEN GEISTER der Physik gehen nach vorn an die Rampe und wenden sich zum Publikum.

Sie singen im Chor:

*Im Namen des heiligen Geheimnisses der Quantentheorie! Weicht nicht vom Pfad der Unschärfe, der Reduktion der Wellenfunktion und der Fernwirkung!*

ICH aber sage:

*Im Namen der heiligen Aufklärung! Wollt ihr die Verwirrung oder die Klarheit? Wollt ihr die Unwirklichkeit oder die Lösung des Rätsels?*

Die PHILOSOPHEN singen:

*Die Nichtung des Seins ist die Seinung des Nichts.*

Die KOSMOLOGISCHE KONSTANTE wird abermals vergewaltigt.

Einige TECHNIKER haben die tote WELT aus dem Bett geholt und modellieren nach ihr eine Gliederpuppe.

Sie jubeln:

*Um wie viel schöner sie doch ist als die hässliche alte!*

Die HEILIGEN GEISTER singen im Chor:

*Im Namen der heiligen Mathematik! Lasst euch nicht blenden vom Glanz des Verstehens! Nur in der Zahl liegt Sicherheit! Mag auch die Welt zugrunde gehen, die Zahl wird uns retten!*

ICH aber sage:

*Bei der heiligen Vernunft! Wollt ihr verwirrte, Zahlen murmelnde Beobachter des Unbegreiflichen sein oder Erkennende der realen Welt?*

Die HEILIGEN GEISTER rufen:

*Denkt an unsere Erfolge! Was wärt ihr ohne uns? Ohne uns würdet ihr immer noch in Höhlen sitzen und Läuse suchen!*

ICH aber sage:

*Erfolg ist nicht Wahrheit!*

Die HEILIGEN GEISTER sind nun sehr erregt. Sie brüllen durcheinander:

*Unfug! Wir werden siegen! Das Ziel ist ganz nah!*

ICH aber sage:

*Der Fluch der Zerstörung lastet auf euch! In rationaler Raserei werdet ihr alles vernichten!*

Ein Tumult bricht los. Die HEILIGEN GEISTER jagen MICH über die Bühne. Die PHYSIKER fuchteln erregt mit ihren Geräten herum. Die TECHNIKER arbeiten teilnahmslos weiter.

Die PHILOSOPHEN singen:

*Die Negation der Negation ist die reine Negativität des sich selbst begreifenden Begriffs.*

Ein Wind erhebt sich. Er wird zum Sturm, zum Orkan. Die ganze Szenerie wird von der Bühne gefegt.

Szenenwechsel. Eine friedliche, aber fremdartige Landschaft. ICH sitze mit dem AUSSER-IRDISCHEN GNOM am Ufer eines gelb schimmernden Sees.

Der AUSSERIRDISCHE GNOM fragt:

*Glaubst du, es gibt Außerirdische?*

ICH sage:

*Nein, das glaube ich nicht. Lass uns schwimmen gehen.*



Dritter Teil

Geist und Materie

Der vollständige Begriff der Wirklichkeit

Naturgesetze

Willensfreiheit, Qualia

## *Der Besuch des Teufels*

Da ich schon lange Zeit um Erkenntnis gerungen hatte, war ich nicht besonders überrascht, als mich eines Tages der Teufel aufsuchte.

Ich fragte:

*Was willst du?*

Er antwortete:

*Das weißt du doch. Ich will dir ein Angebot machen.*

Um einen heiteren Ton bemüht sagte ich:

*Und was willst du als Gegenleistung? Meine Seele?*

Er lachte:

*Nein, um Himmels Willen, vernünftigen Menschen biete ich doch nicht solch altmodische Verträge an! Was ich dir vorschlage, kostet dich nichts. Ich werde dir genau das schenken, was du dir wünschst, und du bist zu nichts verpflichtet.*

Das weckte meine Neugier. Ich sagte:

*Also gut. Lass hören!*

Er darauf:

*Mein Angebot ist ganz einfach: ich gewähre dir einen Blick ins Innerste der Welt. Du wirst erkennen, was ist.*

Ich war verblüfft:

*Wie – und dafür willst du keine Gegenleistung?*



Er:

*Nein. – Keine Seele, kein Blut, nichts Kleingedrucktes. Du musst dich bloß einverstanden erklären.*

Ich:

*Das ist alles?*

Er:

*Das ist alles.*

Er gab mir 24 Stunden Bedenkzeit. Ich konnte nichts finden, was mir verdächtig erschien. Also sagte ich am nächsten Tag zu.

Er strahlte:

*Wunderbar! Und jetzt –*

er erhob sich und richtete mit dramatischer Geste seinen Zeigefinger auf mich

*– entschuldige, aber ganz ohne Theater ist es doch zu langweilig!*

Er fuchtelte mit dem Finger in der Luft herum. Roter Rauch hüllte uns ein.

Er rief:

*Es sei, wie du es willst!*

Da war es mir, als würde die Welt um mich herum durchsichtig, und ich blickte durch die Dinge hindurch auf den gleißenden Mechanismus des Universums. Er war so wunderbar, so einfach und schön, dass ich meine Augen nicht abwenden konnte.

Ich sah unendlich feine Fäden, gesponnen aus Raum und Zeit, die sich dehnten und wieder zusammenzogen, einander näherkamen und wieder zurückwichen, dann zueinander fanden und wirbelnde, flimmernde Gestalten bildeten, die selbst wiederum, kaum dass sie entstanden waren, miteinander zu

tanzen begannen, anfangs in einfachen Figuren, dann in immer größeren und komplexeren Formationen.

Vor meinen Augen entfaltete sich das Gewebe der Wirklichkeit.

Für immer hätte ich in diesem glückseligen Zustand des Erkennens verharren mögen. Doch ich wurde schließlich müde, die Wahrheit hinter den Dingen verblasste, und mein Blick verfiel sich wieder in der sichtbaren Wirklichkeit.

Aber die Welt hatte sich verändert. Sie schien in einen düsteren Nebel getaucht, und das Licht war fahl geworden. Der üble Geruch geistigen Unrats lag in der Luft und nahm mir den Atem.

Die Welt, in die ich zurückgekehrt war, war eine Welt der Grausamkeit und Dummheit, der Gier, Verlogenheit und Eitelkeit.

Indem er mir die Gabe des Erkennens bescherte, hatte mir der Teufel zugleich die einzige Gnade genommen, die das Leben unter Menschen erträglich macht: die Gnade der Beschränktheit.

Und es gibt kein Zurück.



# 1. Warum gibt es Naturgesetze?

## 1.1. Vorbemerkung

Teil Zwei war der Suche nach den Naturgesetzen gewidmet. Dass es solche Gesetze gibt, ist dabei vorausgesetzt worden. Der Erfolg der Naturwissenschaften lässt diese Voraussetzung wie eine Selbstverständlichkeit erscheinen. Tatsächlich harrt hier aber ein fundamentales philosophisches Problem nach wie vor seiner Lösung: die Frage nämlich, *warum* sich die Natur gesetzmäßig verhält. Woher stammen diese Gesetze? Wo existieren sie? Auf welche Weise gelangt das Allgemeine in der Gestalt von Gesetzen in die Natur?

Als Begründung der Gesetzmäßigkeit der Natur bildet dieses Kapitel den Abschluss des physikalischen Teils. Da die Naturgesetze jedoch Schöpfungen bzw. – falls sie wahr sind – Entdeckungen unseres Geistes sind, ist es zugleich der erste Schritt bei der Durchführung der Aufgabe dieses dritten Teils: der Aufklärung des Zusammenhangs zwischen Geist und Materie.

## 1.2. Das Problem

Ein Apfel rollt auf die Tischkante zu.

Was wird geschehen, wenn er darüber hinaus rollt? – *Er wird nach unten fallen.*

Warum? – *Alle Gegenstände fallen nach unten.*

Warum? – *Sie gehorchen einem Gravitationsgesetz.*

Alle drei Behauptungen erscheinen ohne Zweifel richtig. Es gibt nichts, dessen wir sicherer sind. Daher ist es umso sonderbarer, dass unser gegenwärtiges Wissen über den Zusammenhang zwischen Einzelem und Allgemeinem keine Möglichkeit bietet, sie vollständig zu rechtfertigen!

Überprüfen wir die letzten beiden Aussagen. Die Antwort: "*Alle Gegenstände fallen nach unten*" ist als Begründung der Gewissheit, dass der Apfel nach unten fallen wird, nicht zulässig. Es ist nur bekannt, dass *in allen bisherigen Beobachtungen* Gegenstände nach unten gefallen sind. Der Ausdruck "alle bisherigen Beobachtungen" bezieht sich aber auf eine endliche Zahl von *Einzelfällen*, und aus Einzelfällen – seien es auch noch so viele – kann nicht auf einen Allsatz der Form "Alle Gegenstände fallen nach unten" geschlossen werden.

David Hume hat 1740 darauf hingewiesen, dass die Erwartung, beobachtete Regelmäßigkeiten würden auch in Zukunft gelten, nicht logisch begründet werden kann.<sup>88</sup> Das erscheint zunächst auch wenig verwunderlich, weil es ja nahe liegt, dass im Bereich beobachteter Regelmäßigkeiten gelegentlich Pannen auftreten. Solche Pannen mögen zwar überraschend wirken, aber wir finden an ihrem Auftreten nichts Sonderbares oder gar Widersprüchliches. Es wird bei niemandem irgendeine Art metaphysischer Verwunderung hervorrufen, wenn der Bus, der bisher immer pünktlich die Station verlassen hat, das nächste Mal trotzdem verspätet abfährt.

Oder um eines von Humes Beispielen zu verwenden: Wüssten wir gar nichts über die Sonne, dann wäre die Furcht berechtigt, sie könnte ausbleiben. Erst wenn wir meinen, wir wüssten, *warum* sie erscheint, fühlen wir uns sicher. Ein Gott oder ein Gesetz *könnten* uns garantieren, dass sie täglich wiederkehrt. Götter sind allerdings notorisch unzuverlässig, und allzu oft sind sie in der Vergangenheit nicht einmal durch Menschenopfer gnädig gestimmt worden!

Wie steht es mit der aktuelleren Variante, also mit der Zuversicht, die aus Naturgesetzen gewonnen wird? Garantiert die Entdeckung eines Naturgesetzes hinter einer beobachteten Regelmäßigkeit deren künftiges Fortbestehen? Enthält das Gesetz die Antwort, *warum* zwischen Ursache und Folge eine kausale Abhängigkeit besteht?

Im Rahmen der konventionellen Physik ist das nicht der Fall. Bei jeder Analyse einer Kausalbeziehung landen wir zuletzt unweigerlich bei einer Warum-Frage, die nicht beantwortbar ist. Wenn wir den Fall des Apfels durch Newtons Gravitationsgesetz begründen wollen, dann lässt sich nicht beantworten, warum die Erde den Apfel anzieht. Bei Einsteins Gravitationsgesetz gibt es keine Antwort auf die Frage, warum Masse die Raumzeit krümmt. Es handelt sich also doch bloß um Behauptungen, die durch Beobachtungen veranlasst und durch weitere Beobachtungen bestätigt worden sind.

Somit hat sich durch die Entdeckung des Gesetzes *nichts* geändert: Falls wir akzeptieren, dass unser Wissen nur auf Einzelfällen beruht, müssen wir hinnehmen, dass das Gefühl der Sicherheit, das uns das Gesetz gibt, unbegründet ist. Das Fortbestehen beobachteter Regelmäßigkeiten wird durch das Gesetz nicht sicherer: Da *erstens* durch logisches Schließen der Gehalt der Prämissen nicht vermehrt

---

<sup>88</sup> In *A Treatise of Human Nature*, I.IV.1. Die Frage, ob von Erfahrungstatsachen auf allgemeine Sätze geschlossen werden kann, ist in der Philosophie als "Induktionsproblem" bekannt. Der Name ist allerdings unzutreffend, denn bei der Frage der Induktion gibt es gar kein Problem: Induktion ist als Methode zur Aufstellung von Hypothesen geeignet, als Schlussfolgerung ist sie hingegen unzulässig, und mehr ist dazu nicht zu sagen. Es gibt aber ein *Begründungsproblem von Gesetzen*, und dieses kann nur dann "Induktionsproblem" genannt werden, wenn vorausgesetzt wird, dass unser Wissen *ausschließlich* auf der Erfahrung von Einzelfällen beruht.

werden kann, und weil *zweitens* Ursache und Wirkung nicht auf logisch begründbare Weise, sondern bloß *per definitionem* miteinander verknüpft sind, kann auch das Gesetz nicht *mehr* an Sicherheit enthalten als die bloße Regelmäßigkeit der Einzelfälle, die bisher damit übereinstimmten.

Wenn aus beobachteten Gesetzmäßigkeiten nicht auf die künftige Gültigkeit dieser Gesetzmäßigkeiten geschlossen werden kann – was ist es dann, das uns dennoch das Gefühl der Sicherheit gibt? Nach Hume ist es bloß ein Glaube, der auf nichts als Gewohnheit beruht.

Heißt das nun, dass tatsächlich ein begründeter Zweifel an der Existenz gesetzmäßiger Kausalbeziehungen besteht? Sollen wir wirklich daran zweifeln, dass der Apfel nach unten fallen wird?

Obwohl die genannten Argumente nach wie vor in diesem Sinn verstanden werden könnten, wäre ein solcher Zweifel angesichts des ungeheuren Erfolgs der Naturwissenschaften sicher nicht angemessen. Der skeptische Zweifel: "Warum sollte die Erde Objekte weiterhin anziehen?" wird außerdem durch die Tatsache relativiert, dass die Erde offenbar fortwährend alle Objekte anzieht, sodass man auch umgekehrt fragen könnte: "Warum sollte die Erde *aufhören* Objekte anzuziehen?"

Was jedoch aus den skeptischen Argumenten geschlossen werden muss, ist, dass unser Verständnis des ontologischen Status des Allgemeinen unzulänglich ist. Das Allgemeine scheint in der Natur, die uns ja stets bloß als beobachtbarer Einzelfall gegeben ist, keinen Platz zu haben, und das führt zu dem seltsamen und irritierenden Sachverhalt, dass wir zwar an der Existenz von Naturgesetzen nicht zweifeln können, aber zugleich außerstande sind, diese Gewissheit zu rechtfertigen.

Die skeptische Argumentation hat allerdings ebenfalls einen gravierenden Mangel, der offenbar wird, wenn man fragt, *warum* eigentlich überhaupt Regelmäßigkeiten beobachtet werden.

Es könnten sich nämlich gar keine Gewohnheiten herausbilden, wenn nicht die Dinge selbst dazu Anlass gäben: Würde der Bus nicht *tatsächlich* täglich zur selben Zeit abfahren, dann würden wir das auch nicht am folgenden Tag erwarten. Und der Grund für seine Regelmäßigkeit ist *sein Gesetz*, d.h. der Fahrplan, dem er gehorcht. Und weiter: Wir könnten wohl kaum die Erwartung entwickeln, die Sonne würde auch morgen wieder aufgehen, wenn sie es nicht *immer schon* getan hätte. Oder ein anderes bekanntes Beispiel: Hätte der Planet Merkur nicht in allen bisherigen Beobachtungen tatsächlich (fast) genau eine Ellipse beschrieben, dann hätte sich auch keine solche Erwartung eingestellt, mit anderen Worten: dann gäbe es auch keine Newtonsche Gravitationstheorie.

Daraus folgt, dass Humes skeptische Argumente bei der Analyse des Problems keinesfalls ausreichen. Es ist zwar richtig, dass wir nicht von Einzelfällen auf ein Gesetz schließen können, aber andererseits

fehlt bei der Humeschen Sicht der Dinge der Grund, warum die Natur überhaupt Regelmäßigkeiten aufweist, deretwegen wir bestimmte Gewohnheiten und Erwartungen entwickeln.

Immanuel Kant meinte, diesem Mangel durch die Annahme abhelfen zu können, dass Kausalität nicht in den Dingen selbst – im Ding *an sich* – liege, sondern *in uns* – in der Weise, wie die Dinge *für uns* erscheinen. Nach Kant ist es unser Verstand, der die Beobachtungen als kausale Abläufe strukturiert. Diese Strukturierung ist Kant zufolge *a priori* gegeben und somit unumgänglich. Nur deshalb also, weil alles, was überhaupt beobachtet werden kann, dieser kategorialen Strukturierung unterworfen wird, ist das Prinzip der Kausalität universell gültig. Auf diese Weise vermeidet Kant Humes Argumente, die ja nur in Bezug auf die Annahme einer Kausalität in den Dingen selbst gelten.

Das hat allerdings völlig absurde Konsequenzen. Das Ding *an sich* ist nun vollständig in unserer Gewalt. Es hat überhaupt keine *eigenen*, d.h. keine Bestimmungen *an sich*, es erfüllt bloß *unsere* kausalen Erwartungen. Man fragt sich unwillkürlich, was so ein Ding *an sich* eigentlich treibt, wenn es gerade nicht die Sinne eines apriorisch strukturierten Wesens affiziert, das ihm vorschreibt, was es zu tun hat; Es muss dann ratlos im Nichts herumhängen, da ihm nicht nur alle Gesetzmäßigkeit seines Verhaltens genommen wurde – die ja von uns stammende kategoriale Bestimmtheit ist –, sondern auch Raum und Zeit, die als Formen der Anschauung ebenfalls zu uns und nicht zum Ding *an sich* gehören. Erst wenn es wieder die Sinne eines solchen Wesens affiziert, wird es aus seiner Hilflosigkeit erlöst und weiß dann endlich wieder, wo und wann es ist und was es zu tun hat.

Wenden wir diese sonderbare Annahme auf einen konkreten Fall an – sagen wir, mein Auto. Das Ding *an sich*, das *für mich* mein Auto ist, steht am nächsten Morgen noch immer an der Stelle, an der ich es abends abgestellt hatte. Daraus muss wohl gefolgert werden, dass die Gravitation die ganze Nacht hindurch gewirkt hat – sogar in jenen Momenten, als das Auto gar kein Auto war, sondern bloß ein unbeobachtetes Ding *an sich*, das *als solches* – sofern Kant recht hätte – doch gar keinem Naturgesetz unterworfen sein dürfte.

Oder ein anderes Beispiel: der Planet Merkur. Wir beobachten ihn einige Zeit. Er verhält sich gemäß unseren apriorischen Vorschriften (die sich übrigens seit Kant geändert haben: damals waren sie von Newton, gegenwärtig stammen sie von Einstein, und neuerdings gibt es auch welche von mir). Dann unterbrechen wir unsere Beobachtungen. Nun torkelt das *Ding an sich*, das *für uns* der Merkur ist, gesetzlos im Nichts herum, um dann dennoch, wenn wir wieder hinsehen, genau an der Stelle in Raum und Zeit aufzutauchen, wo wir es erwarten.

Diese Vorstellung ist offenbar unsinnig. Das Ding *an sich*, das *für uns* der Merkur ist, muss auch eine Bestimmung *an sich* haben, durch die es weitergeführt wird, wenn es nicht beobachtet wird; Zudem beweist die Tatsache seines Erscheinens an der vorausberechneten Stelle nicht nur die *Existenz* dieser

Bestimmung *an sich*, sondern auch, dass sie entweder genau oder zumindest in ausgezeichneter Näherung dem von uns angenommenen Gesetz entspricht. Daraus folgt, dass das beobachtete gesetzmäßige Verhalten der Dinge nicht hinreichend durch etwas erklärt werden kann, was *in uns* ist bzw. *von uns* stammt. Die Beobachtung von Gesetzmäßigkeiten setzt in jedem Fall voraus, dass sich auch die Dinge *an sich* gesetzmäßig verhalten, dass also ihre Gesetzmäßigkeit in ihnen selbst liegt und nicht erst von uns an sie herangetragen wird. Und dann landen wir doch wieder bei Humes Begründungsproblem, und es bleibt wiederum offen, warum die beobachteten Gesetzmäßigkeiten auch in der Zukunft gelten sollten.

Ich schließe diese Einleitung mit einem Beispiel. Alles Bisherige ist darin auf einfache Weise zusammengefasst.

Nehmen wir an, es hätten 10 Experimente stattgefunden, die sich – bis auf den Ort und die Zeit der Durchführung – in jeder Hinsicht glichen. Bei allen Experimenten waren also die Anfangsbedingungen vollkommen identisch, und die Resultate ebenfalls.<sup>89</sup> (Da es nicht möglich ist, *vollständig* gleiche Anfangsbedingungen zu präparieren, handelt es sich bei diesem Beispiel um ein Gedankenexperiment.)

Nun betrachten wir ein weiteres Experiment. Wir setzen voraus, dass die Anfangsbedingungen auch bei diesem Experiment wieder vollkommen gleich sind wie bei allen vorhergehenden Experimenten.

Die entscheidende Frage ist: *Was können wir über das Resultat des elften Experiments voraussagen?*

Der *Naturwissenschaftler* wird wie folgt argumentieren:

"Die für das Experiment relevanten Parameter sind in allen Fällen identisch. Es handelt sich also immer um *dasselbe* Experiment, das bereits 10 mal durchgeführt wurde. Diese Behauptung wird durch die identischen Resultate bestätigt. Daher wird sich beim Experiment mit der Nummer 11 mit Sicherheit wieder dasselbe Resultat ergeben."

Der *Skeptiker* wird entgegenen:

"Du sprichst vom *allgemeinen Fall* – so, als gäbe es ein allgemeines Experiment A, dem alle einzelnen Experimente  $A_i$  gleichgesetzt werden könnten. Dieses A existiert aber nur in deinem Verstand; in der

---

<sup>89</sup> Wer hier die konventionelle Interpretation der Quantentheorie berücksichtigen möchte, muss "gleiche Resultate" durch "gleiche Wahrscheinlichkeitsverteilungen" ersetzen und jedes Experiment als eine ganze Serie von Experimenten auffassen.

Wirklichkeit existieren nur die Einzelfälle, also die einzelnen Experimente. Das Allgemeine, dem die Einzelfälle unterordnet, ist nicht wirklich, sondern wird von dir über die Wirklichkeit gebreitet. Daher kann über das Experiment mit der Nummer 11 nichts Sicheres ausgesagt werden – es sei denn, du meinst, dass das von dir stammende Allgemeine Macht über die Natur hat."

Der *Naturwissenschaftler* darauf:

"Mein Allgemeines hat keine Macht über die Natur; es entspricht ihr nur – zumindest in guter Näherung!"

Der *Skeptiker*:

"Dein Allgemeines entspricht nicht *der Natur*; sondern nur den bisher beobachteten Fällen. Nichts berechtigt dich zu der Annahme, dass dieses Allgemeine auch in Zukunft gilt."

Der *Naturwissenschaftler*:

"Wenn es nur Einzelfälle gibt, die nichts voneinander wissen, wie willst du dann erklären, dass die Experimente mit den Nummern 1 bis 10 alle das gleiche Resultat haben? – und dass, nebenbei gesagt, ungeachtet deines Zweifels natürlich auch das nächste Experiment genau dasselbe Resultat haben wird?"

An dieser Stelle wollen wir die Diskussion abbrechen; Das Problem, um das es geht, ist deutlich genug zu erkennen:

*Die erfahrbare Wirklichkeit besteht nur aus Einzelfällen. Das Allgemeine in der Gestalt von Naturgesetzen existiert nur in der Beschreibung.*

*Wie lässt sich dann begründen, dass die beobachteten Einzelfälle – nicht nur die vergangenen, sondern auch die zukünftigen – den **von uns** aufgestellten Gesetzen gehorchen?*<sup>90</sup>

---

<sup>90</sup> Es sollte angemerkt werden, dass die skeptischen Argumente durch die moderne Naturwissenschaft erheblich an Gewicht verloren haben. Wenn in unserem Beispiel der Physiker behauptet, es sei 10 mal *dasselbe* Experiment durchgeführt worden, nur an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeitpunkten, dann sagt er damit nichts anderes, als dass die im Experiment ablaufenden Prozesse invariant gegenüber Verschiebungen im Raum und in der Zeit sowie gegenüber Drehungen im Raum sind. Homogenität der Zeit und des Raums sowie Isotropie des Raums sind aber fundamentale Prinzipien, deren Gültigkeit unbezweifelbar ist. Natürlich könnte weiterhin gefragt werden, ob sie auch in Zukunft – also *von jetzt an* – gelten, aber eine solche Auszeichnung eines bestimmten Zeitpunkts – eben des jeweils gegenwärtigen – erscheint doch mehr als absurd. Aber selbst



### ***1.3. Ein Widerspruch als Ausgangspunkt***

Die Annahme, dass die Naturgesetze *von uns* stammen und die Wirklichkeit sich nach ihnen richtet – Kants Position – führt zu unsinnigen Folgerungen und ist daher zu verwerfen.

Also muss die andere Annahme richtig sein, d.h. die Annahme, dass die Gesetzmäßigkeiten *in der Wirklichkeit* selbst liegen.

Dem steht allerdings entgegen, dass die Wirklichkeit *für uns* ausschließlich aus Einzelfällen zu bestehen scheint, was wiederum die Schlussfolgerung erzwingen würde, dass das Allgemeine in der Gestalt von Naturgesetzen doch nur *in uns* ist.

Damit sind wir abermals an einen grundsätzlichen Widerspruch gelangt, der aus einer Aussage über die Wirklichkeit folgt, wie sie *für uns* erscheint – und ich sage "abermals", weil uns ein Widerspruch dieser Art schon einmal begegnet ist, und zwar der Widerspruch, der sich daraus ergab, dass Seiendes *für uns* in *Substanz und Akzidens* zerfällt.

Wenn ein Widerspruch dieser Art auftritt, dann kann er nur *für uns* bestehen – die Wirklichkeit *an sich* ist widerspruchsfrei. Also muss ein Unterschied gemacht werden: zwischen dem, was die Wirklichkeit *an sich* ist und dem, wie sie *für uns* erscheint.

In diesem Fall tritt der Widerspruch auf, wenn wir annehmen, dass in der Wirklichkeit selbst kein Gesetz existiert und dass sie nur aus Einzelfällen besteht – eben so, wie es David Hume behauptet hat.

Daher gilt: So, wie die Wirklichkeit *an sich* nicht in *Substanz und Akzidens* geteilt ist, so zerfällt sie auch nicht in *Einzelnes und Allgemeines*, oder genauer: sie zerfällt nicht in *das, was ist* und *das Gesetz, dem es gehorcht*. Beides ist untrennbar verbunden.<sup>91</sup>

Das Problem, das in der Einleitung skizziert wurde, ist damit hinfällig. Das ganze Szenario muss neu analysiert und aufgebaut werden. Dieser Aufgabe werden wir uns nun zuwenden.

---

wenn man meint, der Zweifel an der künftigen Gültigkeit der Naturgesetze sei damit hinreichend beseitigt, bleibt doch die Unklarheit über den Zusammenhang von Einzelem und Allgemeinem und über die Herkunft und den Ort des Allgemeinen in der Form von Naturgesetzen bestehen.

<sup>91</sup> Die Frage, wie *Universalien* (Allgemeinbegriffe) entstehen und welche Art von Existenz sie haben, wird in 3.4. *Geordnete Zustände in neuronalen Netzen* beantwortet.

## 1.4. Die Herkunft der Naturgesetze

Der Aufbau des Szenarios beginnt mit dem *Ursprung des Seienden*. Zu Beginn des zweiten Teils haben wir ihn als das bestimmt, was *weder ist noch nicht ist* und was deshalb *notwendig* ist.<sup>92</sup>

Das, was er *an sich* ist, ist die Voraussetzung der Wirklichkeit. Das, was er *für uns* ist, ist die Voraussetzung der *Beschreibung* der Wirklichkeit.

Der *Ursprung des Seienden* zerfällt *an sich* nicht in Substanz und Akzidens und ist daher für uns undenkbar. Um ihn denken zu können, müssen wir ihn in Substanz und Akzidens teilen. Dann kann die Substanz zum Subjekt eines Satzes werden, und das Akzidens zum Prädikat. Und falls der Satz die Form einer Gleichung hat, wird die Substanz zum Träger der Variablen und das Akzidens wird zu ihrem Zusammenhang.

Was kann für die Aufstellung des ersten Satzes verwendet werden? Oder fragen wir so: Was *darf* verwendet werden, damit er als *Rechtfertigung des Allgemeinen* in der Gestalt von Naturgesetzen dienen kann?

Die folgenden drei Arten von Kenntnissen:

1. Wissen über die Wirklichkeit in Form einer allgemeinen Aussage, die keine Verallgemeinerung von Einzelfällen darstellt. (Wäre sie induktiv zustande gekommen, dann wäre sie als Ausgangspunkt der Begründung der Allgemeingültigkeit von Gesetzen ungeeignet.)
2. Die notwendigen und hinreichenden Bedingungen der Beschreibung der Wirklichkeit. (Das ist selbstverständlich: Da aus dem *Ursprung des Seienden an sich* alles Seiende entsteht, muss das, was er *für uns* ist, alles enthalten, was zur Beschreibung des Seienden erforderlich ist.)
3. Logische und mathematische Überlegungen. (An deren Allgemeingültigkeit ist nicht zu zweifeln. Allerdings kann natürlich auch nach der Herkunft von Logik und Mathematik gefragt werden. Das ist aber hier nicht von Bedeutung. Es wird das Thema des 6. Kapitels sein.)

Wir beginnen mit einer Feststellung, die unbezweifelbar wahr ist:

---

<sup>92</sup> Nachzulesen in Teil 2, ab 1.3. Ich werde die Ableitung der ersten Gleichung hier nochmals durchführen, aber ausführlicher und in etwas veränderter Form und außerdem unter besonderer Berücksichtigung der Rechtfertigung allgemeiner Aussagen über die Natur.

Wenn ausschließlich Voraussetzungen der eben genannten Art in die Ableitung des ersten Satzes eingehen, dann ist seine Allgemeingültigkeit garantiert: Er enthält dann ausschließlich Allgemeines und ist somit selbst ein Allgemeines.

Nun zur Ableitung:

Am Anfang steht das Wissen über die Wirklichkeit. Gibt es etwas Allgemeines, was wir über die Wirklichkeit wissen, und zwar *direkt*, also nicht durch Verallgemeinerung von Einzelfällen?

Die Antwort ist *ja*. Wir wissen genau das, was am Anfang von 1.3. im zweiten Teil festgestellt wurde: dass *wirklich existierende Objekte* – im Gegensatz zu Objekten eines Beschreibungssystems der Wirklichkeit – *aktiv* sind, d.h. dass sie irgendetwas *verändern*.

Ist das sicheres Wissen? Ja, das ist es. Hier ist die *Denknotwendigkeit*, die Hume einfordert und die der induktiv erschlossenen Kausalbeziehung fehlt: Was nichts verändert, also mit nichts anderem wechselwirkt, existiert nicht.

Daher muss das allgemeinste Prädikat *Veränderung* sein.

Am Beginn des zweiten Teils wurde der Ursprung des Seienden *für uns* als *Veränderung von AGENS* bestimmt. AGENS ist das, woraus alles entsteht, woraus alles Entstandene besteht und dem es seine Aktivität verdankt. AGENS ist jenes Nichts, in das sich das Subjekt möglicher Aussagen auflöst, wenn man versucht, den materiellen Träger der Eigenschaften elementarer Objekte zu bestimmen, das aber dennoch nicht einfach dem rein begrifflichen Nichts gleichgesetzt werden darf, da das rein begriffliche Nichts sich nicht verändern könnte.

AGENS bezeichnet also das, was verschwindet, wenn man versucht, es zu denken, von dem man aber zugleich weiß, dass es nicht Nichts sein kann. AGENS ist das allgemeinste Subjekt.

Lässt sich über dieses AGENS etwas sagen? Lässt es sich konkreter fassen?

Das ist tatsächlich möglich, und zwar auf Grund folgender Überlegung:

Der Ursprung des Seienden *an sich* ist genau dasjenige, was dem Seienden ontologisch vorausgesetzt ist, und sonst nichts. Demnach muss das, was er *für uns* ist, genau dasjenige sein, was der *Beschreibung* des Seienden logisch vorausgesetzt ist, und sonst nichts.

Was sind die Voraussetzungen der Beschreibung des Seienden?

Außer Logik und Mathematik – deren Gültigkeit hier als gegeben angenommen wird<sup>93</sup> – gibt es nur noch deren zwei: *Raum* und *Zeit*.<sup>94</sup>

Dass der *Raum* eine notwendige Voraussetzung ist, ist selbstverständlich. *Irgendeine* Art von Raum ist notwendig, um Seiendes und die Veränderung von Seiendem darstellen zu können. *Zeit* ist notwendig, weil es ohne Zeit keine Veränderung gäbe.

Raum und Zeit (in Verbindung mit Mathematik und Logik) müssen aber auch *hinreichende* Voraussetzungen der Beschreibung der Wirklichkeit sein – einfach deshalb, weil es keine weiteren gibt.

Somit sind Raum und Zeit notwendige und hinreichende Voraussetzungen der Beschreibung der Wirklichkeit. Also besteht AGENS aus Raum und Zeit. AGENS *ist* RAUM UND ZEIT.

Das bedeutet, dass RAUM UND ZEIT die **erste Substanz** bilden. Damit sind sie zugleich das Subjekt des allgemeinsten Satzes, dessen Prädikat das **erste Akzidens** – *Veränderung* – ist.

Wir haben also zunächst die Behauptung abgeleitet: *Für uns* ist der Ursprung des Seienden *Veränderung von Raum und Zeit*. Das bedeutet: Die Wirklichkeit entsteht *für uns* dadurch, dass Raum und Zeit sich ändern.

Ohne das Prädikat *Änderung* wäre Nichts. Aus der *Änderung* muss also etwas folgen, und diese Folge muss abermals eine *Änderung* von Raum und Zeit sein. Aber nur, wenn umgekehrt auch die erste *Änderung* aus der zweiten folgt, entsteht die unaufhörliche Kette von *Änderungen*, die sicherstellt, dass nicht Nichts ist. Auf diese Weise gelangen wir zu einer Gleichung:

[ (Änderung 1  $\Rightarrow$  Änderung 2) und (Änderung 2  $\Rightarrow$  Änderung 1) ]  $\Rightarrow$  Änderung 1 = Änderung 2

*Gesucht sind also zwei Änderungen von Raum und Zeit, die einander gleichzusetzen sind.*

Was bedeutet es, dass Raum und Zeit sich ändern?

---

<sup>93</sup> Es ist klar, dass Logik und Mathematik nicht irgendwo "außerhalb" existieren. Es gibt nur *eine* Wirklichkeit. Daher müssen auch die Bedingungen für die Entstehung von Logik und Mathematik schon im Anfangsszenario enthalten sein. Dies lässt sich aber nur als Teil eines erkenntnistheoretischen Zirkels verstehen, der erst am Ende des 6. Kapitel thematisiert wird. Da aber an der Allgemeingültigkeit von Logik und Mathematik kein Zweifel besteht, können sie hier vorausgesetzt werden – so, als kämen sie von "außen". Diese metaphysische Ungenauigkeit wird später korrigiert.

<sup>94</sup> Alternativ kann hier *Raum und Bewegung* gesetzt werden.

Es kann nur bedeuten, dass sich räumliche<sup>95</sup> und zeitliche *Maßstäbe* ändern. Das lässt sich durch die Variablen räumliche Dichte  $\sigma$  und zeitliche Dichte  $\zeta$  ausdrücken, die intuitiv verständlich sind.

Dabei ist aber Folgendes zu beachten: Was auch immer aus einer Veränderung dieser Variablen folgt, darf nicht von einer *absoluten* Größe (der Länge oder der Zeit) abhängen: Wir sind ja hier erst bei der *Begründung* von Existenz, d.h. *vor* allem Existierenden, und es gibt daher nichts, worauf eine Länge oder Dauer bezogen werden könnte.

Die Bedingung, dass die Folgen der Variablenänderungen von keinem Absolutwert abhängig sein dürfen, lässt sich mathematisch dadurch realisieren, dass nur *relative Längenänderungen* berücksichtigt werden.  $\sigma$  und  $\zeta$  sind also keine "normalen" Dichten, da sich diese auf einen festen Ausgangswert beziehen.<sup>96</sup>

Ich nenne  $\sigma$  und  $\zeta$  *metrische Dichten*. (Zur Definition von  $\sigma$  siehe Teil 2, 1.4 und 2.3;  $\zeta$  wird analog definiert.) Sie sind dimensionslos:  $\sigma$  ist definiert als Länge pro Länge,  $\zeta$  als Zeit pro Zeit.

Die Aussage, dass nichts existiert, was als gegebenes, feststehendes Maß für Längen und Zeiten dienen könnte, ist äquivalent zu der Aussage, dass es *kein Gedächtnis* gibt, und das heißt, dass nur aus dem, was sich gegenüber dem jeweils unmittelbar vorangegangenen Augenblick ändert, überhaupt etwas folgen kann – alles andere ist "vergessen".

Die alltagssprachliche Wendung "Änderung gegenüber dem vorangegangenen Augenblick" lässt sich durch das mathematische Konzept des *Differenzialquotienten* in eine exakte Form bringen:

Wenn sich eine Variable  $p$  "von Augenblick zu Augenblick" ändert, wird das in der Form  $\frac{dp}{dt} \neq 0$  ausgedrückt. Aus Dimensionsgründen, die im Folgenden klar werden, muss allerdings anstelle von  $t$  als Zeitkoordinate  $ct$  gewählt werden, wobei  $c$  eine Konstante ist, die die Dimension einer Geschwindigkeit hat.

---

<sup>95</sup> Der Einfachheit halber beschränke ich mich hier auf Längenänderungen. Winkeländerungen sind völlig analog.

<sup>96</sup> Es wäre unsinnig, dem Raum oder der Zeit eine "normale" Dichte zuzuschreiben. Man denke sich etwa die Zahlengerade, die einen eindimensionalen Raum darstellt; Wenn man den Bereich zwischen 0 und 100 so zusammen schiebt, dass er nur noch die Länge hat, die zuvor der Bereich zwischen 0 und 1 hatte, dann kann nicht behauptet werden, dass nun die Dichte größer wäre. Metaphysisch ausgedrückt: Hier ist deutlich erkennbar, dass das, was sich ändert, tatsächlich *nicht existiert*.

Welche Parameter können sich ändern? Es gibt in unserem Szenario nur zwei: die räumliche Dichte  $\sigma$  und die zeitliche Dichte  $\zeta$ .

Beginnen wir mit einer zeitlichen Änderung von  $\zeta$ . Diese Änderung wird der erste Term der fundamentalen Gleichung sein. Zunächst notieren wir:

$$\forall (r,t): \quad \frac{d\zeta}{d(ct)} \neq 0; \quad (\zeta = \zeta(t))$$

*Die zeitliche Änderung der metrischen Dichte der Zeit ist nirgends gleich 0.*

Warum? Das muss so sein, weil es die Dichte der Zeit selbst überhaupt nicht gibt, sondern nur ihre zeitliche Änderung. Metaphysisch ausgedrückt: Ohne Änderung wäre Nichts.

Um zu unserer Gleichung zu gelangen, benötigen wir einen zweiten Term. Da die Gleichung eine Änderung von Raum und Zeit beschreibt und der erste Term eine Änderung der Zeit ist, muss es sich beim zweiten Term um eine Änderung des Raums handeln, also entweder um  $\frac{d\sigma}{dr}$  oder um  $\frac{d\sigma}{d(ct)}$ .

Wenn wir  $\frac{d\sigma}{d(ct)}$  als zweiten Term dieser Gleichung wählten, würde daraus nichts folgen. Also müssen wir  $\frac{d\sigma}{dr}$ , die Änderung der Länge pro Länge wählen. Die *einfachste* Gleichung<sup>97</sup>, die sich aufstellen lässt, lautet somit:

$$\frac{d\sigma}{dr} = \pm \frac{d\zeta}{d(ct)} \tag{0}$$

Mathematisch gesehen ist das einfach eine Gleichung. Ontologisch gesehen ist es jedoch das, was der Entstehungsvorgang der Wirklichkeit *für uns* ist: ***der grundlegende Mechanismus des Universums***.

---

<sup>97</sup> Zur Forderung größtmöglicher Einfachheit wird gleich anschließend noch etwas zu sagen sein. Zunächst aber führen wir noch die weiteren Schritte durch.

Damit sind wir an jenem Punkt angelangt, der für das Verständnis des Zusammenhangs von Einzelem und Allgemeinem entscheidend ist:

Mit Gleichung (0) kehrt sich das Verhältnis von Einzelfall und Gesetz um; Gleichung (0) ist nicht, wie andere Naturgesetze, aus beobachteten Sachverhalten erschlossen. Sie entstammt nicht der Erfahrung, sondern notwendigen metaphysischen Bedingungen und Schlussfolgerungen. Die Gleichung beschreibt *die Erzeugung der Wirklichkeit*. Sie ist der Wirklichkeit also nicht nachgeordnet, sondern ihr vorangestellt.

*Gleichung (0) ist das Gesetz, das, indem es sich vollzieht, zu dem wird, was der Fall ist. Das Allgemeine wird zum Einzelfall.*

Die Allgemeingültigkeit dieser Gleichung ist in den Bedingungen enthalten, aus denen sie folgt. Es scheint allerdings zunächst möglich, dass sie nur für eine bestimmte Größe der beiden Differenzialquotienten gelten könnte. Das kann auf folgende Weise ausgeschlossen werden:

Bezeichnen wir die beiden in Gleichung (0) vorkommenden Differenzialquotienten als  $x$  und  $y$ . Wählen wir  $x$  und  $y$  als Achsen eines kartesischen Koordinatensystems.  $x = y$  ist in diesem Koordinatensystem die 45°-Gerade durch den Ursprung. Nehmen wir nun an, es gäbe nur einen einzigen Wert  $x_0$  bzw.  $y_0$  der beiden Differenzialquotienten, für den Gleichung (0) erfüllt ist.  $(x_0, y_0)$  seien die Koordinaten des Punktes  $Q(x_0, y_0)$  auf der Geraden.

Jetzt berücksichtigen wir die Tatsache, dass es *keine Größe* gibt und dass sich (0) nur auf Änderungen von *Verhältnissen* von Längen bezieht.

Mathematisch bedeutet das, dass in unserem  $(x, y)$ -Koordinatensystem die Einheiten nach Belieben festgelegt werden können. Dadurch wird auch die Lage des Punktes  $Q$  auf der Geraden beliebig. Das heißt aber nichts anderes, als dass zwischen der Gültigkeit der Gleichung  $x_0 = y_0$  für ein bestimmtes  $Q(x_0, y_0)$  auf der Geraden und der Gültigkeit der Gleichung  $x = y$  für alle  $Q(x, y)$ , also für die ganze Gerade, nicht unterschieden werden kann.<sup>98</sup>

---

<sup>98</sup> Dieser Gedankengang ist auch für Überhaupt-Nicht-Mathematiker leicht zu veranschaulichen. Man denke sich ein (sehr großes) Blatt Papier, auf dem die  $x$ - und  $y$ -Achse zueinander rechtwinklig eingezeichnet sind und dazu die 45° Gerade  $x = y$ . *Es gibt keine Größe* ist nun gleichbedeutend mit *Die Entfernung, aus der das Papier betrachtet wird, ist gleichgültig*. Und das ist deshalb so, weil man aus jeder Entfernung *dasselbe* sieht. Erst wenn Einheiten festgelegt werden und die entsprechenden Punkte auf den beiden Achsen eingetragen werden, lässt sich ein entfernungsabhängiger Unterschied feststellen.

Daraus folgt: Die aus zwei Teilen bestehende Aussage

[ (0) gilt für Punkte des Raum-Zeit-Kontinuums mit einem bestimmten Wert der beiden Differenzialquotienten ] und [ es gibt keine Größe ]

ist äquivalent zur Aussage

[ (0) gilt für alle Punkte des Raum-Zeit-Kontinuums ]

**Also ist der durch (0) ausgedrückte Sachverhalt zugleich Einzelnes und Allgemeines. Hier ist Einzelnes und Allgemeines nicht mehr unterscheidbar.**

Die soeben durchgeführte Schlussfolgerung ist nur dann möglich, wenn der Zusammenhang der beiden Differenzialquotienten bestimmten Anforderungen genügt. *Linearität* ist die *einfachste* Möglichkeit.

Ich habe diesem Gedankengang ein wenig mehr Raum gegeben, weil sich in ihm die Tatsache spiegelt, dass – wie in 1.3. festgestellt – Allgemeines und Einzelnes *an sich* nicht getrennt sind. Diese Untrennbarkeit kann zwar nicht direkt gedacht werden – ebenso wenig wie die Ungetrenntheit von Substanz und Akzidens –, aber die oben durchgeführte Überlegung ermöglicht eine Annäherung.

Es lässt sich auch erkennen, dass die Ungetrenntheit von Einzelnem und Allgemeinem *für uns* nur besteht, solange der Zusammenhang (0) für sich allein betrachtet wird – als differenzieller Sachverhalt, der *vor aller Existenz* ist. Wenn er sich jedoch vollzieht, wenn er also das Gewebe der Wirklichkeit erzeugt, dann trennt sich das Einzelne vom Allgemeinen auf folgende Weise:

Dass die metrischen Dichten  $\sigma$  und  $\zeta$  kein Gedächtnis haben, gilt nur für den differenziellen Zusammenhang selbst. Um aber einen endlichen Bereich der Wirklichkeit beschreiben zu können, muss man  $\sigma(r,t)$  bzw.  $\zeta(r,t)$  explizit bestimmen – man muss also integrieren. Der Anfangswert bleibt dann zwar immer noch beliebig, aber dadurch, dass sich jede differenzielle Änderung auf die vorhergehenden differenziellen Änderungen bezieht, entsteht ein Gedächtnis. Alle weiteren mathematischen Folgerungen hängen dann vom gewählten Anfangswert ab. Die Skaleninvarianz des differenziellen Gesetzes verschwindet. Man könnte das so ausdrücken:

Der differenzielle Zusammenhang, der das Gewebe der Wirklichkeit bildet, hat kein Gedächtnis und kennt keine Größe. Indem er die Wirklichkeit hervorbringt, erzeugt er zugleich ein Gedächtnis und Größenverhältnisse. Auf diese Weise wird das, was zuvor Einzelnes – abstrakter Sachverhalt – und



zugleich Allgemeines – fundamentales Gesetz – war, zum Einzelnen: zu dem, was der Fall ist; Aber nur *für uns; an sich* trägt das, was jeweils der Fall ist, das Einzelne, stets das Allgemeine in sich.

Noch ein letzter Schritt: Damit Gleichung (0) als Basis einer physikalischen Beschreibung der Wirklichkeit dienen kann, muss sie in eine dynamische Gleichung umgeformt werden. Das gelingt *am einfachsten* dadurch, dass die dimensionslose Größe  $\zeta$  als Quotient zweier Geschwindigkeiten aufgefasst wird. *Eine* Geschwindigkeit ist in (0) in Gestalt der Konstanten  $c$  schon vorhanden. Da nur das notwendige Minimum an Größen erlaubt ist, verwenden wir  $c$  auch bei der Definition von  $\zeta$ . Also setzen wir:

$$\zeta = \frac{v}{c}$$

$c$  ist konstant,  $v$  ist die Variable. Gleichung (0) wird dann zu

$$\frac{d\sigma}{dr} = \pm \frac{d \frac{v}{c}}{d(ct)} \quad (0')$$

bzw. 
$$\frac{d\sigma}{dr} = \pm \frac{1}{c^2} \frac{dv}{dt} \quad (1)$$

– und damit sind wir wieder zu derselben Gleichung gelangt wie im zweiten Teil.

(1) ist zu jedem Zeitpunkt und an jedem Ort der Wirklichkeit erfüllt; (1) ist die Gleichung, die die *Erzeugung* der Wirklichkeit beschreibt.

*Die Wirklichkeit ist ein differenzielles Gewebe aus Änderungen von Raum und Zeit, die sich gegenseitig bedingen.*

Alles, was existiert und was sich ereignet – jedes Objekt, jede Wechselwirkung, jeder Prozess – ist ein Muster aus Veränderungen der Bewegung von AGENS.

## Bemerkungen

1. Zunächst drei Ergänzungen:

a) Der Grundbegriff "Zeit" kann durch den Grundbegriff "Bewegung" ersetzt werden. Statt der Begriffe *Raum und Zeit* können also auch die Begriffe *Raum und Bewegung* als notwendige und hinreichende Voraussetzungen der Beschreibung des Seienden gewählt werden. Dann sind *deren* Änderungen – also die beiden Differenzialquotienten  $d\sigma/dr$  und  $dv/dt$  – einander gleichzusetzen, und  $1/c^2$  ergibt sich als Proportionalitätsfaktor. So gelangt man direkt zu (1)

$$\frac{d\sigma}{dr} = \pm \frac{1}{c^2} \frac{dv}{dt} \quad (1)$$

b) Wenn man statt mit einer zeitlichen Änderung von  $\zeta$  mit einer zeitlichen Änderung von  $\sigma$  beginnt, dann erhält man

$$\frac{dv}{dr} = \pm \frac{d\sigma}{dt} \quad (1a)$$

(Siehe Teil 2, 1.5). Aus (1) und (1a) folgt die Wellengleichung

$$\frac{\partial^2 v}{\partial r^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \quad (2)$$

c) Gleichung (1) hat zwei Interpretationen: Statt als metrische Dichte der Länge kann  $\sigma$  auch als metrische Dichte des Winkels interpretiert werden. (Teil 2, 1.4).

2. Beim Übergang von (0) auf (0') wurde  $\zeta$  gleich  $v/c$  gesetzt.

Daraus folgt dass  $v/c$  als *metrische Dichte der Zeit* aufgefasst werden muss.

Hier zeigt sich die relativistische Tatsache, dass die Zeit bei zunehmender Geschwindigkeit gedehnt wird, und dass der Raum sich zugleich verkürzt. (Unter der Bedingung, dass in (0) und (0') auf der rechten Seite das negative Vorzeichen gewählt wird.)

### 3. Zur Frage der *Einfachheit* von Gleichung (1):

Abgesehen davon, dass es ein Gebot der Vernunft ist, mit der einfachsten Gleichung zu beginnen – und weil Ockhams Messer ohnehin alles Zusätzliche wegschneiden würde –, lässt sich auch noch ein metaphysisches Argument anführen, warum die erste Gleichung die einfachst-mögliche Gestalt haben muss und nichts Überflüssiges enthalten darf. Folgendermaßen:

Am *Ursprung des Seienden* finden sich zwei Arten von Notwendigkeit:

Erstens stellt er die notwendige (und hinreichende) Bedingung für Seiendes dar. Zweitens ist an ihm aber noch eine viel grundsätzlichere Art der Notwendigkeit – eben diejenige, die daraus folgt, dass er weder ist noch nicht ist. Für alles, was existiert, besteht die Alternative, dass es *nicht* existiert. Aber für das, was weder existiert noch nicht existiert, gibt es diese Alternative nicht – es ist also notwendig.

Die Frage ist nun, ob diese metaphysische Notwendigkeit eine Entsprechung auf der Seite der Beschreibung hat. Ich denke, dass das der Fall ist, und ich hoffe es gelingt mir zu zeigen, warum ich das denke, ohne in Verdacht zu geraten, ins Irrationale abzugleiten.

Dass der Ursprung des Seienden notwendig ist bedeutet zugleich, dass an ihm nichts Überflüssiges sein darf. Wir können nicht denken, *was* er "ist", aber *was* er auch ist, ist frei von allem Überflüssigen. Er "enthält" nur genau das, was ihn zu dem macht, was er ist: das einzig Unbedingte.

Deshalb sollte das, was der Ursprung des Seienden *für uns* ist, als *das, was es ist*, ebenfalls nur das enthalten, wodurch es zu genau diesem wird.

*Für uns* ist der *Ursprung des Seienden* der Ursprung der Beschreibung des Seienden: eine Gleichung, die eine Beziehung zwischen zwei Differenzialquotienten herstellt.

Wodurch wird eine Gleichung zu einer Gleichung? Oder fragen wir konkreter: was lässt sich aus Gleichung (0) entfernen, ohne dass sie aufhört, eine Gleichung zu sein?

Da die Differenzialquotienten selbst vorgegeben sind, ist die Antwort *nichts*. Gleichung (0) hat die einfachst-mögliche Gestalt.

Umgekehrt gilt natürlich, dass alles, was zu (0) hinzugefügt werden könnte, nicht notwendig und daher überflüssig ist. Jeder weitere Term, jede zusätzliche Variable, jeder Faktor, jeder Exponent ungleich 1 – der ja eine zusätzliche Rechenoperation bedeuten würde – wäre überflüssig.

Gleichung (0) enthält also ausschließlich das, was sie zu einer Gleichung macht, d.h. nur das, was sie zu genau *dem* macht, *was sie ist*, und damit stellt sie die Entsprechung zur metaphysischen Notwendigkeit des *Ursprungs des Seienden* dar.

4. Zuletzt sollte nicht unerwähnt bleiben, dass (1) allem widerspricht, was gegenwärtig in der Physik – und auch außerhalb der Physik – für sicheres Wissen über die Grundlagen des Seienden gehalten wird.

Aber darauf bin ich ja im ersten Teil ausführlich eingegangen.

## ***1.5. Folgerungen***

Die soeben durchgeführte Ableitung führt zu Änderungen der Sicht von Raum, Zeit und Materie: Materie und Raum werden unter einen Begriff gebracht, und als unmittelbare Folgerung ergibt sich, dass die Zeit eine Richtung hat. Da ich bisher verabsäumt habe, explizit auf diese Änderungen hinzuweisen, will ich das jetzt – am Ende des physikalischen Teils meiner Arbeit – mit einigen Bemerkungen nachholen.

### **Die Aufhebung der Trennung von Raum und Materie**

In der Standardphysik sind Raum und Materie voneinander getrennt. Durch das Konzept des Quantenvakuums wird zwar die Grenze zwischen beiden durchlässig, aber der Gegensatz zwischen den beiden Begriffen wird dadurch nicht aufgehoben: Auch wenn Teilchen im Vakuum entstehen können, bleibt doch der Begriff des Teilchens dem Begriff des Raumes vollkommen fremd. Es ist daher unmöglich zu beantworten, warum Masse in der Gestalt materieller Objekte den Raum bzw. die Raumzeit krümmt. Auch der Begriff "Energie" kann hier nicht vermitteln, denn es ist ebenso wenig klar, warum Energie die Raumzeit verändert.

Bei der hier präsentierten Sicht gibt es keine substanzielle Trennung von Raum und Materie (bzw. Energie). Die Gleichungen (1) und (2) beschreiben die Erzeugung der *gesamten* Wirklichkeit, also des Raums *und* der Materie. In diesem Sinn sind also Raum und Materie *dasselbe*; Genauer: Sie sind *verschiedene Zustände desselben*:

*Materielle Objekte* sind (annähernd) stationäre Zustände von metrischen Flüssen und Wellen, *Raum* ist jener Bereich von metrischen Flüssen und Wellen, wo solche stationären Zustände entweder ganz fehlen oder nur kurzzeitig auftreten.

*Für uns* findet der Erzeugungsprozess der Wirklichkeit *im* Raum statt. *An sich* existiert aber kein Raum, in dem sich dieser Prozess vollzieht – der Darstellungsraum bildet nur den Hintergrund, auf den *wir* die Veränderungen beziehen müssen, weil wir das, was sich verändert, nur *im Raum* denken können. *An sich* gibt es jedoch nur Veränderung: der Raum, der sich nicht ändert, existiert nicht, und dasselbe gilt für die Zeit.

### **Die Unmöglichkeit einer Umkehrung der Zeitrichtung**

Es wird von vielen Physikern als unbefriedigend empfunden, dass innerhalb der Standardphysik die Richtung der Zeit nur als statistisches Phänomen verstanden werden kann.

Die Gleichungen, durch die physikalische Prozesse beschrieben werden, sind zeitsymmetrisch. Deshalb sind *im Prinzip* auch die Prozesse selbst zeitlich umkehrbar, und es liegt nur an der – meist extrem geringen – Wahrscheinlichkeit der Ausgangsbedingungen, die für den umgekehrten Verlauf erforderlich wären, dass eine solche Zeitumkehr nie beobachtet wird. Man denke etwa an das bekannte Beispiel des Glases, das zu Boden fällt und zerspringt; *Im Prinzip* könnte sich auch der umgekehrte Vorgang ereignen: die Bruchstücke erheben sich vom Boden, fügen sich zum Glas zusammen und landen auf dem Tisch. Die für dieses absurde Ereignis notwendige koordinierte Wärmebewegung der Bodenmoleküle sowie der Glasmoleküle ist jedoch so extrem unwahrscheinlich, dass ausgeschlossen werden kann, dass es jemals geschieht.

Ähnliches gilt für Prozesse der Musterbildung, die in Systemen mit Selbstorganisation auftreten, wie sie durch die Chaodynamik beschrieben werden. In der mathematischen Darstellung werden die entstehenden Muster durch chaotische Attraktoren im einem Phasenraum<sup>99</sup> repräsentiert. Jeder Attraktor hat ein Einzugsgebiet, innerhalb dessen jede Trajektorie dem Attraktor zustrebt. Das bedeutet, dass hier eine Richtung der Zeit existiert.

Aber auch hier gilt wieder, dass *im Prinzip* auch die umgekehrte Trajektorie möglich ist (für  $t \rightarrow -t$ ), und dass es nur äußerst unwahrscheinlich ist, dass die zeitliche Entwicklung des Systems entlang dieser umgekehrten Trajektorie verläuft.<sup>100</sup>

---

<sup>99</sup> Unter einem Phasenraum bzw. Zustandsraum eines Systems versteht man einen Raum, dessen Koordinaten den Werten von Variablen entsprechen, durch die die zeitliche Entwicklung des Systems beschrieben werden kann. (Also z.B. die Orte und Impulse aller Teilchen, aus denen das System besteht.) Ein Punkt im Phasenraum repräsentiert somit den Zustand des ganzen Systems zu einem bestimmten Zeitpunkt, und die Bewegung des Punktes entlang einer Bahn (Trajektorie) stellt die zeitliche Entwicklung des Systems dar.

<sup>100</sup> Eine Vertiefung dieser Frage, die zu einer ganz andere Sichtweise führt, folgt in [4.6.](#) und [4.7.](#)

In einem Universum, dessen fundamentales Gesetz Gleichung (1) ist, ändert sich dieser Sachverhalt jedoch auf grundlegende Weise:

In einem solchen Universum sind *alle* Strukturen Muster der eben beschriebenen Art. Daher ist die Zeit überall gerichtet. Nun ist es aber nicht mehr, wie in der Standardphysik, irgendein System von endlich vielen Teilchen, das sich selbst dynamisch zu Mustern organisiert, sondern ein *Kontinuum*.

Daraus folgt, dass die Wahrscheinlichkeit, dass sich irgendeines der selbstorganisierenden Systeme – oder auch das Universum insgesamt – entlang einer im Einzugsbereich eines Attraktors liegenden und auf diesen zu laufenden Trajektorie *in umgekehrter Richtung* bewegt, tatsächlich *Null* ist.

Das ist aber nicht etwa ein bloß quantitativer, sondern vielmehr ein fundamentaler qualitativer – oder sagen wir besser: ein ontologischer Unterschied zur üblichen Sichtweise: Zeitumkehr ist nun nicht mehr bloß unwahrscheinlich – sie ist *unmöglich*.

Anders gesagt: die Richtung der Zeit ist eine Notwendigkeit.

## ***1.6. Zusammenfassung des Verhältnisses von Einzelfall und Gesetz***

Die Wirklichkeit tritt uns als das entgegen, was der Fall ist. Es scheint, als bestünde die Wirklichkeit nur aus Einzelfällen und als wäre in ihr nichts Allgemeines zu finden.

Andererseits muss es das naturgesetzliche Allgemeine in der Wirklichkeit geben, sonst wären die durch Gleichungen beschreibbaren geordneten Abläufe in der Natur nicht möglich.

Nennen wir diesen scheinbar unauflösbaren Widerspruch *das Paradoxon des Allgemeinen*.

Auch wenn man das Seiende bis zu den elementaren Objekten und den sie beschreibenden Gesetzen von höchster Allgemeinheit hin verfolgt, bleibt der Widerspruch bestehen: Das Seiende selbst bleibt nach wie vor Einzelnes, und das Allgemeine ist bloß in der Beschreibung vorhanden. Am Seienden selbst kann also keine Lösung gefunden werden.<sup>101</sup>

---

<sup>101</sup> Manche Physiker meinen, das Problem des Allgemeinen in der Wirklichkeit werde durch die Ununterscheidbarkeit von Elementarteilchen gelöst. In meiner Interpretation der Quantentheorie sind Elementarteilchen jedoch stationäre Wellenzustände, die sich durch genau diejenigen verborgenen Parameter voneinander unterscheiden, durch die im ersten Teil die scheinbare Nichtlokalität beseitigt werden konnte.

Daher ist es abermals erforderlich, einen Schritt weiter zu gehen – über das Seiende hinaus zum *Ursprung des Seienden*. Da auf ihn alles Seiende zurückgeht, muss er sowohl der Ursprung des Einzelnen sein wie auch des Allgemeinen, das im jeweils Einzelnen gegenwärtig ist.

*Für uns* nimmt der Ursprung des Seienden die Form einer Aussage an, die von größtmöglicher Allgemeinheit und deshalb fundamental ist. Sie handelt noch nicht von Seiendem selbst, sondern von den Voraussetzungen des Seienden: Raum und Zeit. Sie lautet:

*Die zeitliche Änderung der metrischen Dichte der Zeit ist gleich der räumlichen Änderung der metrischen Dichte des Raumes.*

Diese Aussage erfüllt die beiden Bedingungen, die für die Begründung der Gültigkeit allgemeiner Aussagen notwendig und hinreichend sind: *Erstens* beruht sie auf sicherem allgemeinem Wissen – also solchem, das keine Abstraktion von Seiendem darstellt, d.h. keine Verallgemeinerung von Einzelfällen –, und *zweitens* beschreibt sie das, was *allem* Seienden vorausgesetzt ist: sie ist die Beschreibung des Sachverhalts, der die Wirklichkeit hervorbringt.

Für sich betrachtet, kennt dieser Sachverhalt keine Größe und hat kein Gedächtnis. Er ist zugleich Einzelnes und Allgemeines.

Indem er die Wirklichkeit hervorbringt, erzeugt er zugleich ein Gedächtnis und Größenverhältnisse und wird auf diese Weise zu dem, was jeweils der Fall ist.

Die fundamentale Aussage hat in Bezug auf die Beschreibung der Wirklichkeit genau den Status, den der *Ursprung des Seienden* in Bezug auf die Wirklichkeit selbst hat: So, wie aus diesem die Wirklichkeit hervorgeht, so geht aus ihr die Beschreibung der Wirklichkeit hervor.

Sie "vererbt" ihre Allgemeingültigkeit auf alle Aussagen, die aus ihr abgeleitet werden können. Falls sie wahr ist, sind das alle ableitbaren wahren Aussagen über die Natur.

Allerdings können wir ja nicht wissen, ob die von uns vermuteten Naturgesetze wahr sind, solange ihre Ableitbarkeit aus der fundamentalen Aussage nicht nachgewiesen ist. Kann trotz dieser Unklarheit etwas über ihre Allgemeingültigkeit gesagt werden?

Ja. Wenn ein bestimmtes von uns vermutetes Gesetz A' zumindest eine Näherung eines korrekten Gesetzes A darstellt, dann wissen wir zwar nicht, ob A' in allen Fällen zutrifft, aber wir wissen, dass es nur deshalb in manchen Fällen von der Realität abweicht, weil es eine Näherung darstellt, und nicht, weil wir an seiner Allgemeingültigkeit zweifeln müssten.

Die Allgemeingültigkeit vererbt sich also vom fundamentalen Gesetz nicht nur auf die aus ihm abgeleiteten Gesetze, sondern auch auf deren Näherungen. Auch von einem nur näherungsweise gültigen Gesetz können wir also zu Recht erwarten, dass es auch in Zukunft in allen Fällen zutreffen wird, die denen gleichen, in denen es sich schon bewährt hat.<sup>102</sup>

Damit ist das Begründungsproblem allgemeiner Aussagen beseitigt, das *Paradoxon des Allgemeinen* hat sich aufgelöst: Unsere Überzeugung, dass Gesetze allgemein gelten, ist gerechtfertigt. Das wurde durch die Aufklärung der Herkunft des Allgemeinen in der Gestalt von Naturgesetzen erreicht.

Dadurch wurde zugleich die *Richtung* der Erkenntnis umgekehrt, so dass nun anstelle von Induktion Deduktion auftritt; es wird nicht mehr vom Einzelnen auf Allgemeines geschlossen, sondern vom Allgemeinen auf Einzelnes. Was also das *Induktionsproblem* betrifft, löst es sich dadurch auf, dass gar keine Induktion mehr benötigt wird.

Wir erfahren die Wirklichkeit in Form von Phänomenen, die Regelmäßigkeiten aufweisen. Diese Regelmäßigkeiten können wir zunächst nicht begründen, ja es gelingt uns nicht einmal, sie für wirklich zu halten – das Allgemeine entschwindet uns. Wenn wir aber das Verhältnis von Einzelnem und Allgemeinem von den Voraussetzungen des Seienden her analysieren, erkennen wir, dass beide, das Phänomen und sein Gesetz, demselben letzten Grund entstammen.

In jedem Einzelnen ist immer auch das Allgemeine – es ist daraus gemacht.

### Addendum

Ich sollte noch ein wenig ausführlicher darauf eingehen, *wie* sich die Allgemeingültigkeit vom fundamentalen Gesetz auf andere Gesetze überträgt.

Ich beginne mit der Frage: *Weshalb ist Induktion nicht zulässig?*

Nennen wir die Annahme, dass identische Sachverhalte identische Folgen haben, das *Prinzip der Identität*.

Dann ist die Antwort auf die obige Frage: *Weil das Prinzip der Identität nicht vorausgesetzt werden kann.*

---

<sup>102</sup> Daraus folgt auch, dass es nicht notwendig ist, anzunehmen, dass die hier abgeleitete fundamentale Aussage wahr ist. Für die Rechtfertigung allgemeiner Aussagen genügt die Annahme, dass eine fundamentale wahre Aussage existiert. Sie muss nicht bekannt sein.



Das ist der eigentliche Kern des Induktionsproblems, und genau dieser Mangel wird durch das fundamentale Gesetz behoben.

Allerdings ist es ein rein differenzielles Gesetz. Es sorgt also zunächst nur dafür, dass das Prinzip der Identität für *differenzielle Sachverhalte* – d.h. für differenzielle räumliche und zeitliche Umgebungen von Punkten des Kontinuums – gültig ist.

Betrachten wir nun irgendeinen Bereich der Wirklichkeit von endlicher Ausdehnung zu einem bestimmten Zeitpunkt. Nennen wir einen solchen Zeitschnitt einen *ausgedehnten Sachverhalt*. Dann gilt:

Jeder ausgedehnte Sachverhalt kann als überabzählbare Menge von differenziellen Sachverhalten betrachtet werden, die auf bestimmte Weise angeordnet sind und für die das fundamentale Gesetz gilt.

Daher kann das Prinzip der Identität auf ausgedehnte Sachverhalte übertragen werden: identische ausgedehnte Sachverhalte müssen dieselben Folgen haben.

Damit ist das Induktionsproblem gelöst. Die Allgemeingültigkeit von Gesetzen und ihr Weiterbestehen in der Zukunft sind bewiesen.<sup>103 104</sup>

Dieser Gedankengang lässt allerdings ein ganz anderes Problem sichtbar werden: Wenn die Wirklichkeit als Gewebe aus differenziellen Sachverhalten aufgefasst wird, dann ist die Wahrscheinlichkeit, dass zwei Bereiche der Wirklichkeit völlig identisch sind, offenbar gleich Null.

Also wird das Prinzip der Identität gerade durch seine Begründung zugleich in seiner Anwendbarkeit begrenzt. Von dieser essentiellen Begrenzung und ihren weitreichenden Folgen wird im 4. und 6. Kapitel die Rede sein.

---

<sup>103</sup> Die Frage, wie das Allgemeine in der Gestalt von *Universalien* in unser Denken gelangt, wird – wie bereits erwähnt – im Abschnitt 3.4. *Geordnete Zustände in neuronalen Netzen* beantwortet.

<sup>104</sup> Zuletzt noch eine Anmerkung zu Karl Poppers Vorschlag, Induktion durch Falsifikation zu ersetzen. Dies ist *keine* Lösung des Induktionsproblems, und zwar aus folgendem Grund: Wenn das *Prinzip der Identität* nicht schon vorausgesetzt werden kann (dass die Natur sich in identischen Fällen künftig genauso verhalten wird wie sie sich bisher verhalten hat), dann folgt aus der Tatsache, dass ein Einzelfall einem Gesetz widerspricht, *nichts*. Das Gesetz könnte ja tatsächlich wahr gewesen sein, nur hält sich die Natur eben nicht mehr daran.

Das bedeutet: nur wenn die *Existenz* wahrer allgemeiner Aussagen über die Wirklichkeit vorausgesetzt wird, ist Falsifikation möglich. Da Popper diesen Existenzbeweis aber nicht führt, löst er das Induktionsproblem nicht, er setzt im Gegenteil Induktion voraus.

## 2. Geist und Materie: Vorbereitende Bemerkungen

### 2.1. Einleitung: Ein fundamentaler Mangel

Können wir die Welt begreifen?

"Keinesfalls!" entgegnet die gegenwärtige Physik und liefert scheinbar unwiderlegbare Beweise: etwa das Doppelspaltexperiment, das angeblich auf keine denkmögliche Weise beschreibbar ist, oder die Bellsche Ungleichung, die jede lokale Interpretation der Welt ausschließen soll, oder die relativistischen Raum-Zeit-Verhältnisse, von denen behauptet wird, dass sie unserer *a priori* vorgegebenen Vorstellung von Raum und Zeit widersprechen.

Wenn die üblichen Interpretationen dieser Szenarien tatsächlich die einzig möglichen wären, dann würde jeder Versuch, herauszufinden, *was* die Wirklichkeit ist und *woraus* sie besteht, augenblicklich scheitern, ja er wäre geradezu unsinnig, weil unsere Begriffsbildungen dann zum Verständnis der Wirklichkeit offenbar vollständig ungeeignet wären.

Glücklicherweise hat sich herausgestellt, dass dieser unerfreuliche Befund falsch ist. Im ersten Teil ist gezeigt worden, dass sich nicht nur die eben erwähnten, sondern auch viele andere paradigmatische physikalische Szenarien auf einsichtige Weise begrifflich interpretieren und verstehen lassen, und dass sich die einzelnen Interpretationen zu einem alternativen Bild der Wirklichkeit zusammenfügen, aus dem alle Absurditäten verschwunden sind.

Aber selbst wenn nun vorausgesetzt werden könnte, wir verstünden die Natur und die uns bekannten Naturgesetze seien wahr, so wäre doch der dadurch gewonnene Begriff der Wirklichkeit noch immer unvollständig und zutiefst unbefriedigend, weil in ihm jener Bereich der Wirklichkeit, den wir *Geist* nennen, nicht enthalten ist; – und mehr noch: weil es, trotz gegenteiliger Behauptungen von Seiten mancher Hirnforscher, innerhalb des gegenwärtig geltenden Verständnisses der Natur sogar *vollkommen ausgeschlossen* ist, geistige und materielle Wirklichkeit in *einem* Bild zu vereinen.

In der Vergangenheit war diese Unvereinbarkeit rein philosophischer Art. Für Kant war es noch möglich, den Widerspruch zwischen der Gewissheit, dass wir Teil der vollständig naturgesetzlich bestimmten Wirklichkeit sind, und der Überzeugung, dass wir einen freien Willen besitzen, als Folge der Undenkbarkeit des *Dings an sich* aufzufassen.

Diese Möglichkeit besteht für uns nicht mehr. Daran hindert uns die Kenntnis des Zusammenhangs zwischen neuronalen Prozessen und geistigen Phänomenen. An dieser neuronal-geistigen Schnittstelle wird der Zugriff der materiellen Natur und ihrer Gesetzmäßigkeit auf den mentalen Bereich so konkret, dass es nicht mehr genügt, den naturwissenschaftlichen Anspruch – oder sagen wir besser: die naturwissenschaftliche Erklärungsmacht – mit allgemein-philosophischen Einwänden zurückzuweisen. Vielmehr sehen wir uns mit der Herausforderung konfrontiert, zu analysieren, *inwiefern* die bisherige naturwissenschaftliche Sicht zu kurz greift und diese Analyse zur Grundlage der Erklärung der Beziehung zwischen Geist und Materie zu machen.

Als die Naturwissenschaft gerade erst ihr Newtonsches Fundament erhalten hatte, erschien es noch kaum denkbar, dass durch Interaktion materieller Objekte Geist entstehen könnte. Hören wir, was Gottfried Wilhelm Leibniz, der sich wegen ebendieser Schwierigkeit gegen die atomistische Lehre seines Zeitgenossen Newton wandte, in seiner 1714 verfassten *Monadologie* dazu zu sagen hatte:<sup>105</sup>

*§. 17. Man ist außerdem genötiget zu bekennen daß die perception und dasjenige / was von ihr dependieret / auf mechanische Weise / das ist / durch die Figuren und durch die Bewegungen / nicht könne erkläret werden. Und erdichteten Falls / daß eine Machine wäre / aus deren Structur gewisse Gedanken / Empfindungen / Perceptionen erwüchsen; so wird man dieselbe denkende Machine sich concipieren können / als wenn sie ins große nach einerlei darinnen beobachteter Proportion gebracht worden sei / dergestalt daß man in dieselbe / wie in eine Mühle / zugehen vermögend wäre. Wenn man nun dieses setzet / so wird man bei ihrer innerlichen Besichtigung nichts als gewisse Stücke / deren eines an das andere stosset / niemals aber etwas antreffen / woraus man eine Perception oder Empfindung erklären könnte. Daher muß man die Perception in der einfachen Substanz / und keines weges in dem Composito oder in der Machine suchen. [...]*

In diesem Paragraphen, der später unter der Bezeichnung "Mühlengleichnis" bekannt wurde, schließt Leibniz also aus, dass Gedanken, Empfindungen oder Wahrnehmungen durch das "Stoßen von Stücken" – was wir heute wohl als "Wechselwirkung von Teilchen" bezeichnen würden – erzeugt werden könnten. Wenn diese Fähigkeiten aber nicht aus dem Zusammenwirken von Objekten hervorgehen, dann, so folgert er, müssen sie den *einfachen Substanzen* zuerkannt werden (die er *Monaden* nennt).

Wie stellt sich das Verhältnis Geist – Materie in der Gegenwart dar? Lässt sich die Kantische Antinomie von Freiheit und Kausalität durch das Wissen über neuronale Netze auflösen? Ist das

---

<sup>105</sup> In einer zeitgenössischen Übersetzung des französischen Originals von Heinrich Köhler. (Nachzulesen unter <http://gutenberg.spiegel.de/buch/2790/1>)

Leibnizsche Mühlengleichnis noch gültig? Gibt es weitere Einwände gegen die Hypothese, dass Geist von neuronalen Netzen hervorgebracht wird?

Ich nehme hier folgenden Standpunkt ein:<sup>106</sup>

### Zum Problem der Freiheit

Die Kantische Antinomie ist nach wie vor aufrecht. Sie kann nicht aufgelöst werden, ohne das naturwissenschaftliche Paradigma zu korrigieren, demzufolge alles, was sich ereignet, vollständig durch Gesetze bestimmt ist – wobei es gleichgültig ist, ob diese Gesetze deterministisch oder "objektiv" probabilistisch sind. Unter dieser Voraussetzung sind Naturwissenschaft und Freiheit unvereinbar; aus dem auf diese Weise lückenlos geknüpften universellen Netz der Kausalität gibt es kein Entrinnen.

Die Annahme der Freiheit des Geistes ist somit gleichbedeutend mit einer Änderung bzw. Erweiterung der derzeit vorherrschenden naturwissenschaftlichen Sicht der Welt.

In den Kapiteln 3. *Willensfreiheit* und 4. *Das veränderte Bild der Wirklichkeit* werde ich zeigen, worin die Täuschung besteht, der die Naturwissenschaft bisher unterlag; dadurch wird diese Täuschung zugleich aufgehoben. Die Möglichkeit der Willensfreiheit ist eine Folge dieser Korrektur.

### Zur Frage der naturwissenschaftlichen Beschreibbarkeit mentaler Prozesse; das Problem der Qualia

Mentale Prozesse haben einen *Informationsgehalt* und einen *Empfindungsgehalt*.

Die gegenwärtige naturwissenschaftliche Sicht des Zusammenhangs zwischen neuronalem Netz und Geist erzwingt nicht nur die Preisgabe der Freiheit, sie scheitert überdies an der Erklärung, warum mentale Zustände *Qualia* sind, d.h. warum sie eine Empfindungsqualität besitzen.

Durch die Korrektur der Sicht der Wirklichkeit, die in den Kapiteln 3 und 4 vorgenommen wird, können geistige Leistungen – Wahrnehmungen, Gedanken, Bewusstsein usw. – und auch die Freiheit des Geistes auf naturwissenschaftliche Weise verstanden werden; Aber auch in dieser erweiterten Sichtweise ist der Empfindungsgehalt mentaler Zustände noch *nicht* mit eingeschlossen.

---

<sup>106</sup> Ich werde zunächst meine Sicht der Probleme nur kurz skizzieren, die Lösungen bloß ankündigen und erst später alle Aspekte eingehend erörtern.

Das Problem der Qualia ist noch fundamentaler als das der Freiheit, weil es hier nicht nur um die Gültigkeit der *naturwissenschaftlichen* Beschreibung der Wirklichkeit geht, sondern darum, ob und wie weit die Möglichkeit einer Beschreibung der Wirklichkeit überhaupt gegeben ist: Die Definition des Begriffs "rot" kann den mentalen Zustand *rot* – d.h. die Empfindung *rot* – ebenso wenig vermitteln wie die Videoaufnahme oder die Gleichung des dynamischen neuronalen Musters "rot", das diese Empfindung hervorbringt, und dasselbe gilt für jede Art von Beschreibung oder Abbildung. Die Empfindung *rot* ist in keiner Beschreibung enthalten. Sie stellt also ein *irreduzibles* Seiendes dar, das nicht *beschrieben*, sondern nur *erlebt* werden kann.

Solange nicht geklärt ist, warum die Empfindung *rot* – oder irgendeine andere Empfindung – dennoch als natürliches Seiendes verstanden werden kann, wissen wir nicht, ob geistige Phänomene nicht unserer Vorstellung von der Wirklichkeit widersprechen, und wir können dann nicht einmal sicher sein, ob wir das, was die Wirklichkeit *eigentlich* ist, bei unseren naturalistischen Modellannahmen nicht vollständig verfehlen.

Umgekehrt entbehrt aber der Versuch, den Geist selbst zur Basis der Wirklichkeit zu machen, jeder Grundlage. Alles, was wir über die Natur wissen, verdanken wir der Naturwissenschaft, die der Untersuchung materieller Strukturen und Prozesse gewidmet ist. Die Annahme, nicht Materie, sondern Geist sei das grundlegende Prinzip, hat dagegen außer Spekulationen bisher überhaupt nichts hervorgebracht. Vielmehr sprechen alle Erfahrungen eindeutig dafür, dass Materie – oder wie auch immer man dasjenige Existierende nennen mag, das von der Naturwissenschaft beschrieben werden kann – eine *notwendige Bedingung* für das Auftreten geistiger Phänomene ist.

Im Kapitel 5. *Qualia* wird geklärt, was Beschreibungen leisten können bzw. nicht können und warum das so ist. Der Unterschied zwischen materiellen und geistigen Entitäten wird analysiert. Die Ergebnisse dieser Analyse ermöglichen es, Qualia als Zustände der sich entfaltenden Natur zu verstehen.

Gibt es weitere begründete Einwände gegen die Hypothese, dass Geist von neuronalen Netzen hervorgebracht wird?

Nein. Unser Wissen über Informationsverarbeitung und Repräsentation in neuronalen Netzen ist so weit fortgeschritten, dass für grundsätzliche Zweifel an dieser Hypothese kein Raum mehr bleibt.

(Allerdings muss aufgeklärt werden, in welcher Beziehung Wirklichkeit und Repräsentation stehen. Auch das wird im Kapitel 5. *Qualia* geschehen.)

Falls es also gelingt, vom naturwissenschaftlichen Weltbild ausgehend durch logische Argumentation die Freiheit des Willens und die Existenz der Qualia zu begründen, dann sind alle scheinbar unüberwindlichen Probleme beseitigt, an denen die Integration von Geist und Materie bis jetzt gescheitert ist. Dann können – ohne Zuhilfenahme exotischer Zusatzannahmen – beide Phänomenbereiche in einem Bild zugleich gedacht werden, ohne dass sie durch diese Vereinigung etwas von ihrem Wesen verlieren.

Für den Augenblick genügt dieser kurze Abriss der Problematik des Zusammenhangs zwischen mentalen Zuständen und neuronalen Prozessen.

Das Schlusswort dieser Einleitung überlasse ich Erwin Schrödinger, der wie kaum ein Anderer die beiden Hauptprobleme der naturwissenschaftlichen Weltsicht erkannt hat: die Uninterpretierbarkeit physikalischer – vor allem quantentheoretischer – Sachverhalte und das Scheitern des Versuchs, Geist in das naturwissenschaftliche Weltbild zu integrieren.

Schrödinger schreibt:<sup>107</sup>

"Wir müssen bekennen, [...] dass es uns jedenfalls bisher nicht gelungen ist, ein einigermaßen verständliches Weltbild aufzubauen, ohne unseren eignen Geist, den Schöpfer des ganzen Weltbildes, daraus zu verbannen, derart, dass darin für ihn kein Platz ist. Der Versuch, ihn hineinzuzwängen, führt notwendig auf Ungereimtheiten.

[,,] im physikalischen Weltbild fehlen alle Sinnesqualitäten, aus denen das Subjekt der Erkenntnis sich eigentlich zusammensetzt. Dem Modell fehlen Farben, Töne, Greifbarkeit. Ebenso und aus dem gleichen Grund mangelt der Welt der Naturwissenschaft alles, was eine Bedeutung in Bezug auf das bewusst anschauende, wahrnehmende und fühlende Wesen hat; Von alledem enthält sie nichts. Vor allem denke ich an die sittlichen und ästhetischen Werte, Werte von jeder Art, an alles was auf Sinn und Zweck des ganzen Geschehens Bezug hat. Nicht nur fehlt dieses alles, sondern es kann von einem rein naturwissenschaftlichen Standpunkt aus überhaupt nicht organisch eingebaut werden. Wenn man es einzubauen versucht, wie ein Kind seine schwarzweiße Malvorlage koloriert, so passt es nicht hinein. Denn alles, was man in dieses Weltmodell eingehen lässt, nimmt stets die Form einer naturwissenschaftlichen Aussage an, ob man will oder nicht; als solche aber wird es falsch."

Soweit Schrödingers Darstellung des grundsätzlichen Mangels der Naturwissenschaft bei der Beschreibung geistiger Phänomene. Ich stimme ihm zu. Nun meint Schrödinger allerdings, aus der Tatsache, dass Bewusstsein nicht in das derzeit gültige naturwissenschaftliche Weltbild integriert

---

<sup>107</sup> Erwin Schrödinger: *Geist und Materie*, Zsolnay 1986, S.95f.

werden kann, folgern zu müssen, dass Geist nicht von Materie erzeugt wird und dass er auf eine Weise existiert, über die uns die Naturwissenschaft keine Auskunft gibt: nicht als individueller Geist, wie wir glauben, sondern als *ein* universaler Geist, wie es der fernöstlichen Tradition entspricht.<sup>108</sup>

Das ist auch der Grund, weshalb ich Schrödinger hier so ausführlich zu Wort kommen lasse: nicht etwa deshalb, weil ich diese Auffassung teile (was ich sicher nicht tue), sondern deshalb, weil er wegen des ihm unvermeidlich erscheinenden Scheiterns der Erklärung des Geistes aus seinen materiellen Voraussetzungen den Bereich des vernünftigen Denkens und Urteilens verlassen hat – so wie viele andere große Denker vor und nach ihm –, und weil seine und deren gedankliche Verirrungen Zeugnis davon ablegen, welche Folgen der fortdauernde Mangel an Einsicht in den Zusammenhang von Geist und Materie hat. Solange diese Einsicht fehlt, werden immer wieder gerade diejenigen, die das Problem am deutlichsten erkennen, der Versuchung ausgesetzt sein, ihr Heil in haltlosen Spekulationen zu suchen, nicht anders, als es nun seit mehr als hundert Jahren in jenem erkenntnistheoretischen Freiraum – nein: in jenem Bereich von Narrenfreiheit geschieht, der durch das Versagen der Interpretation des quantentheoretischen Formalismus eröffnet worden ist.

Es gilt ja ganz allgemein, dass jede Unvollständigkeit der wissenschaftlichen Welterklärung eine Ausstiegsstelle aus dem Bereich vernünftigen Denkens bildet. Die beliebtesten Ausstiegsstellen sind aber jedenfalls diese beiden: Quantentheorie und Geist. Immer mehr Naturwissenschaftler, Esoteriker und Anhänger aller Religionen, aber auch "modern denkende" Durchschnittsbürger drängen sich dort zusammen, um vor der vergeblichen Anstrengung des Begriffs ins glückselige Reich des Unsinn zu entfliehen und dort ihren wirren Reigen zu tanzen.

### **Anmerkung**

Zwischen der Frage: *Gibt es einen freien Willen* und der Frage: *Wie können Qualia erklärt werden* besteht ein wichtiger Unterschied:

Im Fall der Qualia handelt es sich um einen echten, im Rahmen der bisherigen naturwissenschaftlichen Sicht nicht zu beseitigenden Defekt unseres Verständnisses der Wirklichkeit. Aus der Tatsache, dass Qualia existieren und jedes Quale ein irreduzibles Seiendes ist, folgt zwingend, dass die derzeitige naturwissenschaftliche Sicht der Wirklichkeit falsch oder unvollständig ist.

Anders verhält es sich im Fall der Willensfreiheit: Der freie Wille muss nicht existieren. Die Annahme, dass er nicht existiert, lässt sich widerspruchsfrei durchhalten. Dass durch die gegenwärtige Natur-

---

<sup>108</sup> A.a.O., S.79.

wissenschaft die Existenz der Willensfreiheit ausgeschlossen wird, ist also kein *logischer* Beweis für einen Defekt des derzeit gültigen naturwissenschaftlichen Weltbilds.

Es bleibt allerdings ein massives Unbehagen: die Eliminierung der Willensfreiheit würde bedeuten, dass wir nicht mehr Urheber unserer Handlungen sind. Unser freier Wille wäre dann eine Täuschung – tatsächlich würden wir nur Gesetze vollziehen, die wir zwar nicht vollständig kennen, durch die wir aber genauso determiniert wären wie z.B. Planeten durch das Gravitationsgesetz.

Damit verschwände zugleich der Begriff der *Verantwortung*. Ein Wesen, dessen Verhalten – nicht anders als die Bewegung eines Himmelskörpers – bloß Ausdruck des Gesetzes ist, durch das es bestimmt ist, ist für seine Taten nicht verantwortlich.<sup>109</sup>

## 2.2. Übersicht über das weitere Vorgehen

Im Folgenden gehe ich von der Voraussetzung aus, dass *Geist* ein *natürliches Phänomen* ist, das durch neuronale Netze von hinreichender Komplexität hervorgebracht wird. Ich werde zeigen, dass er trotz der Einbindung in die Naturkausalität frei ist und dass Qualia selbstverständliche Elemente einer folgerichtigen Betrachtung der Wirklichkeit sind.

Die Erklärung ist also zweistufig:

1. Die Begründung der *Freiheit* des Geistes, ohne die wir – wie soeben ausgeführt – nicht Urheber unserer Handlungen wären.
2. Die Begründung der Tatsache, dass geistige Zustände immer *Qualia* sind, also einen subjektiven, nur demjenigen, der sie erlebt, zugänglichen Empfindungsgehalt haben.

---

<sup>109</sup> Von Seiten der Hirnforschung wird gelegentlich argumentiert, dass Konzepte wie *Verantwortung* oder *Schuld* trotzdem wegen ihrer Bedeutung im sozialen Kontext beibehalten werden müssten. Hier zeigt sich jedoch deutlich die Seltsamkeit von Theorien, die den Geist als naturgesetzlich determiniert betrachten: Wenn *Verantwortung* und *Schuld* keine geistigen Phänomene sind, sondern neuronale, dann sind auch *Argument* und *Wille* neuronale Phänomene. Wenn die kausalen Zusammenhänge in der neuronalen Ebene liegen und nicht in der geistigen, dann kann ein Grund kein Grund sein und ein Wollen kein Wollen. Niemand hat je eine Wahl – es geschieht immer, was aufgrund physikalischer Ursachen geschehen muss. Etwas zu wollen oder für etwas zu argumentieren ist daher unsinnig. Deterministen, die glauben zu argumentieren unterliegen einer Selbsttäuschung.



Diese Einteilung ergibt sich zwingend, weil einerseits die Argumentation für die Existenz der Qualia auf der für die Existenz der Freiheit aufbaut, andererseits aber die beiden Argumentationsszenarien doch so weit selbständig sind, dass jedes für sich allein betrachtet werden muss.

Das Ziel dieses zweistufigen gedanklichen Wegs ist nichts Geringeres als eine neue Sicht der Wirklichkeit. Deshalb will ich es nicht bei dieser kargen Ankündigung bewenden lassen, sondern mit einigen Bemerkungen wenigstens eine Übersicht über die Reihenfolge der argumentativen Schritte vermitteln und die zugehörigen Voraussetzungen ein wenig ausführlicher skizzieren.

### **Willensfreiheit und das Vollständigkeitsaxiom der Naturwissenschaft**

Die derzeitige wissenschaftliche Sicht der Natur lässt sich durch folgende Annahme – nennen wir sie  $A_{N_0}$  – charakterisieren:

**$A_{N_0}$ : *Alles, was sich ereignet, folgt aus universell gültigen Naturgesetzen und Anfangsbedingungen.***<sup>110</sup>

Was sich in einem Ausschnitt der Wirklichkeit – in einem "System" – ereignet, ist jedoch in vielen Fällen nicht nur durch universelle Naturgesetze festgelegt, sondern auch durch weitere Gesetze, die nur in bestimmten Systemen gelten.<sup>111</sup>

Das lässt sich leicht am Beispiel neuronaler Netze demonstrieren:

Die Beschreibung der Dynamik eines neuronalen Netzes bezieht sich zunächst und vor allem auf die *Struktur* des Netzes und nicht auf die Details physikalischer oder chemischer Vorgänge. Jeder Hirnforscher wird das neuronale Netz auch als *kybernetisches* und nicht nur als physikalisch-chemisches System auffassen. Die Betrachtungsweise des Netzes als kybernetisches System erlaubt es sogar, von der Art der physikalischen Realisierung völlig abzusehen.

Das bedeutet, dass hier – zusätzlich zu den Naturgesetzen – noch eine andere Art von Gesetzen den Verlauf der neuronalen Dynamik bestimmt, die man *Strukturgesetze* oder *Gesetze der Form* nennen könnte.

---

<sup>110</sup> Quantenmechanisch: *Die Wahrscheinlichkeit jedes Ereignisses folgt aus ...*

<sup>111</sup> Dies ist ein Sachverhalt von grundsätzlicher Bedeutung. In den folgenden beiden Kapiteln (*3. Willensfreiheit* und *4. Das veränderte Bild der Wirklichkeit*) werde ich ausführlich darauf eingehen.

Dasselbe gilt auch für die einzelnen Neurone: Neurone sind Systeme, bei denen zwischen Input und Output eine gesetzmäßige Beziehung besteht. Dieses *neuronale Input-Output-Gesetz* hängt mit der Form und Struktur des Neurons zusammen. Auf diese Weise stehen Neurone also in Wechselwirkung, nicht anders als z.B. elektrisch geladene Teilchen in elektromagnetischer Wechselwirkung stehen.

Das neuronale Input-Output-Gesetz kann daher als *Wechselwirkungsgesetz der Neurone* aufgefasst werden. Es ist ein Gesetz, das nur für Neurone gilt und zusätzlich zu den Naturgesetzen auftritt. Die mathematische Formulierung des Gesetzes ist *von seiner physikalischen Realisierung unabhängig*

Um die Tatsache der Existenz solcher spezifischen, nur für bestimmte Systeme geltenden Gesetze zu berücksichtigen, muss die Annahme  $A_{N_0}$  zur Annahme  $A_N$  erweitert werden:

**$A_N$ : *Alles, was sich ereignet, folgt aus Gesetzen und Anfangsbedingungen.***

Für die Beschreibung von Systemen werden die Gesetze in die Form spezifischer Gleichungen gebracht. Gleichungen sind quantitative Beziehungen zwischen Variablen, Anfangsbedingungen sind die Werte dieser Variablen zu einem bestimmten Zeitpunkt.

Also bedeutet  $A_N$ , dass es zu jedem Bereich der Wirklichkeit ein System von Gleichungen gibt, das *alle* Informationen enthält, die für eine vollständige Beschreibung dieses Bereichs erforderlich sind. In diesem Sinn kann also jeder Bereich der Wirklichkeit auf ein solches System abgebildet werden.

Ich werde  $A_N$  deshalb das ***Vollständigkeitsaxiom der Naturwissenschaft*** nennen.

$A_N$  beinhaltet zwei Forderungen:

Die erste Forderung betrifft die Gesetze. Der Ausdruck "folgt aus" setzt voraus, dass die den Gesetzen entsprechenden Gleichungen einen *Algorithmus* bereitstellen, d.h. ein Verfahren, das es ermöglicht, aus den gegenwärtigen Bedingungen durch Anwendung definierter Regeln künftige Ereignisse abzuleiten bzw. vorauszuberechnen.

Die zweite Forderung betrifft die Anfangsbedingungen. Wenn das Gleichungssystem *alle* Informationen über die Wirklichkeit enthalten soll, dann muss es *unendlich genau* sein. Selbstverständlich sind aber Anfangsbedingungen niemals "unendlich genau" verfügbar: weder ist es möglich, mit unendlicher Genauigkeit zu messen, noch kann irgendein System ganz von der Umgebung getrennt werden. (Also müsste in jedem Fall das ganze Universum mit einbezogen werden.)

Außerdem wäre allein schon für die unendlich genaue numerische Darstellung des Wertes einer einzigen Variablen in den meisten Fällen unendlich lange Zeit erforderlich.<sup>112</sup>

Also ist  $A_N$  keine Aussage über ein wirklich existierendes Gleichungssystem, sondern über ein rein gedankliches Gebilde.

Ist  $A_N$  dann überhaupt noch eine sinnvolle Aussage? Ich denke ja.  $A_N$  gibt die Überzeugung wieder, dass *die Natur selbst ein algorithmisches System* ist, dass sie also aus den in einem bestimmten Augenblick gegebenen Bedingungen nach feststehenden Regeln die Zukunft produziert, und dass dieser regelhafte Vorgang im Prinzip durch ein Beschreibungssystem reproduziert werden kann – auch wenn diese Reproduktion durch die obigen Einschränkungen nur näherungsweise durchführbar ist.  $A_N$  für sinnvoll zu halten, bedarf bloß zweier Annahmen, die eigentlich selbstverständlich erscheinen: die erste Annahme ist, dass die Variablen zu jedem Zeitpunkt exakte Werte *haben*,<sup>113</sup> und die zweite Annahme ist, dass *die Natur* den die Zukunft erzeugenden Algorithmus mit ebendiesen Werten ausführt. Beide Annahmen werden durch die Tatsache, dass *wir* in endlicher Zeit diese Werte weder numerisch niederschreiben noch den Algorithmus damit durchführen könnten, nicht in Frage gestellt.

Kehren wir zu unserem Gegenstand zurück.

Aus naturwissenschaftlicher Sicht müssen sich also neuronale Netze (im Prinzip) auf ein Gleichungssystem abbilden lassen, derart, dass die zeitliche Entwicklung des neuronalen Netzes der zeitlichen Entwicklung des Gleichungssystems entspricht, d.h. dass zu jedem Zeitpunkt die tatsächlichen Werte aller Variablen gleich den (im Prinzip) errechenbaren Werten wären. Da dieses Gleichungssystem niemals wirklich verfügbar ist, muss man sich in der Praxis mit Näherungen zufrieden geben, also z.B. bei Modellierungen des Gesamtsystems nur die Interaktionen großer Ensembles von Neuronen betrachten, oder den Blick nur auf eine beschränkte Zahl von Neuronen richten. Die Annahme  $A_N$  garantiert jedoch, dass diesen Näherungen nichts "Wesentliches" fehlen muss, eben deshalb, weil auch das neuronale Netz ein "Bereich der Wirklichkeit" ist, der durch Gesetze *vollständig* bestimmt wird

---

<sup>112</sup> Man könnte auch fragen, ob überhaupt vorausgesetzt werden kann, dass sich die Natur selbst unendlich genau an ihr Gesetz hält. Diese Frage wäre aber nur dann sinnvoll, wenn die Natur ihrem Gesetz *gehören* würde; Gemäß den Ausführungen des ersten Kapitels gehorcht sie aber nicht dem Gesetz, sondern sie *ist* das Gesetz.

<sup>113</sup> Quantenmechanisch heißt das (wie immer), dass es zu jedem Zeitpunkt eine exakte Wahrscheinlichkeitsverteilung der möglichen Messwerte gibt. In meiner Interpretation, die verborgene Parameter enthält und vollständig deterministisch ist, ist diese Ergänzung natürlich überflüssig. Ich füge sie nur hinzu, um die Argumentation zur Willensfreiheit von meinen eigenen physikalischen Hypothesen so weit wie möglich unabhängig zu halten.

und somit auf ein Gleichungssystem abgebildet werden kann – und "vollständig" bedeutet, dass die Abbildung *alles* kann, was das Netz selbst kann.

Wären tatsächlich alle Zustände eines Netzes auf diese Weise erfassbar, dann würde das zugehörige Differenzialgleichungssystem also auch eine Beschreibung der geistigen Tätigkeit enthalten, die durch das Netz hervorgebracht wird. Von Freiheit des Willens könnte unter dieser Voraussetzung keine Rede sein.

Das bedeutet umgekehrt: Aus der Annahme, dass wir uns frei nach unserem Willen entscheiden können, ergibt sich zwingend die Forderung, dass die mathematische Beschreibung neuronaler Netze *unvollständig* ist – und es ist hinzuzufügen, dass es sich hier um eine Unvollständigkeit handeln muss, die über die oben erwähnte Einschränkung infolge der Unmöglichkeit unendlicher Genauigkeit hinausgeht, um eine Unvollständigkeit also, die darauf beruht, dass die Natur *kein algorithmisches System* ist.

Es ist außerordentlich wichtig, zu sehen, dass die Existenz der Willensfreiheit nicht davon abhängt, was *wir* über ein menschliches neuronales Netz wirklich wissen bzw. wissen können. Die Willensfreiheit verschwindet nicht erst dann, wenn eine gesetzliche Beschreibung des Netzes wirklich zur Verfügung steht, sondern bereits dann, wenn die Annahme getroffen wird, dass die *Existenz* einer vollständigen mathematischen Abbildung (der zuvor definierten Art) möglich ist, oder anders gesagt: wenn angenommen wird, dass die Zukunft aus der Gegenwart auf algorithmische Weise hergestellt wird.

Konkret: Für die Annahme der menschlichen Willensfreiheit ist es nicht hinreichend, dass niemand genau weiß, was ein Mensch tun wird, ja es würde nicht einmal genügen, dass dieses Wissen aus *technischen* Gründen niemals erlangt werden könnte; – Dafür muss die wesentlich stärkere Bedingung erfüllt sein, dass ein solches Wissen *aus logischen Gründen unmöglich* ist.

Vielleicht kann das folgende, ein wenig skurrile Gedankenexperiment zur Klärung des Sachverhalts beitragen:

Es steht ohne Zweifel fest, dass die Bahn des Planeten Merkur durch die Gravitation der Körper im Sonnensystem bestimmt ist. Nehmen wir nun an, der Merkur besäße Geist wie wir und wäre überzeugt, einen freien Willen zu besitzen und seine Bahn aus freien Stücken und mit guten Gründen zu wählen; Dann wäre das offenbar eine Selbsttäuschung des Planeten, die darauf beruht, dass er nicht weiß, dass seine Bahn gesetzlich festgelegt ist. Dessen sind wir uns gewiss, obwohl die *exakte* Gleichung für seine Bahn niemals verfügbar wäre – sie müsste ja die Orte und Geschwindigkeiten *aller* Körper des Sonnensystems berücksichtigen – und obwohl diese Gleichung, falls wir sie doch

hätten, keinesfalls lösbar wäre.<sup>114</sup> Wir sind uns dessen gewiss, weil wir einfach *wissen*, dass die Planetenbahnen *ausschließlich* durch das Gravitationsfeld festgelegt sind. Diese Gewissheit ist selbst nicht naturwissenschaftlich im engeren Sinn, sie ist aber natürlich eine Voraussetzung der Naturwissenschaft und ein unbezweifelbares Element der naturwissenschaftlichen Weltansicht.

Wäre unsere eigene geistige Aktivität in der gleichen Weise durch Gesetze bestimmt wie die Bahn des Merkurs durch das Gravitationsgesetz, dann wären wir offenbar in genau derselben Lage wie der sich frei wählende Planet. Wir würden bloß glauben, willentlich zu handeln, tatsächlich aber würden wir doch stets nur das vollziehen, was uns per Gesetz vorgeschrieben ist. Wir würden das Gesetz unseres Handelns zwar nicht kennen, aber es wäre stets präsent und würde uns führen. Und unser Geist ließe sich dann – wenn auch nur *im Prinzip* und niemals realiter – auf ein Gleichungssystem abbilden, wäre darin gefangen und hätte seine Freiheit verloren.

Unter dieser Voraussetzung dennoch anzunehmen, wir handelten nach unserem Willen, wäre ebenso unsinnig wie die Behauptung, nicht nur Gravitation würde die Bahn der Himmelskörper lenken, sondern auch ein *vielarmiger kosmischer Affe*.

Wir sind also zu dem Schluss gelangt, dass höchstens *eine* der beiden Behauptungen wahr ist:

1. Willensfreiheit existiert. 2. Das Vollständigkeitsaxiom  $A_N$  ist korrekt.

Das ist der gegenwärtige Stand der Dinge: Eine unerfreuliche Alternative. Einerseits ist die Annahme der Willensfreiheit für unser Selbstverständnis und für den Sinn unseres Daseins von essenzieller Bedeutung, andererseits ist aber völlig unklar, auf welche Weise die prinzipielle Möglichkeit der Abbildung der Wirklichkeit auf ein System von Gleichungen und Anfangsbedingungen ausgeschlossen werden könnte.

In den Kapiteln 3. *Willensfreiheit* und 4. *Das veränderte Bild der Wirklichkeit* steht genau diese Frage im Mittelpunkt:

*Warum ist das Vollständigkeitsaxiom der Naturwissenschaft ungültig?*

Es wird gezeigt, dass eine Darstellung der Dynamik neuronaler Netze durch ein System von Gleichungen und Anfangsbedingungen nicht möglich ist, und zwar, wie gefordert, nicht bloß aus technischen, sondern aus logischen Gründen.

---

<sup>114</sup> Mit "lösbar" meine ich hier und im Folgenden, dass es ein Verfahren gibt, durch das zukünftige Variablenwerte exakt berechnet werden können.

Der Beweis wird durch die Ableitung des folgenden Satzes erbracht:

*Es gibt Zustände neuronaler Netze, deren formale Repräsentationen Aussagen sind, die nicht aus irgendeinem System von Gleichungen und Anfangsbedingungen ableitbar sind und die nicht als Lösung eines solchen Gleichungssystems für irgendeinen bestimmten Zeitpunkt aufgefasst werden können.*

Das Vollständigkeitsaxiom der Naturwissenschaft ist daher falsch. Jede formale Beschreibung der Natur durch ein System von Gleichungen und Anfangsbedingungen ist unvollständig.

Das naturwissenschaftliche Paradigma muss korrigiert werden.

Die Argumentation, die zum Beweis dieser Behauptung erforderlich ist, genügt für die Begründung der Eigenständigkeit des Geistes und der Existenz der Willensfreiheit. Allerdings stellt diese Begründung nur eine notwendige und keine hinreichende Voraussetzung für das Verständnis von Geist dar, denn es fehlt noch immer die Erklärung dessen, was geistige Zustände *eigentlich* sind, nämlich *Qualia*.

### **Das Problem der Qualia**

Nichts wäre einfacher, als einen Roboter zu konstruieren, der die Frequenzen und Frequenzmischungen des Lichts, die wir als *rot* empfinden, mit dem Wort "rot" verknüpfen könnte. Man könnte ihn so programmieren, dass er "rot" sagt, wenn sein optischer Chip ihm die Information liefert, dass eine solche Frequenzmischung vorliegt, während er gleichzeitig seinen Arm auf den betreffenden Gegenstand richtet und sich darauf zu bewegt. Für diese Leistung wäre noch nicht einmal künstliche Intelligenz erforderlich.

Es wäre dann vollkommen klar, dass der Roboter – ich will ihn *Hans* nennen, um später auf ihn zurückkommen zu können – zwar die **Information** hat, die für die Definition von "rot" erforderlich ist, dass ihm aber die **Empfindung** *rot* fehlt. *Rot* als Quale – eben genau jene charakteristische Farb-Empfindung, die *wir* haben, wenn wir *rot* wahrnehmen oder uns vorstellen – kann in seinem simplen Programm unmöglich auftreten.

In diesem Beispiel wird deutlich, dass zwischen *Information* und *Empfindung* unterschieden werden muss. Daraus ergibt sich aber eine Reihe von Fragen, von denen bis heute keine einzige auch nur ansatzweise gelöst ist.

Um nur einige aufzuzählen:

Wenn ein Mensch *rot* empfindet, dann enthält die Beschreibung seiner neuronalen Aktivität die Information, ohne die es diese Empfindung nicht gäbe. Wie ist hier die Beziehung zwischen Information und Empfindung? Wodurch wird die Empfindung ermöglicht?

Worin besteht der Unterschied zwischen einem Systemzustand, der nur Information enthält, und einem Systemzustand, der eine Empfindung hervorbringt?

Können künstliche neuronale Netze Empfindungen haben?

Offenbar hängt die Fähigkeit, etwas zu empfinden, mit der Komplexität der neuronalen Netze zusammen, die sich im Laufe der Evolution entwickelt haben. Damit erhebt sich die Frage:

Auf welcher Sprosse der evolutionären Leiter wird die Information zur Empfindung? Wo wird der Automat zum empfindenden Wesen? Bei den Wirbellosen? Bei den Reptilien? Bei den Fischen? Bei den Vögeln? Oder erst bei den Säugetieren?

*Wodurch* ereignet sich diese Wesensänderung?

Man kann auch konkreter fragen:

Nehmen Bienen Farben wahr? Ist ihre Welt wirklich *bunt*? Oder sind sie bloß Automaten, die auf Licht-Frequenzen reagieren? Empfinden Krebse Schmerz? Oder reagieren sie nur auf Reize?

"Komplexität" wird häufig als Zauberwort benutzt, so als wäre klar, dass bei hinreichender Komplexität eines neuronalen Netzes "von selbst" Empfindungen auftreten würden. Das ist natürlich unsinnig. Komplexität ist zwar eine notwendige Bedingung, besagt aber nichts weiter.

Dasselbe gilt für die populäre Außen-Innen-Unterscheidung. Es wird behauptet, Information und Empfindung seien *dasselbe*: genau das, was von außen – von einem Beobachter – als neuronale Aktivität gesehen wird, wird von innen – vom "System" selbst – als Empfindung erlebt. Aber auch diese Behauptung ist keine Erklärung, und überdies ist sie sogar falsch, wie sich später herausstellen wird.

Es bleibt also die zentrale Frage: *Was sind Qualia? Auf welche Weise können Qualia als natürliche Zustände verstanden werden?*

Die formal-logische Argumentation, die im Kapitel 3. *Willensfreiheit* der Begründung der Willensfreiheit dient, ist hier deshalb nicht ausreichend, weil die Erklärung der Qualia auf dem nur metaphysisch definierbaren Unterschied zwischen *wirklich existierenden Objekten* und deren *Repräsentationen (Beschreibungen)* basiert.

Von dieser Voraussetzung ausgehend gelangt man mittels einiger einfacher metaphysischer Schlussfolgerungen zu einem erweiterten Verständnis des Seienden, das sowohl die naturwissenschaftlich beschreibbare als auch die geistige Wirklichkeit umfasst. Die drei Welten – die materielle Welt, die Welt der geistigen Prozesse und die Welt der Entdeckungen und Schöpfungen des Geistes – können unter einen Begriff gebracht werden.



### 3. Willensfreiheit

Gegenstand der folgenden Erörterung ist die *metaphysische* Frage nach der Möglichkeit des freien Willens. Es geht also nicht um psychologische, soziologische oder andere Abhängigkeiten von Willensentscheidungen, sondern ausschließlich um die Frage, ob freier Wille *überhaupt möglich* ist – unter der Voraussetzung, dass wir zu einem Universum gehören, in dem nach gegenwärtiger Überzeugung *alles* gesetzmäßig abläuft.

#### 3.1. Vorübung: Die Rechtfertigung psychologischer Begriffe

Zurzeit ist die Annahme verbreitet, dass Geist auf neuronale Prozesse zurückgeführt werden kann. Bezeichnen wir diese Position als "neuronalen Reduktionismus". Er bedeutet Folgendes:

Geistige Zustände werden von uns zwar als die Agenzien des geistigen Geschehens erlebt, aber wir unterliegen bei dieser Auffassung einer Täuschung – *eigentlich* ist das geistige Geschehen bloß ein reines Epiphänomen des neuronalen Geschehens, durch das es vollkommen determiniert wird. Man könnte auch sagen: Geistige Phänomene sind *eigentlich* neuronale Phänomene.

Unter dieser Voraussetzung mag es zunächst so scheinen, als wäre die Beschreibung geistiger Tätigkeit durch psychologische Begriffe – wie Gefühle, Gedanken, Gründe usw. – nur eine ungenaue und überholte Art der Darstellung, die nur solange angewendet werden sollte, bis eine exaktere Darstellung durch Begriffe und Konzepte der neuronalen Ebene zur Verfügung steht. Erst dann würden wir ja wirklich wissen, was z.B. der psychologische Begriff "Grund" *wirklich* bedeutet; – er könnte etwa ein lokales Energieminimum der Dynamik<sup>115</sup> eines Teilbereichs des neuronalen Netzes sein.

Untersuchen wir, in welchem Maß diese Vorstellung einer möglichen Eliminierung psychologischer Begriffe und Konzepte gerechtfertigt ist.

Notwendige Voraussetzung des neuronalen Reduktionismus ist die Annahme der Eigenständigkeit der neuronalen Beschreibung, von der die reduktionistische Argumentation ausgeht. Damit ist gemeint, dass man von *Neuronen* und *neuronalen Prozessen* reden kann und nicht auf Moleküle, Atome oder

---

<sup>115</sup> Der Terminus "Dynamik" bezeichnet die zeitliche Entwicklung des Zustands eines Systems. "Zustand" bezeichnet die Menge der Werte aller Variablen (quantenmechanisch die Werte aller gleichzeitig messbaren Observablen) des Systems zu irgendeinem Zeitpunkt.

Elementarteilchen und deren Wechselwirkungen zurückgreifen muss. Kann man diese Eigenständigkeit voraussetzen? – Das scheint in mancher Hinsicht so selbstverständlich, dass man meinen könnte, sich gar nicht darum kümmern zu müssen. Man *sieht* ja, dass Neurone existieren, dass sie miteinander agieren, dass durch ihre *Form* die Bewegung der Moleküle festgelegt ist, und deshalb erscheint eine Beschreibung des neuronalen Geschehens mittels der Terminologie und der Modelle der Neurowissenschaft und Neuroinformatik angemessen.

Tatsächlich kann aber die Möglichkeit, als Grundelemente der Beschreibung eines Bereichs der Wirklichkeit Strukturen zu benützen, die für sich schon komplexe Aggregate einfacherer Bestandteile sind, vom reduktionistischen Standpunkt aus überhaupt nicht als selbstverständlich vorausgesetzt werden. Der Reduktionist muss in jedem Fall begründen, warum die Elemente seiner Beschreibung (Neurone) selbst schon zusammengesetzt sein dürfen und warum er nicht von *wirklich elementaren* Bestandteilen ausgeht.

Als Grund – und es ist anzunehmen, dass auch ein Reduktionist so argumentieren würde – für die Berechtigung der Beschreibung auf der Basis von Neuronen kann angeführt werden, dass die Neurone *als Neurone* aufeinander bezogen sind, sodass Neuronenverbände als kybernetische Systeme aufgefasst werden können, die durch die funktionellen Zusammenhänge zwischen ihren Elementen vollständig definiert sind, weshalb es bei der Darstellung der Struktur und Dynamik der Zustände von Neuronenverbänden unwichtig ist, dass es sich *eigentlich* (– im reduktionistischen Sinn) um Moleküle (oder Atome, oder Elementarteilchen) handelt; Die Art der physikalischen Realisierung ist gleichgültig (– was auch eine notwendige Voraussetzung für die Möglichkeit von Computersimulationen neuronaler Prozesse ist).

Gehen wir nun zu einer höheren Stufe der Komplexität über: betrachten wir die Ebene der *geistigen Zustände und Prozesse*. "Geistige Zustände" definieren wir wie in der Hirnforschung üblich als globale raum-zeitliche Muster des neuronalen Netzes mit gleichzeitiger Aktivierung vieler Areale dieses modular aufgebauten Netzes, die verschiedene Aspekte eines Sachverhalts oder einer Situation repräsentieren und für die Dauer des Zustands miteinander verbunden sind. Ohne ins Detail gehen zu wollen, welche Areale das sind, lässt sich doch einiges beispielhaft aufzählen: zur Wahrnehmung gehörende neuronale Module, die die (tatsächlichen oder vorgestellten) szenischen Gegebenheiten repräsentieren, diverse Module im vorderen Teil des Gehirns, die der Analyse verschiedener komplexer Zusammenhänge dienen (wie etwa der Einschätzung sozialer Folgen einer Handlung), motorische Module, das Sprachzentrum usw. – in jedem Fall aber auch Teile des Zwischenhirns, die das neuronale System mit chemischen, verhaltensregulierenden Systemen verbinden und damit für die Intentionalität geistiger Zustände unerlässlich sind.

Nun folgt die für die Rechtfertigung psychologischer Begriffe entscheidende Schlussfolgerung:

Alle Argumente dafür, dass es angemessen ist, bei der Beschreibung der Vorgänge im Gehirn von Neuronen und neuronalen Zuständen auszugehen und nicht von Molekülen (oder Atomen, oder Elementarteilchen), gelten identisch oder analog auch dafür, dass es angemessen ist, geistige Zustände und Prozesse durch geistige bzw. psychologische Termini und Konzepte – wie etwa "Wahrnehmung" oder "Gedanke" – zu beschreiben und nicht durch neuronale. Ebenso wie Neurone *als Neurone* interagieren, so interagieren auch geistige Zustände *als geistige Zustände* miteinander; Genauso wie gesagt werden kann: der Output des neuronalen Moduls A verursacht den Zustand des neuronalen Moduls B, so kann auch behauptet werden: der geistige Prozess A hat den geistigen Prozess B zur Folge – eben genau auf die Art, wie das z.B. bei Gedankengängen der Fall ist.

Geistige Zustände und Prozesse sind also ebenso wie Neurone *untereinander vernetzt*, sie bedingen einander, sie bestimmen ihre eigene zeitliche Abfolge, kurz: *sie bilden eine Schicht der Wirklichkeit, die ebenso eigenständig ist wie die neuronale.*

So, wie man bei der Beschreibung der neuronalen Dynamik von der materialen Beschaffenheit der kybernetischen Elemente (der einzelnen Neurone) absehen kann – d.h. von der Tatsache, dass es Aggregate von Molekülen sind –, so kann man auch bei der Beschreibung der geistigen Dynamik von der materialen Beschaffenheit der kybernetischen Elemente (der einzelnen geistigen Zustände) absehen – d.h. von der Tatsache, dass es globale neuronale Muster sind.

Kurz gesagt: *Geistige Prozesse haben genau denselben Anspruch auf eine spezifische, eigenständige Beschreibung wie neuronale Prozesse.*

Aussagen über geistige Zusammenhänge – wie etwa die Behauptung, die den Reduktionisten von Philosophen entgegengehalten wird, dass auf der geistigen Ebene *Gründe* und nicht *Ursachen* gelten, sind also ebenso gerechtfertigt wie Aussagen über neuronale Zusammenhänge – wie etwa die Behauptung, dass eine Vorstellung zur Erinnerung wird, indem die Verbindungen zwischen den gleichzeitig aktiven Neuronen verstärkt werden.

Wir sind also zu folgendem Schluss gelangt:

Wenn die neuronale Schicht der Wirklichkeit als kybernetisches System beschrieben und verstanden werden kann, mit einer eigenen spezifischen Struktur und einer damit zusammenhängenden neuronalen Dynamik, dann gilt das in gleicher Weise für die geistige Schicht der Wirklichkeit: auch sie kann als kybernetisches System aufgefasst werden, das seine eigene spezifische Struktur hat, aus der wiederum eine spezifische *geistige* Dynamik folgt, d.h. eine Abfolge geistiger Zustände, deren

Gesetzmäßigkeit mit der Struktur des Raumes geistiger Zustände zusammenhängt. Wenn es also angemessen ist, neuronale Zustände durch Begriffe und Zusammenhänge auszudrücken, die sich aus der Betrachtung der neuronalen Aktivität als kybernetisches System ergeben, dann ist es auch angemessen, geistige Zustände durch psychologische bzw. geistige Begriffe und Gesetzmäßigkeiten zu beschreiben, die sich aus der Betrachtung der geistigen Aktivität als kybernetisches System ergeben.

Das bedeutet aber zugleich:

Wäre die Annahme korrekt, dass psychologische Beschreibungen durch neuronale ersetzt werden müssten, dann würde sich diese Annahme selbst aufheben, denn dann müsste die neuronale Beschreibung durch eine molekulare ersetzt werden, diese wiederum durch eine atomare usw. Der Reduktionsprozess kann erst dann enden, wenn die elementare Ebene erreicht ist – außer es gibt besondere Gründe für die Eigenständigkeit einer bestimmten Schicht. Solche Gründe gibt es aber für keine Schicht der Wirklichkeit: was für die Eigenständigkeit irgendeiner Schicht spricht, gilt in gleichem Maß für alle anderen.

Zwar ist diese Rechtfertigung einer eigenständigen Beschreibung des Geistes durch mentale Begriffe und Konzepte *konditional* – sie gilt nur für den Fall, dass irgendeine Beschreibung außer der elementaren zulässig ist –, aber das ist keine wirkliche Einschränkung, da es ja schlichtweg absurd wäre, auf alle anderen Beschreibungen zu verzichten.

Also stellt der eben durchgeführte Gedankengang eine vollständige Rechtfertigung der mentalen Beschreibung geistiger Zustände dar. Er enthält aber keine Begründung, wie diese Beschreibung in einen naturwissenschaftlichen Rahmen eingepasst werden kann, und deshalb ist er hier bloß als Einleitung gedacht, als Vorübung, die geeignet ist, aktuelle Denkmuster in Frage zu stellen und auf die nun folgende grundsätzliche Analyse desselben Szenarios vorzubereiten.

### ***3.2. Der Weg zur geistigen Wirklichkeit über sieben Stationen***

Um die Entwicklung des folgenden Gedankengangs übersichtlicher zu gestalten, werde ich die verschiedenen jeweils erreichten Stadien als Überschriften hervorheben.

Ausgangspunkt der Analyse ist die Annahme  $A_N$ , die in 2.2. als *Vollständigkeitsaxiom* bezeichnet wurde:

***$A_N$ : Alles, was sich ereignet, folgt aus Anfangsbedingungen und Gesetzen.***

Zunächst eine Bemerkung zu den Voraussetzungen:

Aus physikalischer Sicht besteht die Wirklichkeit aus Objekten, die miteinander wechselwirken. Anfangsbedingungen sind die Werte der Variablen eines Systems – z.B. der Orte und Impulse aller Teilchen – zu irgendeinem Zeitpunkt, Gesetze sind mathematische Beziehungen zwischen diesen Variablen, d.h. Gleichungen.

Hier noch eine ausführlichere Formulierung von  $A_N$ , durch die die Annahme der (möglichen) strukturellen Übereinstimmung von Wirklichkeit und Beschreibung hervorgehoben wird:

$A_N$  besagt: *Die **Information**, die **in der Natur selbst** vorhanden ist und von der die zeitliche Entwicklung eines Systems abhängt, ist **vollständig in den Anfangsbedingungen und Gleichungen** des Systems enthalten. So, wie in der Wirklichkeit die Zukunft aus der Gegenwart folgt, folgen die künftigen Variablenwerte des Gleichungssystems aus den gegenwärtigen. Das Gleichungssystem ist ein Abbild der Gesetze, durch die festgelegt ist, wie die Zukunft aus der Gegenwart entsteht.*

Die Formulierung "Anfangsbedingungen und Gesetz" erweckt zunächst den Eindruck, als wäre "das Gesetz" eine Art Input-Output-Maschine, die, wenn sie als Input die exakten Anfangsbedingungen erhält, als Output die Werte (Wahrscheinlichkeitsverteilungen) aller Variablen zu jedem beliebigen Zeitpunkt liefert. Bezeichnen wir diese erste, vorläufige Vermutung als

### Standpunkt 1:

*Die Anfangsbedingungen sind singulär, das Gesetz ist allgemein, d.h. die Anfangsbedingungen werden **einmal** in die Gesetzesmaschine eingegeben (in das Gleichungssystem eingesetzt), und danach enthält der Gesetzesmechanismus das gewünschte Ergebnis **für jeden beliebigen Zeitpunkt**.*

Diese Erwartung bestätigt sich bei einigen einfachen klassischen Beispielen: etwa bei einem schwingenden Pendel, oder bei einem Planeten, der um seine Sonne kreist, oder auch beim allgemeinen Fall zweier gravitierender Körper, die – wenn sie nicht gestört werden – in alle Ewigkeit ihren elliptischen Tanz um den Massenmittelpunkt vollführen (jedenfalls in der Newtonschen Näherung).

Bleiben wir beim Fall gravitierender Massen, deren Dynamik durch das von diesen Massen selbst erzeugte Gravitationsfeld bestimmt wird.

Bei mehr als zwei Körpern ändert sich die Situation auf grundlegende Weise: Die Differenzialgleichungen sind nicht mehr integrierbar, und es ist daher nicht mehr möglich, das Gesetz als

Mechanismus aufzufassen, der aus einem Input den zugehörigen Output produziert.<sup>116</sup> Stattdessen müssen numerische Lösungsverfahren angewendet werden.

Wie ist im Fall von, sagen wir, um irgendeine hinreichend große Zahl zu nennen, 1000 Körpern vorzugehen, die sich relativ zueinander bewegen und durch Gravitation aneinander gebunden sind?

Wenn die Anfangsbedingungen, also die Orte und Impulse aller Körper zur Zeit  $t_0$  bekannt sind und für eine spätere Zeit  $t_1$  berechnet werden sollen, dann muss die Zeitspanne  $t_1 - t_0$  in Intervalle unterteilt werden; – in *wie viele*, hängt von der gewünschten Genauigkeit ab: je besser die Näherung sein soll, desto kleiner müssen die Intervalle sein.

Man beginnt mit dem ersten Zeitintervall und berechnet aus den gegebenen Anfangsbedingungen die Orte und Impulse alle Körper am Ende dieses Intervalls. Sie bilden die Anfangsbedingungen für das zweite Intervall. Danach wiederholt man denselben Vorgang für jedes weitere Intervall und erhält auf diese Weise schließlich das gewünschte Resultat mit beliebiger Genauigkeit (wenn man von möglichen Instabilitäten absieht, was aber für den folgenden Gedankengang nicht von Belang ist.)

Was hat sich damit gegenüber der vorherigen Sichtweise geändert?

Die Anfangsbedingungen erscheinen nun nicht mehr nur als anfängliche, einmalige Voraussetzung für den Gesetzesmechanismus, sondern als ständig wiederkehrende Voraussetzung, die den Akt der Informationsgewinnung permanent begleitet. Wenn man die Behauptung aufrecht hält, dass der Beschreibungsformalismus (im Prinzip) *alle* Informationen bereitstellt, die die Natur selbst für ihre zeitliche Entwicklung benötigt, dann werden Anfangsbedingungen und Gesetz sogar völlig gleichwertig, weil für die Gewinnung dieser Information die Dauer der Berechnungsintervalle gegen 0 gehen müsste. In bezug auf die Berechnung der Bahn irgendeines der Körper werden die Anfangsbedingungen zu *Randbedingungen*, die sich mit der Zeit differenziell ändern – genauso wie der Ort und Impuls des Körpers selbst.

Das System wird also durch *Rückkopplung* geregelt: Die lokalen Änderungen (der Orte und Impulse der einzelnen Körper) verändern zugleich die Randbedingungen (die globalen Verhältnisse) und

---

<sup>116</sup> Bei drei Körpern existieren Lösungen in Form konvergenter Reihen. Das ist aber für die hier durchgeführte Argumentation ohne Bedeutung – hier geht es nicht um Sonderfälle von Lösungen für eine kleine Anzahl miteinander wechselwirkender Körper, sondern um die Frage, was sich beim Übergang auf den allgemeinen Fall *sehr vieler* Körper ändert.

dadurch verändern sich wiederum die Wirkungen, die das Gravitationsfeld auf die Körper ausübt, also deren Beschleunigungen.

Die erste Vermutung muss also korrigiert werden, und wir gelangen zum

### Standpunkt 2:

*Gesetz und Anfangsbedingungen sind gleichwertig. Es findet eine permanente **Rückkopplung zwischen globaler Struktur und lokaler Veränderung** statt.*

Schon durch diesen einfachen Schritt vom Standpunkt 1 zum Standpunkt 2 hat sich somit die gängige Vorstellung einer Kausalität "von unten" – also die Vorstellung, dass alles auf der Ebene der "elementaren Teilchen" determiniert ist – als falsch herausgestellt. Sie passt nur für Idealfälle, die niemals wirklich existieren. In realen Fällen folgt aus der Kausalität "von unten" allein überhaupt nichts; um Information über die Zukunft zu produzieren, muss sie mit der Kausalität "von oben" verbunden werden. Die Vorstellung der *Determiniertheit auf der Ebene elementarer Entitäten* muss durch die Vorstellung der *Rückkopplung*, d.h. des *Zusammenwirkens lokaler und globaler Gegebenheiten* ersetzt werden.

Für den nächsten Schritt wechseln wir in ein anderes Szenario. Wir betrachten eine *schwingungsfähige Membran*, die aus einer sehr großen Zahl von Teilchen gebildet wird, die durch elektromagnetische Kräfte aneinander gebunden sind. An ihrem Rand ist die Membran befestigt, so dass sie unter Spannung steht.

Hier gibt es

1. ein Naturgesetz: die Gleichungen des elektromagnetischen Feldes
2. Anfangsbedingungen: die Orte, Impulse und Ladungen der Teilchen zu einem bestimmten Zeitpunkt und
3. Randbedingungen: die *Form des Randes*, durch die die möglichen Schwingungsmuster der Membran festgelegt sind.

Es hat sich aber nun gegenüber dem vorherigen Szenario etwas Entscheidendes geändert: Zuvor waren die Orte und Impulse der Teilchen zu Beginn jedes Zeitintervalls die Anfangsbedingungen für den nächsten Rechenschritt. Wir haben sie als *veränderliche Randbedingungen* bzw. *globale Struktur* bezeichnet.

Die unter Punkt 3 genannten Randbedingungen entsprechen aber keineswegs diesen Randbedingungen des vorigen Szenarios. Vielmehr ist nunmehr die globale Struktur selbst durch weitere Bedingungen – nennen wir sie *Randbedingungen höherer Ordnung* – soweit eingeschränkt, dass sie einem eigenen Gesetz gehorcht: dem *Schwingungsgesetz der Membran*. Die unter Punkt 3 genannten Randbedingungen sind diese Randbedingungen höherer Ordnung.

Das Schwingungsgesetz der Membran ist kein Naturgesetz im üblichen Sinn. Es ist auch nicht aus Naturgesetzen ableitbar, sondern muss zu den Naturgesetzen, denen das Szenario gehorcht, hinzugefügt werden, um eine Beschreibung zu ermöglichen, die alle Informationen enthält. Diese Unabhängigkeit des Schwingungsgesetzes von den Naturgesetzen zeigt sich auch darin, dass man bei der Darstellung des Gesetzes von seiner physikalischen Realisierung absehen kann.

Die Behauptung, dass hier ein *weiteres Gesetz* auftritt, erscheint allerdings zunächst sonderbar. Ist es nicht nach wie vor einfach die elektromagnetische Wechselwirkung, die die Bewegungen der Teilchen und damit zugleich die Bewegungen der Membran bestimmt? Ist das Schwingungsgesetz nicht bloß die bequeme Darstellungsform der Dynamik einer eigentlich elektromagnetisch determinierten Teilchenkonstellation?

Die Antwort ist *nein*. Die elektromagnetische Wechselwirkung ist nur *eine* Voraussetzung. Für die *vollständige Beschreibung* benötigt man jedoch hier – ebenso wie beim vorigen Szenario und wie auch sonst immer – nicht nur das Gesetz, sondern auch die *Anfangsbedingungen* zu irgendeinem Zeitpunkt, also den *globalen Zustand des Systems*. Während es vorher jedoch notwendig war, die Zeitspanne zwischen Anfangsbedingungen und Resultat zu unterteilen und den globalen Zustand für alle Intervalle neu zu ermitteln, ist es nunmehr *wegen des zusätzlichen Gesetzes* möglich, für den Systemzustand eine Gleichung aufzustellen, die analytisch gelöst werden kann.

*Das neue Gesetz ist somit das **dominante** Gesetz: es bestimmt die globale und damit zugleich die lokale Dynamik. Das Naturgesetz ist untergeordnet: die elektromagnetische Wechselwirkung fügt sich dem Gebot des Schwingungsgesetzes.*

Ist aber nicht doch das ganze Szenario auf naturgesetzliche Weise entstanden, so dass auch die Randbedingungen, die hier die globale Dynamik auf gesetzmäßige Weise strukturieren, letztlich *doch* aus Naturgesetzen und Anfangsbedingungen abgeleitet werden können?

Abermals nein. Der Versuch, die Behauptung, dass die globale Dynamik jetzt *neuen* Gesetzmäßigkeiten gehorcht, durch Rückführung auf die Vergangenheit zu widerlegen, scheitert ganz einfach daran, dass man auch bei dieser Rückführung – gleichgültig, wie weit man auch zurückgeht – mit *Gesetz und Anfangsbedingungen* beginnen muss, und dass es dann – gemäß dem zuvor Gesagten –



wegen der *veränderlichen globalen Bedingungen* unmöglich ist, die Zukunft abzuleiten. Genau diese Tatsache verhindert die Rückführung existierender Systeme auf Naturgesetze und Anfangsbedingungen und ermöglicht das Auftreten neuer Gesetze. Die Naturgesetze allein bieten diese Möglichkeit nicht – sie bleiben immer gleich. Die globalen Bedingungen jedoch, die ein zweites, unverzichtbares Element der Organisation der Natur und ihrer Beschreibung darstellen, sind offen für die Entwicklung von Gesetzmäßigkeiten, die zusätzlich zu den Naturgesetzen auftreten.<sup>117</sup>

Dieser zweite Schritt hat uns von der Annahme, dass es nur Naturgesetze gibt, zur Annahme geführt, dass die globale Zustandsdynamik von Systemen nicht nur durch Naturgesetze, sondern auch durch weitere Gesetze bestimmt wird, die man (wie schon in 2.2. festgestellt) *Gesetze der Form* oder *Strukturgesetze* nennen könnte. Ich fasse zusammen:

### Standpunkt 3:

*Randbedingungen – oder allgemeiner: strukturelle Voraussetzungen – können dazu führen, dass die globalen Systemzustände zusätzlich zu den Naturgesetzen weiteren Gesetzen unterworfen sind. Es sind Strukturgesetze oder Gesetze der Form. Sie sind dominant und von der physikalischen Beschaffenheit des Systems unabhängig.*

Zur Ausführung des nächsten Schritts wenden wir uns nun direkt menschlichen neuronalen Netzen zu.

Die einzelnen Elemente, aus denen sie aufgebaut sind – Neurone – sind Systeme, die mit der Membran des vorigen Szenarios auf folgende Weise vergleichbar sind: Der Aufbau bzw. die Struktur eines Neurons bestimmt als *Menge der Randbedingungen* die Dynamik der physikalisch-chemischen Prozesse, die im Neuron stattfinden, also die Dynamik der Systemzustände. Analog zum Schwingungsgesetz der Membran tritt hier ebenfalls ein *neues Gesetz* auf: das bekannte neuronale Input-Output-Gesetz. Auch hier ist es wieder möglich, von der physikalischen Realisierung abzusehen.

### Standpunkt 4:

*Neurone sind Systeme, deren (interne) Zustandsdynamik durch ein Strukturgesetz – das neuronale Input-Output-Gesetz – geregelt ist. Auch die Dynamik des neuronalen Netzes insgesamt gehorcht diesem Gesetz. Das Netz gleicht in dieser Hinsicht dem vorher beschriebenen Gravitationszenario, dessen Dynamik dem Gravitationsgesetz gehorcht. Das neuronale Input-Output-Gesetz kann als Wechselwirkungsgesetz der Neurone aufgefasst werden.*

---

<sup>117</sup> Die vollständige Argumentation hierzu folgt im nächsten Kapitel.

Damit sind wir nun also bei jener Ebene der Wirklichkeit angelangt, die Gegenstand der Hirnforschung ist: Das *neuronale Netz* wird als System betrachtet, dessen Elemente Neurone sind und dessen Zustände durch das *Wechselwirkungsgesetz der Neurone* (das neuronale Input-Output-Gesetz) festgelegt sind, ebenso, wie die Zustände von physikalischen Systemen durch Naturgesetze festgelegt sind.

Die groben Umriss der Zustandsdynamik des Netzes sind direkt beobachtbar. Diverse bildgebende Verfahren zeigen, welche neuronalen Areale aktiv sind und ermöglichen dadurch Einblicke in die funktionelle Topologie des Gehirns. Die Kenntnis der Aktivität und Ausprägung neuronaler Strukturen lässt – in einem gewissen Maß – sogar Schlussfolgerungen über das Ausmaß der zugeordneten geistigen Leistungen zu, insbesondere im Fall pathologischer Einschränkungen.

Die Frage ist:

*Entspricht die nun erreichte Ebene der Wirklichkeit – das neuronale Netz als System, das dem neuronalen Input-Output-Gesetz gehorcht – bereits der Ebene der geistigen Aktivität?*

Die Antwort ist *nein*, und zwar aus folgendem Grund:

Nehmen wir an, wir hätten die Gleichung bzw. das Gleichungssystem eines menschlichen neuronalen Netzes. (Auch wenn diese Annahme völlig absurd erscheint, so gibt es doch keinen Grund, die *Existenz* eines solchen Gleichungssystems auszuschließen.) Dann sind wir in genau derselben Lage wie beim zuvor beschriebenen Szenario zahlreicher gravitierender Körper. Wir haben *das Gesetz*: das Gleichungssystem des Netzes, und *die Anfangsbedingungen*: die Werte der Variablen, durch die die Zustände der einzelnen Neurone definiert sind – genauso, wie beim Gravitationsszenario das Gesetz und die Anfangsbedingungen gegeben waren.

Wer nun meint, daraus würde bereits die weitere zeitliche Entwicklung des Systems folgen, der würde demselben Irrtum unterliegen, durch den der *vorläufige Standpunkt I* charakterisiert war – der irrigen Annahme also, dass das Gesetz als Input-Output-Mechanismus funktioniert, in den bloß, als einmaliger Akt, die Anfangsbedingungen als Input eingesetzt werden müssen, und der dann – ohne irgendwelche Zwischenschritte – jede beliebige Information über künftige Systemzustände als Output liefert.

Diese Annahme war beim Gravitationsszenario falsch, und sie ist auch beim neuronalen Netz falsch, weil es in beiden Fällen eine *permanente Rückkopplung* zwischen dem *globalen Systemzustand* und den *lokalen*, durch das Gesetz *und* den globalen Zustand determinierten Veränderungen gibt.

Betrachten wir zum Vergleich nochmals das Gravitationsszenario: Die Änderungen der Variablen der Körper – der Orte und Impulse – ergeben sich aus der Struktur des Gravitationsfeldes, d.h. aus dem Zustand des gesamten Systems: das Gravitationsgesetz kann angewendet werden, um die Bahnen der Körper zu bestimmen – jedoch nur für eine (sehr) kurze Zeitspanne, denn infolge der lokalen Änderungen ändert sich auch das Feld. Diese Änderung muss beim nächsten Schritt berücksichtigt werden. Das veränderte Feld bewirkt nun Änderungen der Orte und Impulse, die wiederum zugleich eine Änderung des Feldes bedeuten usw. Die *singulären Anfangsbedingungen* werden zu *veränderlichen globalen Bedingungen*.

Auf Grund dieser permanenten Rückkopplung ist es, wie anfangs festgestellt, keinesfalls möglich, Information über die zeitliche Entwicklung des Systems zu erhalten, indem man die Anfangsbedingungen in die Gleichungen einsetzt und dann ein Verfahren zum Auffinden von Lösungen anwendet. *Es existiert kein solches Verfahren.*

Beim neuronalen Netz sind die Verhältnisse analog: Alle Elemente des Systems (Neurone) sind – entweder direkt oder über wenige Zwischenschritte – aneinander gekoppelt. Die Änderungen der Variablen der Neurone – Zahl der Synapsen, Verbindungsstärken, Aktivierungsgrad, Frequenz – sind eine Folge des jeweiligen globalen Systemzustands, d.h. das Gesetz – das Gleichungssystem des Netzes – kann angewendet werden. Aber genauso wie zuvor kann auf diese Weise nur Information über eine (sehr) kurze Zeitspanne hinweg gewonnen werden: die lokalen Änderungen ändern zugleich den Systemzustand, der wiederum anders auf die lokalen Variablen wirkt usw. Und – wie beim Gravitationsszenario – folgt aus der Existenz dieser massiven Rückkopplung, dass kein Verfahren zum Auffinden von Lösungen für die Gleichungen des neuronalen Netzes existiert.

#### Standpunkt 5:

*Auf Grund der Rückkopplung zwischen globalen und lokalen Bedingungen ist es nicht möglich, genaue Werte der Variablen für irgendeinen zukünftigen Zeitpunkt zu berechnen.*

***Es gibt keinen Algorithmus, der von einem bekannten Zustand A des Netzes zu einem künftigen Zustand B führt.***

Es müsste somit, wie beim Gravitationsszenario, auf numerische Näherungsverfahren zurückgegriffen werden, *es sei denn*, es gibt weitere Gesetze, die, wie beim Membran-Szenario, die Dynamik des Netzes zusätzlich zum neuronalen Input-Output-Gesetz regeln.

Damit stehen wir also vor der nächsten grundsätzlichen Frage:

*Ist das Wechselwirkungsgesetz der Neurone – das neuronale Input-Output-Gesetz – das einzige Gesetz, dem das System gehorcht, oder gibt es weitere Gesetze der Art, die zuvor Strukturgesetze genannt wurden?*

Anders gefragt: Ist, wie im Gravitationsszenario, das einzig wirkende Gesetz das Wechselwirkungsgesetz der Elemente des Szenarios, oder treten, wie bei der schwingenden Membran, infolge von *Voraussetzungen struktureller Art* weitere Gesetze auf, denen die globalen Systemzustände unterworfen sind?

Die Antwort ist einfach. Folgendermaßen:

"Geistige Zustände"<sup>118</sup> sind als globale raum-zeitliche Muster des neuronalen Netzes definiert, bei denen etliche Areale des Netzes gleichzeitig aktiviert und miteinander verbunden sind.<sup>119</sup>

Damit sind die Verhältnisse denen bei der schwingenden Membran vergleichbar. Die Strukturierung des Netzes durch die darin möglichen geistigen Zustände kann analog zur Strukturierung der Membran durch deren mögliche Schwingungszustände betrachtet werden. So wie der *Rand der Membran* die Bedingung für das Auftreten von geordneten globalen Zuständen der Membran darstellt, so bildet auch *die Form des gesamten Netzes* (genauer: des Phasenraums des Netzes) die strukturelle Voraussetzung für das Auftreten von geordneten globalen Zuständen (Mustern) des Netzes, also von geistigen Zuständen.

#### Standpunkt 6:

*Das neuronale Netz gehorcht zusätzlich zum neuronalen Input-Output-Gesetz einem weiteren Gesetz: seine Dynamik wird durch die globalen Muster strukturiert, die als "geistige Zustände" definiert sind. Ihre strukturierende Funktion kann analog zu der von globalen Schwingungszuständen eines physikalischen Systems verstanden werden: wie diese sind geistige Zustände Attraktoren der globalen Dynamik. (Mehr darüber in 3.4.)*

---

<sup>118</sup> Ich verwende den Terminus "Zustand" hier – analog zum "Schwingungszustand" der Membran – synonym für "raum-zeitliches Muster". Ein geistiger Zustand ist also zeitlich ausgedehnt – im Gegensatz zum physikalischen Begriff "Zustand", der sich nur auf einen bestimmten Zeitpunkt bezieht.

<sup>119</sup> Als weitere Bedingung muss hier angenommen werden, dass dabei auch Teile des Netzes aktiv sind, die keine spezifische Funktionalität haben (sogenannte assoziative Felder). Nur wenn das der Fall ist, können die globalen Zustände auch *geistige Zustände* sein, und nur dann gelten die folgenden Überlegungen. (Ich werde am Ende von 3.5. auf diesen Punkt zurückkommen und im fünften Kapitel nochmals darauf eingehen.)

Der nächste Schritt führt nun über die Membran-Analogie hinaus:

So, wie sicher angenommen werden kann, dass geistige Zustände *geordnete globale Systemzustände* sind, steht auch unbezweifelbar fest, dass sie sich *aufeinander beziehen*, dass sie also *untereinander vernetzt* sind.

Das bedeutet: Während die Übergänge zwischen verschiedenen möglichen Schwingungszuständen eines physikalischen Systems *von außen* verursacht werden, sind die Übergänge zwischen den geordneten globalen Systemzuständen des neuronalen Netzes – den geistigen Zuständen – Teil der *internen Dynamik* des Netzes. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Übergänge zwischen den globalen Zuständen – ebenso wie diese Zustände selbst – nicht aus dem neuronalen Input-Output-Gesetz ableitbar sind: wären die Übergänge ableitbar, dann wäre auch die Folge der globalen Zustände insgesamt ableitbar, und dann müssen auch die Elemente dieser Folge, also die Zustände selbst, aus diesem Gesetz ableitbar sein. Da das aber nicht der Fall ist – sie folgen ja, wie zuvor festgestellt, nicht aus dem neuronalen Input-Output-Gesetz, sondern aus einem *neuen Gesetz der Form* –, muss den geistigen Zuständen also *eine eigene Dynamik* zugeschrieben werden.

Mit anderen Worten: Geistige Zustände beziehen sich *als geistige Zustände* aufeinander. Sie stehen miteinander in spezifischer *geistiger* Wechselwirkung, nicht anders als Teilchen miteinander in spezifischer physikalischer Wechselwirkung stehen.

Damit haben wir nun, ohne dabei jemals den Bereich der naturwissenschaftlichen Methodik zu verlassen, systematisch die Behauptungen begründet, die schon im vorigen Abschnitt 3.1. aufgestellt wurden. Hier die Wiederholung. Sie ist zugleich der

#### Standpunkt 7:

***Geistige Zustände sind – genau wie Neurone oder neuronale Module – untereinander vernetzt, sie bedingen einander, sie bestimmen ihre eigene zeitliche Abfolge, kurz: sie bilden eine eigenständige Schicht der Wirklichkeit.***

*So, wie man bei der Beschreibung der neuronalen Dynamik von der materialen Beschaffenheit der kybernetischen Elemente (der einzelnen Neurone) absehen kann – d.h. von der Tatsache, dass es Aggregate von Molekülen sind –, so kann man auch bei der Beschreibung der geistigen Dynamik von der materialen Beschaffenheit der kybernetischen Elemente (der einzelnen geistigen Prozesse) absehen – d.h. von der Tatsache, dass es neuronale Muster sind.*

ERST JETZT sind wir also auf der Ebene der geistigen Aktivitäten angelangt, d.h. beim Geist selbst. Erst dadurch, dass die globalen Muster des Netzes selbst als Elemente einer *Struktur höherer Ordnung* aufgefasst werden, können geistige Phänomene *als solche* in das naturwissenschaftliche Verständnis der Wirklichkeit integriert werden.

Im Grunde ist der Schritt vom Standpunkt 6 auf Standpunkt 7 nichts Neues – er stellt bloß eine Analogie des Aufsteigens von Molekülen zu Neuronen dar: Er ist ein weiteres Beispiel dafür, dass Aggregate, die aus einfacheren Elementen bestehen, selbst wiederum die Bausteine einer höheren Schicht bilden können, d.h. als Elemente einer dynamischen Struktur höherer Ordnung fungieren. Auf ebendiese Weise sind die globalen Muster des Netzes als Elemente einer höheren Schicht der Wirklichkeit aufzufassen, nämlich der geistigen.

Dem flüchtigen Blick könnte diese Tatsache verborgen bleiben, weil diese Schicht der Wirklichkeit sich niemals *als Ganzes* präsentiert. Das neuronale Netz enthält ja nicht die Aktivitätsmuster selbst, sondern gewissermaßen nur die *Herstellungsanweisungen* für diese Muster. Deshalb ist von allen möglichen geistigen Zuständen jeweils nur *ein einziger* tatsächlich realisiert. Während das neuronale Netz als kybernetisches System immer als Ganzes existiert, sodass seine Struktur (im Prinzip) vollständig sichtbar ist, kann das Netz geistiger Zustände daher nicht direkt beobachtet werden.

Betrachten wir als Beispiel geistiger Aktivitäten einen *Gedankengang*. In unserem Bild ist dies eine Folge geordneter Systemzustände. Jeder Gedanke stellt ein Muster bzw. selbst schon eine Abfolge von Mustern dar. Von diesen Mustern ist jeweils nur eines realisiert. Es ist kurze Zeit aktiv und geht danach in das nachfolgende Muster über. Das nachfolgende Muster kann aber durchaus *in denselben neuronalen Bereichen* realisiert sein wie das vorhergehende. Bei einer Tomographie wäre dieser Übergang dann gar nicht beobachtbar.

Will man also den strukturellen Zusammenhang geistiger Zustände erforschen, dann kann man nicht einfach eine existierende Struktur beobachten; Man muss sich vielmehr einen *virtuellen* Raum vorstellen, der aber (im Prinzip) durch ein Modell veranschaulicht werden könnte. Seine Elemente wären geistige Zustände – Verbindungen von Gedanken, Gefühlen, Vorstellungen usw. – und seine Struktur könnte z.B. durch Pfeile dargestellt werden, die von jedem Zustand zu den möglichen folgenden Zuständen führen, mit Angaben über die Wahrscheinlichkeit des jeweiligen Übergangs.

Die Struktur und Dynamik geistiger Aktivität kann also nicht durch irgendein bildgebendes Verfahren sichtbar gemacht werden. Man muss sich, um einen Überblick zu gewinnen, in den virtuellen Raum geistiger Zustände begeben. Bildgebende Verfahren informieren daher im Grunde nur über jene Aktivitäten und Zustandsfolgen des Netzes, die durch das neuronale Input-Output-Gesetz und durch die funktionelle Struktur des Gehirns determiniert sind und eben *nicht* durch jene Gesetzmäßigkeiten,

durch die die Folge geistiger Zustände, wie etwa die von Gedankengängen, geregelt wird. Es ist also kein Zufall, dass in der Hirnforschung, sofern sie sich auf bildgebende Verfahren stützt, nie von Schlussfolgerungen, Gedankengängen oder Einsichten die Rede ist, die man als das eigentliche Reich des Geistes bezeichnen könnte.

Betrachten wir kurz das bisher Erreichte. Wie weit sind wir gekommen?

Aus unserer Analyse folgt die *Eigenständigkeit des Geistes*. Es ist gezeigt worden, dass geistige Aktivitäten tatsächlich *als solche* beschrieben werden können – und müssen. Dabei sind wir mit der naturwissenschaftlichen Sicht der Welt keineswegs in Konflikt geraten; im Gegenteil: die Argumentation bezog sich ausschließlich auf naturwissenschaftliche Fakten und Methoden.

Die Beschreibung geistiger Phänomene durch die Begriffe, die wir dafür alltäglich gebrauchen, ist damit vollständig gerechtfertigt: Gedanken sind Gedanken, Gründe sind Gründe, Entscheidungen sind Entscheidungen. Dass sie *als sie selbst* auftreten können und nicht *eigentlich etwas anderes* sind, liegt daran, dass sie auf nichts anderes reduziert werden können. Der Grund dafür ist ganz einfach derselbe wie bei den Schwingungszuständen der Membran: wie diese gehorchen auch geistige Zustände einem zusätzlichen, neuen Gesetz und sind daher nicht auf eine einfachere Schicht der Wirklichkeit reduzierbar. Kurz gesagt: die Behauptung, geistige Aktivitäten seien *neuronale Phänomene* ist ebenso falsch wie die Behauptung, die Schwingungszustände einer Membran seien *elektromagnetische Phänomene*.

Geistige Phänomene sind somit *neue, nicht reduzierbare Phänomene*, deren eigenständige Beschreibung nicht bloß gerechtfertigt, sondern notwendig ist.

Besonders hervorzuheben ist, dass durch die bisherigen Schlussfolgerungen aber nicht nur die Eigenständigkeit geistiger Phänomene begründet wird, sondern dass dadurch geistige Zustände auch als *Ursache* physikalischen Geschehens verstanden werden können. Eine Aussage wie: "Diese Person hat so gehandelt, weil sie es für richtig hielt", ist ebenso gerechtfertigt wie die Aussage: "Die rote Kugel wurde versenkt, weil sie von der weißen Kugel im richtigen Winkel angestoßen worden ist". Beide Aussagen sind angemessene kausale Beschreibungen der Vorgänge in der jeweiligen Schicht der Wirklichkeit.

Zur Erinnerung: Die Begründung setzt sich aus zwei Tatsachen zusammen. Die erste ist bereits beim Übergang vom ersten auf den zweiten Standpunkt aufgedeckt worden: der *globale Zustand* eines Systems ist für die künftige Entwicklung des Systems von gleicher Bedeutung wie die lokalen Gegebenheiten (etwa Orte und Impulse von Teilchen).

Dazu kommt als zweite Tatsache, dass es Systeme gibt, deren globale Zustände durch Gesetze bestimmt werden, die zusätzlich zu den Naturgesetzen existieren. Der globale Zustand dominiert dann über die lokalen Verhältnisse. Daher ist es angemessen, ihn als *Ursache* der lokalen Dynamik aufzufassen. In genau diesem Sinn sind geistige Zustände Ursache der Veränderungen neuronaler Variablen und damit zugleich auch Ursache von Handlungen.

Auf diese einfache Weise ist erklärt, wie "Geist" auf "Materie" einwirkt.

Damit sind die Geistigen Zustände und Prozesse selbst Teil der Naturkausalität geworden, aber eben nicht so, wie sie in der klassischen Antinomie von Freiheit und Kausalität auftreten, also nicht als *verursacht*, sondern als *verursachend*. (Ob bzw. in welchem Maß sie selbst verursacht sind, wird im nächsten Abschnitt beantwortet.)

Auch das Auftreten von *Gründen* kann erst dann verstanden werden, wenn man die Tatsache berücksichtigt, dass geistige Zustände untereinander vernetzt sind, dass sie also selbst wiederum Elemente einer weiteren Schicht der Wirklichkeit sind, eines Systems höherer Ordnung, das eine eigene Dynamik hat, d.h. eine Abfolge von Zuständen, die gewissen Regeln gehorcht. *Gründe* sind Beispiele für diese Regeln.

Allerdings fehlen in den bisherigen Überlegungen wichtige Differenzierungen. So ist z.B. klar, dass nicht alle Zustände neuronaler Netze als geistige Zustände aufgefasst werden können. Einfache neuronale Netze funktionieren wie Automaten. Sie sind vollständig durch ihre Schaltungen – also durch das neuronale Input-Output-Gesetz – und durch ihre funktionelle Architektur determiniert. Es wäre also wünschenswert, zu klären, unter welchen Voraussetzungen die verwendeten Analogien und Argumente gelten. (Ich werde das im Abschnitt 3.5, unter "Bemerkungen", nachholen.)

Andererseits geht es hier aber vor allem um die *prinzipielle Möglichkeit*, Geist als natürliches Phänomen zu verstehen und in das naturwissenschaftliche Weltbild zu integrieren, und genau das leisten die bisherigen Schlussfolgerungen: sie zeigen, dass diese Möglichkeit besteht. Geist kann als eigenständige Schicht der Wirklichkeit begriffen werden, die auf keine andere, tiefer liegende Schicht (neuronal, molekular usw.) reduzierbar ist. Psychologische Konzepte und Termini sind daher für die Beschreibung angemessen, und geistige Prozesse sind Ursache für physikalische Veränderungen.

Was allerdings noch fehlt, ist die Begründung der *Freiheit* des Geistes. Es ist zwar gerechtfertigt, Entscheidungsprozesse als geistige Phänomene aufzufassen, aber es ist auf dem gegenwärtigen Stand unserer Überlegungen noch nicht gerechtfertigt, sie *frei* zu nennen.



### 3.3. Der letzte Schritt: die Begründung der Willensfreiheit

Vor unserem Blick ist nun folgendes Szenario ausgebreitet:

Das neuronale Netz besteht aus mehreren übereinanderliegenden Schichten ansteigender Komplexität.

Die unterste Schicht – bezeichnen wir sie als *Bereich erster Ordnung* – ist die der **Atome und Moleküle**. Sie gehorchen einem Naturgesetz: dem *Gesetz der elektromagnetischen Wechselwirkung*. Ihre Dynamik wird in den Neuronen jedoch von einem *Gesetz zweiter Ordnung* (einem Strukturgesetz) bestimmt: dem *neuronalen Input-Output-Gesetz*.

Die mittlere Schicht – der *Bereich zweiter Ordnung* – ist die der **Neurone**. Sie gehorchen einem Strukturgesetz: dem *neuronalen Input-Output-Gesetz*, das zugleich ihr *Wechselwirkungsgesetz* ist. Ihre Dynamik wird jedoch von einem *Gesetz dritter Ordnung* (einem Strukturgesetz) bestimmt: dem *Gesetz der Abfolge geistiger Zustände*.

Die oberste Schicht – der *Bereich dritter Ordnung* – ist die der **geistigen Zustände**. Sie gehorchen einem Strukturgesetz: dem *Gesetz der Abfolge geistiger Zustände*, das zugleich ihr *Wechselwirkungsgesetz* ist.<sup>120</sup>

In diesem Szenario gibt es allerdings einen Punkt, der einer Ergänzung bedarf. Ich komme gleich darauf zurück. Nehmen wir zunächst an, dass alle Aussagen zutreffen.

Nun fügen wir diesen Aussagen eine weitere Aussage hinzu – diejenige, die im Abschnitt 2.2. abgeleitet worden ist. Sie lautet:

Von den beiden Behauptungen

1. *Willensfreiheit existiert*    2. *Das Vollständigkeitsaxiom  $A_N$  ist korrekt*

ist höchstens *eine* wahr.

---

<sup>120</sup> Es überrascht vielleicht, dass hier die Schicht der neuronalen Bereiche unterschiedlicher Funktionalität fehlt, die miteinander ebenfalls auf gesetzmäßige Weise zusammenhängen. Die Berücksichtigung dieser Schicht als weiteren Ordnungsbereich würde jedoch nichts Grundsätzliches ändern, sondern bloß die Argumentation erschweren. Deshalb tritt diese Schicht hier nur in Form der Bedingung auf, dass bei geistigen Zuständen *assoziative Felder* aktiv sein müssen.

Zur Erinnerung nochmals das Vollständigkeitsaxiom:

*Alles, was sich ereignet, folgt aus Anfangsbedingungen und Gesetzen.*

Überprüfen wir das eben erstellte Szenario. Offensichtlich ist es in der Form, wie es soeben notiert wurde, tatsächlich zur Gänze durch Anfangsbedingungen und Gesetze festgelegt, und daraus würde nun – wie in 2.2. festgestellt – folgen, dass die Annahme, *wir selbst* wären die Urheber unserer Handlungen und würden sie nach unserem freien Willen wählen, genauso absurd wäre wie die Annahme, nicht nur Gravitation würde die Bahn der Himmelskörper bestimmen, sondern auch ein *vielarmiger kosmischer Affe*, der sie nach seinem Gutdünken lenkt.

Untersuchen wir also, ob irgendeine der Behauptungen, die das Szenario enthält, unvollständig oder falsch sein könnte.

Beginnen wir mit den Anfangsbedingungen. Deren Existenz ist selbstverständlich. Am hierarchischen Aufbau ist ebenfalls nicht zu zweifeln. Also muss das Problem in den *Gesetzesannahmen* liegen.

Drei Arten von Gesetzen verschiedener Ordnung treten auf: die *elektromagnetische Wechselwirkung*, das *neuronale Input-Output-Gesetz* und das *Gesetz der Abfolge geistiger Zustände*.

Die ersten beiden Gesetze existieren mit Sicherheit. Hinsichtlich ihrer Definition gibt es kein Problem. Sie gelten stets unverändert.

Durch dieses Ausschlussverfahren haben wir den problematischen Punkt im Szenario ausgemacht – es ist die einzige übrig bleibende Annahme, nämlich die Behauptung:

*Es gibt ein Gesetz, das die Abfolge geistiger Zustände regelt.*

Was ist daran problematisch? Es kann doch kein Zweifel daran bestehen, dass geistige Prozesse gewissen Regeln folgen?

Untersuchen wir, was geschieht, wenn geistige Prozesse ablaufen. Gemäß unseren Voraussetzungen gehorcht ihr Ablauf einem Gesetz dritter Ordnung.

Jetzt beziehen wir in unsere Überlegung die bekannte Tatsache ein, dass *jede neuronale Aktivität die neuronale Struktur verändert*. Das jeweils aktive Muster wird verstärkt, nicht aktive Muster werden

abgeschwächt, was durch Veränderungen der synaptischen Aktivität, aber auch durch Wachstum oder Abbau von Dendriten oder sogar Bildung oder Abbau von Neuronen bewirkt werden kann.<sup>121</sup>

Das bedeutet:

*Die geistige Aktivität wirkt auf sich selbst zurück. Sie verändert sich selbst, indem sie ihre neuronale Codierung ändert: durch die Aktivierung eines einzigen geistigen Zustands erfahren alle geistigen Zustände, bei denen sich die neuronalen Bereiche, in denen sie codiert sind, mit denen des aktiven Zustands überschneiden, eine Veränderung. (Da jeder geistige Zustand über weite Bereiche des Netzes verteilt ist, überschneiden sich die Bereiche vieler, wenn nicht sogar aller geistigen Zustände.) Damit ändern sich aber zugleich die Regeln für die Abfolge geistiger Zustände.*

Zum Vergleich: Bei Prozessen, die in physikalischen Systemen stattfinden, werden zwar laufend neue Zustände produziert, d.h. die Werte der Variablen ändern sich, die Gesetze bleiben jedoch gleich, und auch die Struktur des Zustandsraumes bleibt gleich, sofern äußere Einflüsse ausgeschlossen werden.

Bei geistigen Prozessen werden hingegen nicht nur neue Zustände produziert, sondern auch *neue Regeln* der Abfolge dieser Zustände, und die Struktur des Zustandsraumes ändert sich permanent. Auch wenn äußere Einflüsse ausgeschlossen werden, verändert das System durch Rückkopplung unaufhörlich seine eigenen Voraussetzungen. Und diese Änderung – auch wenn das Hebbsche Gesetz ihre notwendige Voraussetzung ist – muss der dominanten Schicht des Szenarios zugeschrieben werden, d.h. der geistigen Schicht. Sie ist ein *geistiges* Phänomen.

*Es existieren also keine feststehenden Regeln dritter Ordnung.*

Es ist aber noch eine weitere Frage zu klären: Gibt es vielleicht gleichbleibende *Metaregeln*, also Regeln über die Veränderung der Regeln geistiger Aktivität?

Die Existenz *universell gültiger* Metaregeln würde einen universell gültigen Zusammenhang zwischen dem Informationsgehalt geistiger Zustände und dessen neuronaler Codierung voraussetzen. Ein solcher Zusammenhang existiert aber nicht. Falls Metaregeln existieren, sind sie daher systembezogen, und das heißt: auch sie sind den Veränderungen durch Rückkopplung unterworfen. Es gibt somit auch keine gleichbleibenden Metaregeln.

---

<sup>121</sup> Diese Erkenntnis geht auf Donald Hebb zurück, der 1949 in *The Organization of Behavior* feststellte: *When an axon of cell A is near enough to excite B and repeatedly or persistently takes part in firing it, some growth process or metabolic change takes place in one or both cells such that A's efficiency, as one of the cells firing B, is increased.*

Wir haben also den Satz abgeleitet:

***Die formalen Repräsentationen geistiger Prozesse sind aus keinem vorgegebenen System von Anfangsbedingungen und Gleichungen ableitbar. Falls Gleichungen bzw. Regeln für diese Repräsentationen und deren Übergänge existieren, werden sie fortwährend durch Rückkopplungsprozesse verändert.***

Da die Codierung geistiger Zustände auf der neuronalen Ebene erfolgt, und weil die Elemente dieser Ebene ja wiederum aus physikalischen Elementen aufgebaut sind, folgt aus diesem Satz, wie in 2.2. angekündigt, auch der Satz:

*Die physikalischen Zustände und Zustandsfolgen, durch die geistige Prozesse in neuronalen Netzen codiert werden, sind nicht aus irgendeinem vorgegebenen System von Gleichungen und Anfangsbedingungen ableitbar, und sie können nicht als Lösung eines solchen Gleichungssystems für irgendeinen bestimmten Zeitpunkt aufgefasst werden.*

Das Vollständigkeitsaxiom der Naturwissenschaft ist daher falsch.

Gerade deshalb, weil geistige Prozesse *natürliche Prozesse* sind, gilt:

***Jede formale Beschreibung der Natur durch ein System von Anfangsbedingungen und Gesetzen ist unvollständig.***

Wenn das Vollständigkeitsaxiom falsch ist, *kann* Willensfreiheit existieren. Existiert sie?

Die Antwort ist *ja*, und diese Antwort setzt sich aus drei Aussagen zusammen, die zuvor abgeleitet worden sind:

1. Willensentscheidungen sind geistige Prozesse. Als solche sind sie nicht aus physikalischen Gegebenheiten ableitbar, und zwar nicht aus technischen, sondern aus prinzipiellen – oder sagen wir: aus metaphysischen Gründen.

2. Willensentscheidungen wirken *kausal* auf materielle Gegebenheiten ein.

3. Obwohl geistige Prozesse eigenen Regeln unterworfen sind, ist es nicht möglich, daraus eine Willensentscheidung abzuleiten: sie kann in diesen Regeln nicht enthalten sein, weil die Regeln durch den geistigen Prozess, der der Entscheidung vorausgeht, geändert werden können. Während dieser

Prozess stattfindet, können sich die Gesetze, denen er gehorcht, ändern – oder genauer: *er selbst* kann die Gesetze ändern, die vor seinem Beginn galten.

Zusammengefasst: Willensentscheidungen sind Ursachen von Handlungen, und sie sind nicht vorher festgelegt. Sie sind also frei.

### ***3.4. Geordnete Zustände in neuronalen Netzen; Universalien als Attraktoren***

Im letzten Abschnitt wurden geistige Zustände als *geordnete globale Zustände* eines neuronalen Netzes bezeichnet, durch die die Dynamik des Netzes gesetzmäßig strukturiert wird. Das kann als *Kausalität von oben* aufgefasst werden. Dieser Sachverhalt soll nun konkretisiert werden.

Ich werde dafür Modelle verwenden, die in einem so hohen Maß idealisiert und vereinfacht sind, dass sie die Bezeichnung "Modell" kaum verdienen. Die Rechtfertigung dieser Methode besteht darin, dass sie ermöglicht, grundlegende Eigenschaften neuronaler Netze auf besonders einfache und abstrakte Art zu erklären und direkt aufzuzeigen, auf welche Weise diese Eigenschaften mit mathematischen Prinzipien verknüpft sind und wie sie zu geistigen Leistungen aufsteigen können.

Stellen wir uns ein natürliches (biologisches) neuronales Netz vor, sagen wir: einigen zehntausend Neuronen vor, das keine spezifische Funktionalität hat, in diesem Sinn also unstrukturiert ist. Es sei zunächst isoliert, d.h. ohne Verbindung nach außen. Seine elektrische Aktivität ist schwach, und sie ist *zufällig*, was einfach bedeuten soll, dass die Trajektorie im (physikalischen) Zustandsraum des Netzes keine erkennbaren Muster aufweist.

Jetzt verbinden wir das Netz mit der Außenwelt durch ein Sinnesorgan bzw. Eingabegerät, das optische Signale in neuronale Aktivität umwandelt. Der Zustand des Netzes hängt nun von diesem optischen Input ab.

Präsentieren wir nun dem Eingabegerät über einen gewissen Zeitraum ein *Objekt*. Wir nehmen an, dass sich im Netz auf Grund des spezifischen Inputs ein Muster ausbildet, das so lange fortbesteht bzw. sich wiederholt, wie das Objekt an Ort und Stelle bleibt.

Jetzt folgt der Punkt, der für die Strukturierung der Dynamik des Netzes entscheidend ist:

*Wegen des Hebb'schen Gesetzes werden die neuronalen Verbindungen, die das gerade aktive Muster bilden, **verstärkt**.*

Mathematisch bedeutet das: *Das aktive Muster wird zum Attraktor.*

Der Zustandsraum des Netzes hat sich damit verändert: er ist nicht mehr unstrukturiert, sondern besitzt einen Attraktor, der ein Objekt repräsentiert.<sup>122</sup>

Der Attraktor hat einen *Einzugsbereich*. Es gibt also jetzt einen Teilbereich des Zustandsraums, innerhalb dessen die Trajektorien nicht mehr zufällig sind, sondern dem Attraktor zustreben.

Aus diesem einfachen Konzept folgt unmittelbar eine Reihe grundsätzlicher Aussagen, die nicht nur für unser simples Modellnetz, sondern ganz allgemein für neuronale Netze gelten, in denen es einen Bereich gibt, dessen Dynamik nicht schon von Beginn an (genetisch) festgelegt ist, sondern sich erst im Lauf der Zeit – wie soeben dargestellt – durch die Ausbildung von Attraktoren entwickelt:

1. Zunächst leistet der Begriff des Attraktors offenbar genau das, was von den geistigen Zuständen gefordert war: dass sie *geordnete Zustände* sind, die den *neuronalen Zustandsraum strukturieren* und die *Dynamik des Netzes bestimmen*.

Wenn geistige Zustände als solche Attraktoren aufgefasst werden, dann sind sie tatsächlich den Schwingungszuständen einer Membran vergleichbar, die ja ebenfalls Attraktoren des Zustandsraumes der Membran darstellen.

Es lassen sich aber noch weitere Schlüsse ziehen:

2. Es gilt: *Wahrnehmen = Wiedererkennen*.

Der Grund dafür ist folgender: Der Einzugsbereich des Attraktors liefert eine Definition für *Ähnlichkeit*. Jeder Input, der einen neuronalen Zustand verursacht, dem ein Punkt im Einzugsbereich des Attraktors entspricht, ist dem Input, der den Attraktor erstmalig erzeugt hat, hinreichend ähnlich, um als *dasselbe Objekt* erkannt zu werden; Dadurch, dass der Punkt im Einzugsbereich des Attraktors liegt, wird die Trajektorie auf den Attraktor zustreben und dann auf diesem verlaufen, so dass das neuronale Muster, das das Objekt repräsentiert, sich wieder ausbildet. Es entsteht also bei einem (hinreichend) ähnlichen Input nicht etwa ein *ähnliches*, sondern *dasselbe Muster*. Da kein Objekt bei seinem Wiedererscheinen einen identischen Input liefert – einige Variable ändern sich mit Sicherheit –

---

<sup>122</sup> Dass ein neuronales Erregungsmuster, das hinreichend lange aktiv ist, zum Attraktor wird, ist keine Hypothese, sondern eine Tatsache: es ist bloß der mathematische Ausdruck für den erwiesenen neuronalen Sachverhalt, dass ein aktives Muster verstärkt wird.

ist die Annahme einer Konvergenz, wie sie das Attraktor-Konzept beinhaltet, für das Verständnis des Wiedererkennens von Objekten unerlässlich.<sup>123</sup>

In künstlichen neuronalen Netzen, die z.B. der Gesichtererkennung dienen, ist eine solche Konvergenz überflüssig: der Output muss keinen bestimmten Wert haben, es genügt, wenn er zu einem Intervall gehört. Diese "Rasterung" des Outputfeldes ist aber von außen – vom Programmierer – verfügt; In biologischen Netzen gibt es keine Rasterung, und daher ist für jede Art des Wiedererkennens die Konvergenz von Zuständen, die von verschiedenen Inputs verursacht werden, auf ein einziges Muster hin notwendig, das dann als Output für weitere Prozesse dienen kann.

Natürlich findet in biologischen neuronalen Netzen auch eine Merkmalsanalyse statt. Aber auch hier gilt wieder: kein Merkmal erzeugt mehrmals einen völlig identischen Input, und deshalb ist es abermals notwendig, Ähnliches als Dasselbe zu erkennen; Und das macht dann die Annahme notwendig, dass nicht nur das Objekt als Ganzes, sondern auch jedes seiner Merkmale durch einen Attraktor repräsentiert wird.

3. Das Attraktor-Konzept wirft außerdem ein Licht auf die philosophische Frage nach dem Status der *Allgemeinbegriffe*. Folgendermaßen:

Wie soeben gezeigt, werden Objekte durch Attraktoren repräsentiert. Wendet man nun dasselbe Prinzip auf die Repräsentationen selbst an – nimmt man also an, dass diese Repräsentationen selbst wiederum *intern* (im neuronalen Netz) durch Attraktoren repräsentiert werden, dann hat man damit die Ebene der *Begriffe* erreicht. Wird ein Begriff als neuronaler Attraktor aufgefasst, dann wird nun abermals *Ähnlichkeit* durch den Einzugsbereich des Attraktors definiert, und alle Objekt-Repräsentationen, die in diesem Sinn einander ähnlich sind, werden dadurch demselben Begriff zugeordnet.

---

<sup>123</sup> Es sei denn, man nimmt an, das aktuelle Muster werde mit schon vorhandenen Mustern auf irgendeine Weise *verglichen*. Aber wie sollte ein solcher Vergleich stattfinden? Das würde doch zunächst voraussetzen, dass neben dem aktuellen Muster zusätzlich eine Reihe schon vorhandener, bekannter Muster aktiviert wird, damit der Vergleich durchgeführt werden kann. Das ist wenig wahrscheinlich, und überdies ist auch dann noch nicht klar, *wie* dieser Vergleich eigentlich durchgeführt werden könnte. Demgegenüber erscheint die Erklärung des Wieder-Erkennens durch das Attraktor-Konzept einfach und schlüssig: ein Objekt wird wiedererkannt, auch wenn der Input in einigen Variablen verändert ist, weil sich doch wieder derselbe Attraktor, d.h. dasselbe neuronale Muster ausbildet. Es ist dann unmittelbar einsichtig, wie ein Input, der ja auch dann, wenn er als Folge desselben Objekts auftritt, niemals identisch sein kann, stets demselben Objekt zugeordnet wird. (Allerdings muss diese Musterbildung im visuellen Gedächtnis stattfinden und nicht – wie das aus unserem zu stark vereinfachenden Modell geschlossen werden könnte – im Sehfeld selbst.)

*Allgemeinbegriffe sind also Konstrukte, die aus den Gesetzmäßigkeiten der neuronalen Repräsentation folgen.*

Wenn Objekte und Merkmale von Objekten durch Attraktoren im neuronalen Netz repräsentiert werden, dann sind wir überhaupt nicht imstande, Einzelnes als solches wahrzunehmen. Wir erkennen nicht Einzelnes, sondern nur Allgemeines. Darüber werden wir nur durch die Tatsache getäuscht, dass im Einzugsbereich eines bestimmten Attraktors meist nur *ein* Objekt der alltäglichen Umgebung liegt. Aber am Beispiel von Zwillingen zeigt sich sofort, dass das nicht immer der Fall ist.

Dasselbe gilt für das Denken: ebenso, wie wir nur Allgemeines *wahrnehmen*, können wir auch nur Allgemeines *denken*. Wenn wir etwas Bestimmtes – ein Einzelnes – meinen, dann wird es nur deshalb zum Einzelnen, weil es entweder raum-zeitlich lokalisiert ist, oder weil es das einzige Objekt ist, das allen allgemeinen Bestimmungen genügt, die auf es zutreffen, mit anderen Worten: weil es das einzige Objekt ist, das sowohl als Ganzes wie auch in Bezug auf jedes seiner relevanten Merkmale im Einzugsbereich der jeweiligen Attraktoren liegt.

Kehren wir wieder zu unserem anfänglichen neuronalen Netz zurück. Nehmen wir an, der optische Input werde nun nicht mehr durch ein einziges Objekt erzeugt, sondern durch eine Reihe aufeinanderfolgender Objekte.

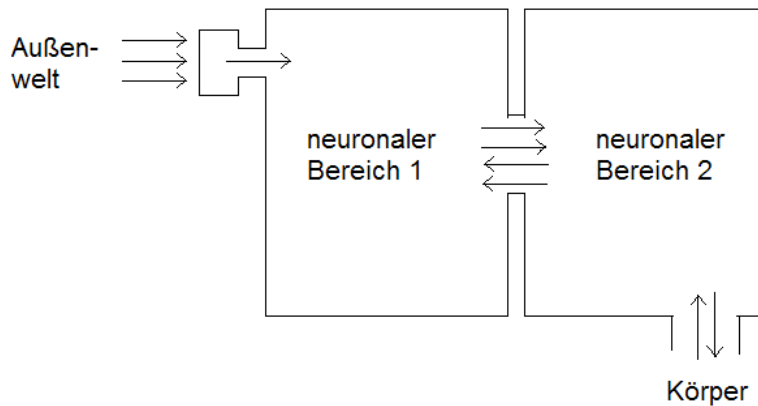
Jedem dieser Objekte entspricht ein neuronales Muster. Die Reihe von Objekten wird also durch eine Reihe von Attraktoren repräsentiert.

Wenn diese Objekte in derselben Reihenfolge wiederholt als Input für das Netz dienen, dann werden auch die Übergänge – oder genauer: die dabei aktiven neuronalen Verbindungen – zwischen den neuronalen Mustern verstärkt; Mathematisch formuliert: die Bahnen im Zustandsraum, die von einem Attraktor zum jeweils folgenden führen, werden zu *attrahierenden Trajektorien*, in dem Sinn, dass Bahnen, die hinreichend nahe an diesen Trajektorien verlaufen, auf sie zustreben.

Das bedeutet: Der Zustandsraum des Netzes ist jetzt nicht nur durch Attraktoren strukturiert, sondern auch durch Trajektorien, die von einem Attraktor zum nächsten führen – mit anderen Worten: die Repräsentationen der Objekte sind nun *assoziativ verbunden*.

Wir erweitern jetzt das Modell auf folgende Weise: Zusätzlich zum ersten Bereich, der mit der *Außenwelt* verbunden ist, existiere jetzt ein weiterer neuronaler Bereich, der einen Input erhält, den wir als *Körperinformation* auffassen. Die beiden neuronalen Bereiche sind miteinander verbunden, arbeiten aber weitgehend selbständig.





Was hat sich dadurch geändert?

Der Zustand des Netzes hängt jetzt nicht mehr nur von der *äußeren Information* ab, sondern auch von der *Körperinformation*. Er besteht aus zwei Attraktoren, die jedoch über Neuronen miteinander verbunden sind und permanent Information austauschen, so dass die Variablen, durch die ein Attraktor definiert ist, auch vom anderen Attraktor abhängen. Die Innen- und Außeninformationen werden auf diese Weise miteinander verknüpft. Auch der Gesamtzustand des Netzes kann als Attraktor aufgefasst werden.

An dieser Stelle kommt eine wichtige Eigenschaft von Attraktoren ins Spiel: Die Muster, denen sie entsprechen, bilden sich auch dann aus, wenn die Anfangsbedingungen nur teilweise realisiert sind. Eine Teilmenge der Variablenwerte, die zu einem Punkt im Einzugsbereich eines Attraktors gehören, genügt als Bedingung für die Ausbildung des Attraktors.

In unserem Zusammenhang bedeutet das Folgendes: Wenn ein Objekt (oder eine Situation) und ein körperlicher Zustand mehrmals gemeinsam auftreten, dann reicht *später* – infolge der neuronalen Verbindung beider Bereiche – das Muster, das sich in einem der beiden Bereiche ausbildet, für sich allein schon aus, um das zugehörige Muster im anderen Bereich zu verursachen. Der zur Körperinformation gehörende Attraktor stellt also den zur Objektinformation gehörenden Attraktor her und umgekehrt.

Nimmt man an, dass nicht nur der Körper das Netz steuert, sondern auch das Netz den Körper – was durch den nach unten führenden Pfeil in der Skizze angedeutet ist –, dann beeinflusst das Objekt den

Körperzustand: zunächst bildet sich der zum Objekt gehörende Attraktor aus, dieser erzeugt dann den Attraktor im zweiten Bereich des Netzes, und dieser stellt schließlich den zugehörigen Körperzustand her.

Durch diese Beziehungen werden Objekte (und Situationen) mit Körperzuständen verknüpft. Die Körperinformation stellt somit eine *Bewertung* der Objekte dar: die Objekte werden – je nach Art des körperlichen Anregungszustandes – positiv oder negativ bewertet. Überdies hängt das Ausmaß der Verstärkung aktiver Muster vom Grad der körperlichen Erregung ab.

Es ist nun Folgendes zu bedenken: Die neuronalen Muster, die Objekte repräsentieren, sind Attraktoren im Zustandsraum des Netzes, und die assoziativen Verbindungen zwischen den Objekt-Repräsentationen sind attrahierende Trajektorien in diesem Zustandsraum. Es handelt sich also um Strukturen, die *im Netz selbst existieren*, und das bedeutet, dass die Dynamik des Netzes auch dann durch diese Strukturen bestimmt wird, wenn *kein Input* vorhanden ist.

*Das Netz stellt also selbständig Folgen von Repräsentationen her, die mit Körperinformationen verknüpft sind.*

Dies kann als Grundlage von *Intentionalität* verstanden werden.

Damit sind die Möglichkeiten dieser einfachen Modellierung weitgehend ausgeschöpft. Immerhin waren sie ausreichend, um die Konzepte des vorigen Abschnitts, die dort in einer weitgehend abstrakten Weise dargelegt wurden, zu begründen und an die Realität heranzuführen. Durch seine Fähigkeit, ein bestimmtes Muster auch aus veränderten oder bruchstückhaften Anfangsbedingungen wiederherzustellen, erlaubt es das Attraktor-Konzept, zu verstehen, wie geistige Zustände, etwa Repräsentationen oder Gedanken, in assoziativer Folge aneinander gereiht werden. "Assoziativ verknüpft" bedeutet ja nichts anderes als: "Durch eine Trajektorie im Zustandsraum verbunden, die wiederholt durchlaufen und daher verstärkt wurde".

Ich will diesen kurzen Ausflug in die Gesetzmäßigkeiten neuronaler Netze mit einigen allgemeinen Bemerkungen zum Status naturwissenschaftlicher Beschreibungen neuronaler Leistungen beenden.

Einerseits ist klar, dass es allein schon wegen der Komplexität menschlicher Netze nicht möglich ist, geistige Phänomene mathematisch zu analysieren oder künstlich nachzubilden. Die Komplexität ist derart hoch, dass sie theoretisch und technisch nicht beherrschbar ist.<sup>124</sup>

---

<sup>124</sup> Im Kapitel 5. *Qualia* wird gezeigt, dass die Simulation von Geist aus *prinzipiellen* Gründen unmöglich ist.

Auf der anderen Seite ist es jedoch einfach und weitgehend unproblematisch, ein grundsätzliches Verständnis davon zu erlangen, wie geistige Leistungen von neuronalen Netzen hervorgebracht werden können.

Ein Beispiel: Wir verstehen – wenn auch nicht in allen Details –, wie Objekte der Wirklichkeit visuell wahrgenommen werden. Wir wissen, wie die Information auf physikalischem Weg zur Retina und von dort über die Sehbahn zur primären Sehrinde gelangt, wie die gesamte Objektinformation in verschiedene Komponenten – Farbe, Textur, Merkmale, Kontrast, Umriss, Bewegung, Orientierung, Tiefe – zerlegt wird, die zunächst voneinander getrennt weiterverarbeitet und dann wieder zusammengeführt werden. Dieses Wissen vermittelt uns ein grundsätzliches Verständnis dafür, wie Information in neuronalen Netzen codiert wird und wie diese Codierung Objektrepräsentation ermöglicht.

Ein weiteres Beispiel: Bewusstsein. Es ist möglich, Bewusstsein auf einfache und schlüssige Weise durch die Annahme zu verstehen, dass es sich dabei um eine *Metarepräsentation* handelt, d.h. um einen mentalen Zustand, der dadurch charakterisiert ist, dass der Informationsgehalt von Zuständen des neuronalen Netzes selbst in einem anderen Bereich des Netzes repräsentiert und weiterverarbeitet wird. Von der Annahme, dass der Informationsgehalt von Wahrnehmungszuständen eine Repräsentation von Ausschnitten der Wirklichkeit darstellt, ist es kein großer Schritt mehr zur Annahme, dass in neuronalen Netzen von hinreichender Komplexität in gleicher Weise auch der Informationsgehalt von *inneren Zuständen* repräsentiert werden kann. Die Möglichkeit einer solchen Metarepräsentation erfordert bloß die Existenz einer weiteren, hierarchisch höheren Verarbeitungsstufe.

Ganz allgemein lässt sich behaupten, dass das Verständnis geistiger Phänomene auf der Basis der Annahme, dass das neuronale Netz ein informationsverarbeitendes System ist, zu keinen grundsätzlichen wissenschaftlichen oder philosophischen Problemen führt – allerdings immer vorausgesetzt, dass dabei nur vom *Informationsgehalt* der mentalen Zustände die Rede ist und nicht von ihrem *Empfindungsgehalt*. (Warum geistige Zustände *Qualia* sind, wird im 5. Kapitel beantwortet.)

#### Bemerkung:

Ich betone nochmals, dass die in diesem Abschnitt vorgestellten Modelle unrealistische Vereinfachungen sind. Dennoch erfüllen sie ihren Zweck: zu zeigen, wie die Struktur des Zustandsraums eines neuronalen Netzes entsteht und wie durch diese (zumindest kurzzeitig annähernd konstante) Struktur die neuronalen Abläufe bestimmt werden; – und das ist der Kern der Argumentation dafür, dass Kausalität hier von oben nach unten – von Geist auf Materie – wirkt.

### 3.5. Zusammenfassung

Da ich im nächsten Kapitel die Schlussfolgerungen, die zur Willensfreiheit geführt haben, noch einmal in allgemeinerer Form darstellen werde, kann ich mich hier kurz fassen.

Was ist die Ursache dafür, dass ein eingestrichenes *c* erklingt, wenn ich die Teetasse, die vor mir steht, mit dem Löffel anschlage? Was ist die Ursache für den Charakter dieses Tons? Nicht etwa die Tatsache, dass die Tasse aus Teilchen besteht, und auch nicht, dass die Teilchen elektromagnetisch wechselwirken. Nein, die Ursache für die Höhe und Klangfarbe des Tons ist die *Form* der Tasse.

Vom Wechselwirkungsgesetz folgt nur die Geschwindigkeit der Ausbreitung der anfänglichen Störung. Sie bestimmt zusammen mit der Form der Tasse die Tonhöhe. Der Toncharakter – die spezifische Obertonstruktur, d.h. das *Schwingungsmuster* – hängt ausschließlich von der Form der Tasse ab.

Schon an diesem einfachen Beispiel zeigt sich, dass in Systemen, deren Dynamik durch Randbedingungen bestimmt wird, zusätzlich zu den Naturgesetzen spezifische Gesetze der Form auftreten. Diese Gesetze sind dominant. Der globale Systemzustand ist die *Ursache* für die lokalen Vorgänge; die Kausalität wirkt also nicht von unten nach oben, sondern von oben nach unten.

Auf analoge Weise lässt sich verstehen, dass Geist die Ursache für die Dynamik von menschlichen neuronalen Netzen ist, also auch die Ursache menschlichen Handelns und der zugehörigen physikalischen Veränderungen.

Geistige Zustände sind geordnete globale Zustände (Muster, Attraktoren) menschlicher (und einiger tierischer) neuronaler Netze. Als solche bestimmen sie die Dynamik des Netzes. Während aber die Tasse eine triviale Dynamik hat – sie besitzt nur einen einzigen möglichen geordneten (Schwingungs-) Zustand –, gibt es im neuronalen Netz eine ungeheure Zahl möglicher geistiger Zustände und Übergänge zwischen ihnen.

Diese Zustände sind nicht aus dem neuronalen Input-Output-Gesetz ableitbar (auch der Zustand der Tasse ist nicht aus dem elektromagnetischen Gesetz ableitbar), und dasselbe gilt für die Übergänge. Geistige Zustände müssen daher *als solche* aufeinander bezogen sein.

Der Bereich der Wirklichkeit, den wir "Geist" nennen, ist also eine eigenständige Schicht der Wirklichkeit, der eine eigene Dynamik zugeschrieben werden muss. Die Gesetze dieses Bereichs sind dominant. Was im Netz vor sich geht, ist somit durch *Geist* verursacht, nicht durch Neurone und die Gesetze neuronaler Interaktion oder durch die funktionelle Architektur des Netzes..

Um zu erfahren, was im Netz vor sich geht, muss man sich also auf die jeweilige geistige Aktivität und deren individuelle Regeln beziehen. Zu diesen Regeln gehören z.B. *Gründe*.

Es ist daher ebenso gerechtfertigt, jemanden nach seinen Gründen zu fragen, um herauszufinden, was er tun wird, wie es gerechtfertigt ist, den Punkt festzustellen, in dem eine Billardkugel auf eine andere trifft, um vorauszusagen, wohin sich die getroffene Kugel bewegen wird, oder wie es gerechtfertigt ist, die Form der Tasse zu bestimmen, um ihren Klang zu berechnen.

Allgemein gesprochen: *Für die Kenntnis der Dynamik eines Systems ist die Kenntnis der Gesetze erforderlich, die in diesem System dominant sind. Im Fall menschlicher neuronaler Netze sind das die zum jeweiligen Netz gehörenden (subjektspezifischen, veränderlichen) Gesetze der geistigen Aktivität.*

An diesem Punkt des Gedankengangs ist das Phänomen *Geist* vollständig in seine Rechte gesetzt, mit anderen Worten: Geist ist als das Phänomen wiedererstanden, als das er uns intuitiv gegeben ist.

Dafür war es insbesondere notwendig, dass wir uns von der verbreiteten Verwechslung von *neuronaler Aktivität* und *geistiger Aktivität* befreit haben.

Um nun zur Begründung der Freiheit zu gelangen, ist ein weiterer Schritt erforderlich.

Voraussetzung ist die Aussage: Die Gesetze der geistigen Aktivität bestimmen die Dynamik des Netzes.

Wären diese Gesetze *feststehend* – wie physikalische und neuronale Gesetze –, dann gäbe es keine Freiheit. Das ist aber nicht der Fall, weil die geistige Aktivität *auf sich selbst zurückwirkt*:

Die physiologische Voraussetzung dieser Rückkopplung ist das Hebbsche Gesetz: Benachbarte Neurone, die gleichzeitig aktiv sind, verändern sich physiologisch derart, dass ihre gegenseitige Stimulation verstärkt wird; umgekehrt werden nicht benutzte Verbindungen abgebaut. Die geistige Aktivität ändert also ihre eigenen Voraussetzungen. Sie wirkt auf ihre neuronale Codierung zurück, und damit ändert sie zugleich ihre eigenen Gesetze.

Im System geistiger Zustände werden daher nicht nur – wie in physikalischen Systemen – neue Zustände erzeugt, sondern auch neue Gesetze. Das System gerät in eine Rückkopplungsschleife. Die Regeln, denen die geistige Aktivität unterworfen ist, ändern sich durch genau diese Aktivität.

*Es gibt also keine feststehenden Regeln, durch die festgelegt ist, was geschehen wird.*

Das bedeutet: Willensentscheidungen folgen nicht aus irgendeinem System von Anfangsbedingungen und Gesetzen.

Wird die Natur als ein solches System aufgefasst, dann sind Willensentscheidungen, die in Zukunft stattfinden – genau wie alle andern geistigen Prozesse – in diesem System *unentscheidbare Aussagen*. Sie sind im System nicht ableitbar, und das gilt für *jedes* solche System.

Damit ist Raum für Freiheit geschaffen.

Um zu einem abschließenden Urteil über Willensfreiheit zu gelangen, definieren wir nun *Willensentscheidung*:

Eine Willensentscheidung ist ein geistiger Prozess, bei dem

1. die Folgen von Handlungsalternativen *bewertet* werden, und
2. die Alternative gewählt wird, die als die bessere beurteilt wird.

Folgende Aussagen wurden abgeleitet

A1: Geistige Zustände sind nicht aus physikalischen oder neuronalen Gesetzen und Anfangsbedingungen ableitbar. Sie sind untereinander vernetzt und bilden eine eigene Schicht der Wirklichkeit, die eigene Gesetze hat, die jedoch – im Gegensatz zu physikalischen Gesetzen – nicht feststehen. Zu diesen Gesetzen gehören z.B. Gründe.

A2: Die Kausalität wirkt von oben nach unten: geistige Prozesse sind Ursache von neuronalen Vorgängen.

A3: Selbst wenn die Information, die in einem beliebigen Zeitschnitt durch ein menschliches neuronales Netz enthalten ist, vollständig in ein System von Anfangsbedingungen und feststehenden Regeln übertragen werden könnte, so wären doch zukünftige geistige Prozesse in diesem System nicht ableitbar. Die Zukunft ist offen.

Die Aussagen A1, A2 und A3 genügen, um die Freiheit der Willensentscheidung im üblichen Sinn zu begründen.

Darüber hinaus wird durch sie aber genau definiert, was Freiheit im metaphysischen Sinn – innerhalb des sich in Übereinstimmung mit den Naturgesetzen entfaltenden Seienden – bedeutet.

## Bemerkungen

### Der Unterschied zwischen *geistigen* und *neuronalen* Prozessen

Es ist selbstverständlich, dass es in neuronalen Netzen auch Prozesse gibt, die nicht durch die geistige Aktivität, d.h. durch das Netz der Beziehungen zwischen den geistigen Zuständen selbst determiniert sind, sondern durch die funktionelle Architektur des Netzes, durch das neuronale Input-Output-Gesetz und durch äußere Gegebenheiten. In einfachen neuronalen Netzen finden sogar ausschließlich solche Prozesse statt.

Das Auftreten geistiger Zustände – und damit zugleich eine Dominanz des Geistigen über das Neuronale – ist erst dann möglich, wenn das Netz Bereiche enthält, die *funktionell ungebunden* sind.

Nur Bereiche dieser Art, in denen also, wie schon am Beginn dieses Abschnitts für das einfache Modellnetz gefordert, die neuronale Aktivität nicht durch physiologische Funktionen festgelegt, sondern zunächst zufällig ist, ist offen für die Strukturierung durch diejenigen geordneten Zustände (Attraktoren), die äußere (reale) oder innere (körperliche) Gegebenheiten repräsentieren.

Allerdings sind Zustände, die etwas repräsentieren, noch keine geistigen Zustände. Geistige Zustände müssen auch immer *aufeinander bezogen sein*. Erst durch dieses interne Netz von Beziehungen werden sie zu dem, was sie sind. Deshalb können Repräsentationen nur dann zu Geist werden, wenn sie sich untereinander vernetzen. Und dafür ist offensichtlich die Existenz funktionell ungebundener neuronaler Strukturen eine notwendige Bedingung.

Diese Hypothese, dass Geist nur bei Lebewesen zu finden ist, die über hinreichend entwickelte Bereiche dieser Art verfügen, wird auch durch die Erfahrung mit Tieren gestützt. Ihre geistigen Leistungen hängen von der Größe des Großhirns ab, und nur im Großhirn existieren solche Bereiche.<sup>125</sup>

Der Unterschied zwischen geistigen und neuronalen Prozessen lässt sich auch auf folgende Weise charakterisieren:

---

<sup>125</sup> Der Begriff "Großhirn" darf jedoch nicht an die physiologische Struktur gebunden werden, die beim Menschen unter diesem Namen auftritt. Bei den Vögeln ist diese Struktur kaum entwickelt, weswegen ihre Intelligenz lange unterschätzt worden ist. Stattdessen haben sich bei ihnen anscheinend die Basalganglien erweitert, und die trotz des geringen Gehirnvolumens beachtliche Intelligenz einiger Vogelarten lässt vermuten (und hoffen), dass dieses neuronale Gewebe bzw. diese Art "Großhirn" sich zum Denken besser eignet als das menschliche.

Neuronale Prozesse können – zumindest weitgehend – beobachtet, gemessen und vorhergesagt werden. Bei geistigen Prozessen ist das nur in einem sehr geringen Maß möglich. Falls es sich um Gedankengänge handelt, dann gibt es nur eine einzige Methode, etwas darüber zu erfahren: Sie besteht darin, den, der denkt, nach seinen Gedanken zu *fragen*.

### Das Ausmaß geistiger Aktivität

Geistige Zustände sind in neuronalen Netzen nicht von Anfang an vorhanden. Sie müssen sich erst entwickeln. In einem gewissen Ausmaß folgt diese Entwicklung vermutlich aus den Eigenschaften des neuronalen Systems.

Was jedoch über dieses Minimum hinausgeht, hängt davon ab, ob Erziehung und kulturelle Bedingungen die Entwicklung der geistigen Aktivität begünstigen. Das gilt auch für die Willensfreiheit. Sie existiert erst dann, wenn die Folgen von Handlungsalternativen beurteilt werden können, und diese Fähigkeit setzt jedenfalls Kenntnis und Urteilsvermögen voraus.

Wie auch immer man zur gegenwärtigen Konzentration der Aufmerksamkeit auf die materiellen (genetischen, neuronalen, chemischen usw.) Voraussetzungen der Persönlichkeit und des Denkens steht – sie wird jedenfalls zum Abbau der Selbständigkeit des Geistes beitragen; Geist existiert nur in dem Maß, in dem er als eigenständige Wirklichkeit begriffen und als solche ausgeübt wird.

Mit Phänomenen wie Willensfreiheit und Verantwortung verhält es sich nicht anders als mit beliebigen anderen geistigen Fähigkeiten, wie z.B. der Sprache: Wenn sie nicht erlernt werden – wobei es oft kritische Phasen gibt, nach deren Ende die jeweilige Fähigkeit nur noch unvollständig ausgebildet werden kann – dann existieren sie nicht oder bloß rudimentär.



## Schluss

Wie sich herausgestellt hat, waren Philosophen, die behauptet haben,

- dass im Bereich des Geistigen Gründe und nicht (physikalisch-chemische) Ursachen gelten,
- dass die Naturwissenschaftler, die Geistiges mit Neuronalem gleichsetzen und so groteske Formulierungen produzieren wie: *Mein Gehirn entscheidet, dass...* Kategorienfehler begehen,
- dass Freiheit als subjektive Gewissheit niemals durch naturwissenschaftliche Argumente aufgehoben werden könne,

immer schon im Recht. Allerdings könnten ihre wahren und schönen Behauptungen den rohen Ansturm der Naturwissenschaft ebenso wenig aufhalten wie der Gesang der Druiden den Angriff der römischen Heerscharen. Es ist einfach eine Tatsache, dass bis jetzt überhaupt keine Möglichkeit in Sicht war, die beiden Phänomenbereiche, die uns so selbstverständlich gegeben sind – Gegenständliches und Geistiges – in *einer* Naturvorstellung zu vereinen.

Seit Jahrhunderten scheinen sie einen unüberwindbaren Gegensatz darzustellen.

Die historischen Lösungswege sind nicht mehr gangbar: Der Descartsche Dualismus wäre – ebenso wie alle anderen metaphysischen oder religiösen Dualismen – einfach absurd, und den Gegensatz auf Kantische Weise als Antinomie hinzunehmen, erscheint angesichts des enorm angewachsenen Wissens über die Natur, das uns zu einem einheitlichen Verständnis drängt, nicht mehr akzeptabel.

Die Folge sind Reduktionismen und Funktionalismen naturwissenschaftlicher Prägung.

Das naturwissenschaftliche Paradigma ist ja nicht nur unerhört erfolgreich, es ist auch von überzeugender Geschlossenheit: nichts kann den Naturgesetzen entgehen. Unter diesem Würgegriff geraten die Ideen des Geistes, des Ichs und der Willensfreiheit in Erstickungsgefahr. Wenn nicht einmal ihre innere Gewissheit und Selbstverständlichkeit diesen Ideen ausreichenden Schutz gegen die naturwissenschaftlichen Übergriffe gewährt, dann kann dies auch keinen philosophischen Argumenten gelingen.

Nein – wenn es für das naturwissenschaftliche Paradigma Grenzen gibt, dann müssen diese Grenzen aus ihm selbst klar werden.

Genau das haben wir hier erreicht. Gegenständliches und Geistiges können in einem auf naturwissenschaftlicher Basis errichteten Modell vereint gedacht werden, und zwar nicht reduktionistisch oder funktionalistisch, sondern der Erfahrung entsprechend, durch die uns beide Phänomenbereiche gegeben sind, mit ihrer Verschiedenheit, mit der Selbständigkeit des Geistigen und mit dem zugleich bestehenden komplexen gegenseitigen Abhängigkeitsverhältnis von Geist und Materie.

Dabei hat die Naturwissenschaft ihren Absolutheitsanspruch verloren. Es wurde gezeigt, dass Geist durch eine Beschreibung aus Anfangsbedingungen und Gesetzen nicht erfasst werden kann.

## 4. Das veränderte Bild der Wirklichkeit

### 4.1. Vorbemerkung

Die in dieser Arbeit beschriebene Wirklichkeit erscheint *deterministisch*: an jedem Ort und zu jedem Zeitpunkt vollzieht sich das fundamentale Gesetz.

Zugleich existiert aber *Willensfreiheit*.

Nach herkömmlicher Überzeugung widersprechen sich diese beiden Sachverhalte.<sup>126</sup>

Die Argumente, durch die dieser Widerspruch beseitigt wird, sind bereits im vorigen Abschnitt enthalten. Da sie dort aber im Dienst des an dieser Stelle erforderlichen spezifischen argumentativen Aufbaus standen – also gewissermaßen nur implizit auftraten –, werde ich sie nun nochmals darstellen, diesmal aber allgemeiner, ausführlicher und explizit auf den Widerspruch bezogen.

Außerdem werde ich auf die Folgen eingehen, die ebendiese Argumente für das Verständnis der Wirklichkeit haben.

Ich habe es bei den bisherigen Ausführungen zur Willensfreiheit vermieden, mich auf meine eigenen physikalischen und ontologischen Hypothesen zu stützen, um die Argumentation zur Willensfreiheit davon unabhängig zu halten. Solange als möglich werde ich auch weiterhin auf diese Weise vorgehen. Schließlich wird es aber unumgänglich sein, auf meine Annahmen zurückzugreifen, weil das Bild erst dadurch vollständig wird.

---

<sup>126</sup> Manche Philosophen wenden allerdings ein, dass es sich bei diesem Widerspruch um ein Scheinproblem handelt, das nur infolge der unzulässigen Gegenüberstellung von subjektivem und objektiv-analytischem Standpunkt entsteht. Ich habe schon zu Anfang des Kapitels 2. *Geist und Materie* festgestellt, dass eine solch simple Trennung der beiden Standpunkte angesichts des zunehmenden Wissens über neuronale Netze nicht aufrecht erhalten werden kann. Es ist klar, dass wir selbst Teil der Natur sind und dass daher auch unser Geist zur naturwissenschaftlichen Beschreibung der Wirklichkeit in Beziehung gesetzt werden muss. Der Rückzug auf die Behauptung einer grundsätzlichen Getrenntheit beider Sichtweisen ist keine ernstzunehmende Position.

Auf der anderen Seite sind die meisten Naturwissenschaftler – auch Hirnforscher – davon überzeugt, dass das Phänomen *Geist* durch eine naturwissenschaftlich-technische Beschreibung vollständig aufgeklärt werden kann. Auch diese Haltung stellt aber eine unzulässige Vereinfachung dar: geistige Zustände sind *Qualia*, und als solche sind sie in *keiner* Beschreibung der Wirklichkeit enthalten.

## 4.2. Willensfreiheit und Determinismus

1814 hat Pierre Simon de Laplace in seinem *Essai philosophique sur les probabilités* die deterministische Sicht der Wirklichkeit wie folgt formuliert:

"Nous devons [...] envisager l'état présent de l'univers comme l'effet de son état antérieur et comme la cause de celui qui va suivre. Une intelligence qui pour un instant donné connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome: rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir, comme le passé, serait présent à ses yeux."

("Wir haben den gegenwärtigen Zustand des Universums als Folge seines vorherigen Zustands anzusehen und als Ursache desjenigen, der darauf folgt. Eine Intelligenz, der in einem gegebenen Augenblick alle Kräfte bekannt wären, durch die die Natur bewegt wird, und die entsprechende Lage aller Entitäten, aus denen sie zusammengesetzt ist, würde, wenn sie darüber hinaus mächtig genug wäre, um alle diese Daten einer Analyse zu unterziehen, in derselben Formel die Bewegungen der größten Körper des Universums und die des kleinsten Atoms umfassen. Für sie wäre nichts ungewiss, und die Zukunft ebenso wie die Vergangenheit wären ihr offenbar.")

Diese Aussage gilt heute in zweifacher Hinsicht als überholt: erstens durch die Quantentheorie, und zweitens durch die Chaodynamik. Bei der Quantentheorie ist es – jedenfalls in der üblichen Interpretation – die objektive Zufälligkeit der Ereignisse, die eine genaue Kenntnis der Zukunft unmöglich macht, bei der Chaodynamik die Tatsache, dass sich aus beliebig kleinen Veränderungen in den Anfangsbedingungen große Veränderungen in der Entwicklung eines Systems ergeben können.

Beide Korrekturen der Laplaceschen Weltsicht werden häufig als Argumente für die Freiheit des Willens gebraucht, in dem Sinn, dass durch sie Raum für diese Freiheit geschaffen werde. Tatsächlich sind sie jedoch für die Willensfreiheit ohne Bedeutung. Im Fall der Quantentheorie müsste zur Begründung der Freiheit angenommen werden, dass der Wille selbst als *verborgener Parameter* auftritt, was jedoch nicht ernsthaft in Betracht kommt. Im Fall der Chaodynamik wird zwar die Vorhersagbarkeit eingeschränkt, ja sie kann sogar vollständig verloren gehen, aber für die Frage der Willensfreiheit ist das gleichgültig: Wenn die Natur ein algorithmisches System *ist* und ihr Gesetz *mit unendlicher Genauigkeit* einhält, dann ist durch das Auftreten chaodynamischer Instabilitäten nichts gewonnen. Es wird dadurch kein Raum für Freiheit geschaffen – gleichgültig, ob das Gesetz nun deterministisch oder probabilistisch ist. Der Widerspruch besteht weiterhin.

Die Argumentation, die im vorigen Kapitel durchgeführt wurde, ist jedoch davon nicht betroffen. Das bedeutet, dass die Laplacesche Aussage noch in anderer Hinsicht – unabhängig davon, ob es den quantenmechanischen objektiven Zufall gibt oder nicht – falsch sein muss.

Die Frage ist also: *Was ist an der Laplaceschen Aussage falsch?*

Durch die Annahme, dass eine Intelligenz von ausreichender Leistungsfähigkeit aus der Gegenwart die Zukunft folgern könnte, unterstellt Laplace – ich zitiere meine Formulierung aus 2.2. – "dass es ein Verfahren gibt, das es ermöglicht, aus den gegenwärtigen Bedingungen durch Anwendung feststehender Regeln künftige Ereignisse abzuleiten bzw. vorauszuberechnen".

Wie aber schon am Beginn der Ableitung der Willensfreiheit festgestellt, ist es jedoch bereits bei mehr als drei Körpern, die gravitativ aneinander gebunden sind, unmöglich, ein *exaktes* Verfahren anzugeben; *es existiert keines*. Um aber die Zukunft zu kennen, *muss* das Verfahren exakt sein. (Da die Natur selbst *unendlich genau* ist, hätte außerdem nur ein exaktes Verfahren Anspruch darauf, den Mechanismus wiederzugeben, den die Natur selbst ausführt.)

Man kann zwar Differenzialgleichungen aufstellen und Anfangsbedingungen einsetzen, aber es ist unmöglich, diese Differenzialgleichungen zu integrieren. Analytische Integration ist aber das einzige exakte Verfahren, d.h. eines, das mit Sicherheit zu einer richtigen Voraussage über den Wert irgendeiner Variablen zu einem künftigen Zeitpunkt führt. Ansonsten gibt es nur Näherungsmethoden, deren Resultate schon im nächsten Augenblick falsch sein können. Ohne Integration kommt man nicht über die Gegenwart hinaus – die Ermittlung der Zukunft scheitert.

Betrachten wie die Funktion, die die Bahn irgendeines der Körper repräsentiert. Dadurch, dass die Bewegung jedes Körpers von allen anderen Körpern abhängt, und weil sich deren Orte und Impulse unaufhörlich verändern, folgt aus dieser Funktion tatsächlich überhaupt nichts. Es gibt keine Möglichkeit für irgendeine genaue Voraussage über den künftigen Aufenthaltsort des Körpers. Dasselbe gilt natürlich für alle anderen Körper.

*Es existiert im Allgemeinen kein exakter Algorithmus, der von der Gegenwart in die Zukunft führt, und das bedeutet auch: es existiert kein Verfahren, das demjenigen gleicht, das die Natur selbst zur Erzeugung der Zukunft anwendet.*

Wie ist es dann möglich, dass die Illusion, ein solcher Algorithmus existiere, so übermächtig werden konnte? Gibt es überhaupt irgendwelche Fälle, in denen er existiert?

Ja, die gibt es, wenn auch nur als Idealisierungen. Es sind die Fälle, die gewissermaßen in maximaler Entfernung vom allgemeinen Fall liegen, jene Fälle nämlich, wo sich nicht alle Objekte frei und zufällig bewegen, sondern wo sich nur *ein einziges* Objekt bewegt und *alle anderen* (soweit sie den zu messenden Körper beeinflussen) als ruhend angenommen werden.

Es sind aber genau solche idealisierten Spezialfälle, durch die physikalische Gesetze entdeckt und überprüft werden können – und das gilt von Galileis einfachen Pendeln und rollenden Kugeln bis hin zu den aufwändigsten Messungen in modernen Teilchenbeschleunigern. Deshalb sind gerade diese Laborexperimente zu Paradigmen geworden, und auf diese Weise konnte sich die Illusion herausbilden, dass die Zukunft auf algorithmische Weise aus der Gegenwart entsteht.

Kurz gesagt: Damit das Gesetz zum Algorithmus werden kann, muss *Ordnung* vorausgesetzt werden. Im allgemeinen Fall jedoch – das ist eben jener, in dem außer der Ordnung, die durch das Gesetz selbst schon vorgegeben ist, keine weitere Ordnung existiert, in dem also die Anfangsbedingungen *zufällig* sind – gibt es zwar ein Gesetz, aber keinen Algorithmus.

Ich wechsele nun in mein eigenes physikalisches System. Hier ist der eben dargestellte Sachverhalt sofort erkennbar. Das Gesetz, das die Wirklichkeit erzeugt, lautet

$$\frac{d\sigma}{dr} = \pm \frac{1}{c^2} \frac{dv}{dt}$$

Es werden also zwei Differenzialquotienten zueinander in Beziehung gesetzt. Man könnte sagen: *die Wirklichkeit wird im unendlich Kleinen gewebt*, oder auch: *die Maschen des Gewebes der Wirklichkeit sind unendlich klein*. Hier ist es daher offensichtlich, dass integriert werden *muss*, um die Beschränkung auf das unendlich Kleine – sei es räumlich oder zeitlich – zu überwinden. Zugleich ist aber klar, dass nicht integriert werden *kann*, wenn nicht weitere Information vorhanden ist, d.h. *globale* Information.

Betrachten wir als Beispiel die Beschreibung der Gravitation im kugelsymmetrischen Fall aus dem zweiten Teil. Hier wurde vorausgesetzt, dass gilt

$$\sigma = \frac{r - m}{r}$$

– d.h. dass ein höchst geordneter stationärer ( $\sigma$  ist zeitunabhängig) Zustand vorliegt. Unter dieser Voraussetzung kann auch  $v$  durch Integration ermittelt werden, und Aussagen über einen endlichen räumlichen Bereich sind ableitbar. Sie lassen sich zum *Gesetz der Gravitation* (im kugel-

symmetrischen Fall) zusammenfassen. Im allgemeinen, ungeordneten Fall jedoch würde sich das Gewebe der Wirklichkeit in der Beschreibung als *überabzählbare Menge* von Fakten darstellen – nämlich die Werte der beiden Variablen  $\sigma$  und  $\nu$  (bzw.  $\sigma$  und  $\zeta$ ) an jedem Ort des Kontinuums –, die zwar durch das Gesetz zueinander in Beziehung stehen, aber auf keine Weise in einem Algorithmus zusammengefasst werden können.

Laplace hat also unrecht: Gleichgültig, wie mächtig die Intelligenz ist, die die Natur betrachtet – es ist ihr keinesfalls möglich, die Zukunft aus der Gegenwart zu folgern, *weil es kein Verfahren gibt*, mit dem das gelingen könnte – auch dann nicht, wenn an jedem Ort und zu jedem Zeitpunkt durch ein Gesetz festgelegt ist, was geschieht.

Soweit es um die Beschreibung der Wirklichkeit geht, sind wir damit zum gewünschten Resultat gelangt. Sogar wenn die Annahme zugelassen würde, dass die in der Natur vorhandene Information auf ein Gleichungssystem *vollständig* übertragen werden könnte<sup>127</sup>, würde sich dieses Gleichungssystem doch zu keinem (endlichen) Algorithmus komprimieren lassen, und die Ableitung der Zukunft aus der Gegenwart wäre nicht möglich. Die Aussage: "Die Zukunft *folgt aus* der Gegenwart" ist somit falsch.

Also ist auch die Aussage: "Alles, was sich ereignet, folgt aus Gesetzen und Anfangsbedingungen" hinfällig, die zuvor als *Vollständigkeitsaxiom der Naturwissenschaft* bezeichnet worden ist – und es war genau diese Aussage, die der Willensfreiheit im Weg stand.

### ***4.3. Warum die Natur kein algorithmisches System ist***

Trotzdem ist die Lage nicht vollkommen zufriedenstellend. Auf Grund der Tatsache, dass in der Wirklichkeit an jedem Ort und zu jedem Zeitpunkt durch ein Gesetz festgelegt ist, was geschieht, könnte der Verdacht aufkeimen, dass das bisher abgeleitete Resultat bloß eine Unzulänglichkeit der Beschreibung darstellt und nicht die Natur selbst betrifft. Bezeugt nicht gerade dieses Gesetz die Vermutung, dass *die Natur selbst doch* ein algorithmisches System ist, mit anderen Worten: dass die Zukunft auf algorithmische Weise erzeugt wird?

Als Ausgangspunkt der Erklärung dafür, dass das nicht der Fall ist, dient der schon mehrmals erwähnte Unterschied zwischen Wirklichkeit und Beschreibung: jedes wirklich existierende Objekt ist stets *von*

---

<sup>127</sup> Selbst diese Annahme ist jedoch schon eine unzulässige Idealisierung, weil eine überabzählbare Menge von Fakten nicht einmal auf ein *unendliches* Gleichungssystem übertragbar ist.

*sich aus aktiv*; Objekten, die zu einer Beschreibung – oder auch zu einem Modell bzw. einer Simulation – der Wirklichkeit gehören, fehlt hingegen diese Aktivität: *von sich aus* sind sie *passiv*.

Ein Beispiel: Betrachten wir das System *Sonne, Erde und Mond*. In der Wirklichkeit bewegen sich Erde und Mond *von selbst*: die Gravitation, die ihre Bewegung bewirkt, ist untrennbar mit ihrer Existenz verknüpft.

Wenn jedoch ein Modell dieses Systems angefertigt wird, dann ist es notwendig, einen Mechanismus anzubringen, der die Bewegung von Erde und Mond nachahmt, und ihn mit Energie zu versorgen. *Von selbst* machen die Elemente des Modells überhaupt nichts – sie bleiben einfach an Ort und Stelle.

Dasselbe gilt für eine Beschreibung: Man kann eine Gleichung aufstellen, aus der sich die Bewegung von Erde und Mond in beliebiger Näherung berechnen lässt. Allerdings erschließt sich die Zukunft des Systems nur dann, wenn man die Berechnung auch tatsächlich durchführt; *von selbst* geschieht nichts.

Mit Hilfe dieser einfachen metaphysischen Unterscheidung lässt sich verstehen, warum *ein Beschreibungssystem* einen Algorithmus benötigt, um die Zukunft aus der Gegenwart zu folgern, warum aber andererseits *die Natur selbst* dafür *keinen* Algorithmus braucht. Folgendermaßen:

Wir halten an der Annahme fest, dass sich an jedem Ort und zu jedem Zeitpunkt das Gesetz *vollzieht*. Ich habe das Wort "vollzieht" hervorgehoben, denn in ihm ist die Erklärung verborgen, warum die Wirklichkeit – im Unterschied zu einem Beschreibungssystem der Wirklichkeit – kein algorithmisches System sein muss, um die Zukunft zu erzeugen.

Gerade deshalb, weil das Wesen der Wirklichkeit *Aktivität* ist, ist die Voraussetzung, dass *jetzt* – im gegenwärtigen Augenblick – an jeder Stelle des Kontinuums festgelegt ist, was geschieht, für die Entfaltung der Zukunft aus der Gegenwart nicht nur notwendig, sondern auch hinreichend. Für die Wirklichkeit genügt es, wenn sie *jetzt an jedem Ort* "weiß", was sie tun muss. Es ist für sie nicht erforderlich, aus dem unendlich Kleinen herauszutreten und die überabzählbar unendlich vielen Beziehungen zwischen den Punkten des Kontinuums zu kennen, die voneinander distanziert liegen. Wenn sie überall im unendlich Kleinen ihr Gesetz vollzieht, dann schreitet sie *von selbst* – auch ohne diese Kenntnis – von der Gegenwart in die Zukunft.

In einem Beschreibungssystem der Wirklichkeit hingegen ist das nicht der Fall. Selbst wenn das Beschreibungssystem alle Informationen darüber enthalten könnte, was sich in der Wirklichkeit zu einem bestimmten Zeitpunkt an jedem Ort ereignet, wäre das für die Erzeugung der Zukunft nicht hinreichend, weil diesen Fakten das Entscheidende fehlt: *Aktivität*. Das System ist *passiv*, *von selbst* geschieht nichts, die Zukunft entsteht *nicht*.



Daher ist in der Beschreibung die bloße Information, was gegenwärtig an jedem Ort geschieht, für die Erzeugung der Zukunft nicht ausreichend. Das Beschreibungssystem benötigt einen *Algorithmus* – eine *Rechenvorschrift* – für die Berechnung der Zukunft, und dieser Algorithmus muss ein Verfahren beinhalten, durch das die Beschränkung auf das räumlich und zeitlich unendlich Kleine aufgehoben werden kann.

In dieser Gegenüberstellung wird deutlich, dass der Algorithmus in der Beschreibung dasjenige ist, was die Aktivität in der Wirklichkeit zu ersetzen hat; in der Wirklichkeit wird die Zukunft durch Aktivität erzeugt, in der Beschreibung ist dafür ein Algorithmus erforderlich.

Die Wirklichkeit kann auf Grund ihrer Aktivität die Zukunft allein aus der Menge der räumlich und zeitlich differenziell benachbarten Bedingungen an jedem Ort erzeugen; sie muss also aus dem unendlich Kleinen nicht heraustreten.

Will man in der Beschreibung von der Gegenwart in die Zukunft gelangen, dann muss *schon jetzt* bekannt sein, welche Beziehungen zwischen Orten und Zeitpunkten bestehen, die räumlich oder zeitlich voneinander getrennt sind. Mathematisch ausgedrückt: diese Beziehungen müssen integrierbare<sup>128</sup> Funktionen sein, was aber im allgemeinen nicht der Fall ist. Dazu kommt, dass das Kontinuum nur *als sich Veränderndes* existiert, und das bedeutet, dass sich auch alle funktionellen Abhängigkeiten permanent verändern. Zeit- und Raumänderungen sind untrennbar ineinander verwoben. Was *jetzt* gilt, kann im nächsten Augenblick falsch sein. Im allgemeinen Fall ist Integration also unmöglich. Somit bleibt man im unendlich Kleinen gefangen, und das heißt: man kommt über die Gegenwart nicht hinaus.

Kurz gesagt: ***Wir müssen integrieren, um von der Gegenwart in die Zukunft zu gelangen, die Natur benötigt jedoch keine Integration.***

Es ist also die Wesensverschiedenheit von Beschreibung und Wirklichkeit, aus der die Erklärung folgt, warum die Wirklichkeit nicht einem algorithmischen System gleichgesetzt werden darf.

Aus dieser Tatsache ergibt sich eine Reihe von Einschränkungen bei der Anwendung von Begriffen auf die Wirklichkeit. Allerdings ist es nicht ganz einfach, diese Einschränkungen zu verstehen, weil *alle* unsere Begriffe Elemente von Beschreibungen sind, weshalb wir uns immer der Gefahr ausgesetzt sehen, Beschreibung und Wirklichkeit gleichzusetzen – und das gilt in besonderem Maß im Bereich der Naturwissenschaft. Wir müssen also die Selbstverständlichkeit unseres begrifflichen Netzes – der

---

<sup>128</sup> Mit "integrierbar" ist gemeint: Die Stammfunktion existiert, und das bestimmte Integral ist *berechenbar*.

Bedeutungen von Begriffen und ihrer Verbindungen untereinander – verlassen und uns der Verfremdung aussetzen, die durch den Versuch eintritt, Begriffe von der Beschreibung auf die Wirklichkeit zu übertragen.<sup>129</sup>

Die Einschränkung hinsichtlich des Ausdrucks "folgt aus", der im Vollständigkeitsaxiom der Naturwissenschaft auftritt, wurde zuvor schon erwähnt: Da die Natur kein algorithmisches System ist, kann nicht behauptet werden, dass die Zukunft aus der Gegenwart *folgt*. Zulässig ist bloß die Aussage, dass die Zukunft aus der Gegenwart *entsteht*.

Gleiches gilt für den Begriff "determiniert". Zu behaupten, die Zukunft sei determiniert, setzt voraus, dass die Zukunft aus der Gegenwart ableitbar ist. Das würde bedeuten, dass die Zukunft in der Gegenwart enthalten ist, dass sie in diesem Sinn also *schon jetzt* existiert. Das ist aber nicht der Fall.

Dazu eine etwas ausführlichere Erläuterung. Beginnen wir mit einem Beispiel: Nehmen wir an, wir hätten die Absicht, einen vielfarbigen Teppich zu weben. Die Anfangsreihe liegt bereits vor uns, und außerdem verfügen wir über ein vollständiges Set von Web-Regeln. Nehmen wir nun ferner an, im Lauf des Web-Vorgangs entstehe auf dem Teppich irgendwann das Bild eines Löwen. Die Frage ist: Existierte dieser Löwe schon, bevor der Teppich gewebt wurde? Wenn damit gemeint ist, dass der Löwe aus der Anfangsreihe und den Web-Regeln hergestellt werden kann – in diesem Sinn also darin enthalten ist – dann ist die Antwort *ja*.

Vor einer Frage derselben Art stehen Mathematiker, wenn sie im Laufe ihrer Schlussfolgerungen auf mathematische Sätze stoßen. Diese Sätze werden offenbar nicht erfunden, sondern entdeckt. Sie sind auf dieselbe Weise in den Axiomen und Regeln des mathematischen Systems "enthalten" wie der Löwe in der Anfangsreihe und den Web-Regeln des Teppich-Systems.

Wenden wir uns nun wieder unserer eigentlichen Fragestellung zu: Ist die Zukunft in der Gegenwart enthalten?

Der entscheidende Unterschied zwischen der Wirklichkeit auf der einen und dem Teppich-System sowie dem mathematischen System auf der anderen Seite besteht darin, dass beim Teppich-System und beim mathematischen System ein *Verfahren* existiert, durch welches dasjenige, dessen Existenz

---

<sup>129</sup> Es mag seltsam erscheinen, Beschreibung und Wirklichkeit einander gegenüberzustellen, weil wir doch *immer* in der Beschreibung gefangen sind. Diese Gegenüberstellung ist aber deshalb gerechtfertigt, weil an den Grenzen der Beschreibbarkeit Widersprüche auftreten, aus denen nicht nur hervorgeht, *dass* Beschreibung und Wirklichkeit nicht zusammenfallen, sondern auch *auf welche Weise* sie sich unterscheiden. Der im zweiten Teil dargestellte Aufbau meines physikalischen Systems beruht auf Schlussfolgerungen dieser Art.

gefragt ist, hergestellt werden kann. Beim Teppich ist es das regelkonforme Weben, das den Löwen entstehen lässt, im mathematischen System ist es das regelkonforme Schlussfolgern, das zur Entdeckung des Satzes führt.

Bei der Wirklichkeit hingegen gibt es kein Verfahren, das uns von der Gegenwart zur Zukunft führt. Es ist auf keine Weise möglich, in die Zukunft zu gelangen, außer eben genau so, wie es die Wirklichkeit selbst tut. Die einzige Möglichkeit, genaue Auskunft über die Zukunft zu erhalten, ist also, zu warten, bis sie eintritt.

Um es nochmals auf dieselbe Weise wie kurz zuvor zu sagen: Sogar dann, wenn ein Beschreibungssystem existierte, das alle Informationen darüber enthielte, was sich zu einem bestimmten Zeitpunkt an jedem Ort in der Wirklichkeit ereignet, wäre das für die Erzeugung der Zukunft in diesem System nicht hinreichend. Da es im System keinen Algorithmus für die Herstellung der Zukunft gibt, existiert die Zukunft in diesem System einfach *nicht*. Selbst wenn es auf irgendeine magische Weise gelingen könnte, dem System die metaphysische Qualität *Aktivität* hinzuzufügen, die der Wirklichkeit zu eigen ist, wäre die Zukunft dennoch im System *nicht enthalten* – sie würde bloß daraus *entstehen*.

Also sind wir zu dem Schluss gelangt: ***Die Zukunft ist nicht in der Gegenwart enthalten. Sie existiert nicht, bevor sie eintritt.***

***Die Wirklichkeit ist kein algorithmisches System.***

Diese Aussage ist allgemeiner als diejenige, die zur Ermöglichung der Willensfreiheit notwendig war; Die für die Existenz der Freiheit notwendige Aussage lautete: *Geistige Zustände sind aus keinem vorgegebenen System von Anfangsbedingungen und Gleichungen ableitbar.*

Dass die Wirklichkeit kein algorithmisches System ist, bedeutet aber:

***Kein Zustand irgendeines Bereichs der Wirklichkeit ist vollständig aus einem vorgegebenen System von Anfangsbedingungen und Gleichungen ableitbar.***<sup>130</sup>

Es gibt also bei der Beschreibung der Wirklichkeit *prinzipiell* nur Näherungen, Wahrscheinlichkeitsaussagen und qualitative Prognosen. Auf einer unmittelbar zugänglichen Ebene der Betrachtung erscheint das selbstverständlich: weder können wir unendlich genau messen, noch Zahlen unendlich genau ausdrücken, noch einen Algorithmus unendlich genau ausführen. All diese selbstverständlichen

---

<sup>130</sup> Warum existieren dann überhaupt algorithmische Gesetzmäßigkeiten? Diese Frage wird in den folgenden Abschnitten beantwortet.

Einschränkungen betreffen jedoch nur *Beschreibungen*, und ihr Vorhandensein trägt nichts zur Aufklärung der Frage bei, ob ein Algorithmus *existiert*, mit anderen Worten: ob *die Wirklichkeit selbst* bei der Entfaltung der Zukunft einen solchen Algorithmus ausführt; In diesem Fall bliebe die Willensfreiheit trotz der erwähnten, für alle Beschreibungen geltenden Einschränkungen auf der Strecke.

Die eigentliche Antwort darauf, warum es nur Näherungen gibt, liegt tiefer: sie ist in der Tatsache begründet, dass die Wirklichkeit keinen Algorithmus benötigt. Für die Entfaltung der Zukunft genügt die differenzielle Web-Regel. Diese ist aber kein Algorithmus – zum Algorithmus kann sie (in einer Beschreibung) erst in Verbindung mit idealisierten Annahmen über zusätzliche Ordnung werden. Wenn aber in der Wirklichkeit kein Algorithmus existiert, dann gibt es natürlich auch keine Möglichkeit, ihn in der Beschreibung zu rekonstruieren, und *deshalb* ist jede Beschreibung bloß eine Näherung.

Ich komme nochmals auf den entscheidenden Punkt der ganzen Analyse zurück. Es ist die Aussage:

*Die Zukunft ist nicht in der Gegenwart enthalten. Sie existiert nicht, bevor sie eintritt.*

Letztlich ist es nur auf Grund dieser Tatsache möglich, zu behaupten, dass der Wille frei ist. Nur deshalb, weil eine Willensentscheidung *nicht existiert*, bevor der Entscheidungsprozess stattgefunden hat, ist sie vom Entscheidungsprozess selbst abhängig und nicht von irgendeinem früheren Zustand des neuronalen Netzes.

Wäre die Wirklichkeit hingegen determiniert, dann wäre die Zukunft – also auch die Willensentscheidung – bereits gegeben, bevor sie eintritt. Es gäbe einen Algorithmus, der die Berechnung der Zukunft aus der Gegenwart erlaubte – eben genau denjenigen, den die Natur selbst zur Erzeugung der Zukunft ausführen würde, wenn sie deterministisch wäre –, und jede Willensentscheidung wäre aus vergangenen Bedingungen ableitbar. Damit wären diese Bedingungen zugleich die *Ursache* der Willensentscheidung. (Ich betone nochmals: es ist dabei gleichgültig, dass uns ein solcher Algorithmus niemals zur Verfügung stehen könnte – die bloße Annahme seiner *Existenz*, die in einer deterministischen Sicht der Natur unvermeidlich wäre, reicht aus, um Willensfreiheit auszuschließen.)

Wenn jedoch kein Algorithmus existiert, dann folgt die Zukunft nicht aus der Vergangenheit, und dann ist es nicht möglich, eine Willensentscheidung als Folge eines früheren neuronalen, physikalischen oder auf irgendeine andere Art definierten Zustands zu betrachten. Auf die Frage, warum eine Person so und nicht anders entschieden hat, gibt es dann nur eine einzige zulässige Antwort:

*Weil sie es so wollte.*

### Bemerkung:

Das heißt selbstverständlich nicht, dass Willensentscheidungen nicht hinsichtlich ihrer (neuronalen, chemischen, physikalischen, genetischen, sozialen usw.) Ursachen analysiert werden könnten. Es bedeutet aber, dass diese Analysen unvollständig bleiben und niemals zu einem sicheren Ergebnis führen, weil geistige Phänomene nicht auf andere Schichten der Wirklichkeit reduziert werden können. Der Wille bleibt die letzte Instanz.

### Satz

Sei Determinismus die These, dass zu jedem Zeitpunkt *genau eine* Zukunft existiert<sup>131</sup>. Sei Indeterminismus die These, dass zu jedem Zeitpunkt *mehr als eine* Zukunft existiert. Dann gilt folgender Satz:

***Die Zukunft existiert nicht, bevor sie eintritt. Also existiert zu keinem Zeitpunkt eine oder mehr als eine Zukunft. Die Wirklichkeit ist weder deterministisch noch indeterministisch.***

Die Alternative deterministisch-indeterministisch lässt sich nur auf Beschreibungen anwenden, nicht auf die Wirklichkeit selbst.<sup>132</sup>

Aus naturwissenschaftlicher Sicht ist die Wirklichkeit zwar nicht in jedem Fall berechenbar, aber sie ist immer auf ein mathematisches Szenario *abbildbar*. In wissenschaftlichen Experimenten bestätigt sich die Überzeugung, dass sich die Natur gesetzmäßig verhält.

Beide Annahmen sind aus unserer Sicht falsch.

---

<sup>131</sup> Nach Peter van Inwagen: *An essay on free will*. 2. Aufl., Clarendon Press, Oxford 1986, S. 3.

<sup>132</sup> Inwagen definiert Determinismus eigentlich als die "These, dass zu jedem Zeitpunkt genau eine *physikalisch mögliche* Zukunft existiert". Da aber der Begriff der "physikalischen Möglichkeit" ausschließlich auf Beschreibungen der Wirklichkeit und nicht auf die Wirklichkeit selbst anwendbar ist, wird damit die Frage "Determinismus oder Indeterminismus" zu einem formalen Problem. Die Antwort lautet dann: Da es keinen Algorithmus gibt, der von der Gegenwart in die Zukunft führt, kann die Frage, ob genau eine oder mehr als eine mögliche Zukunft existiert, nicht beantwortet werden. Aus formaler Sicht sind Determinismus und Indeterminismus also *unentscheidbare* Hypothesen. Bei der formalen Sichtweise geht jedoch das, was *eigentlich* zu sagen wäre, verloren, nämlich die grundsätzliche metaphysische Erkenntnis, dass *keine von beiden Hypothesen* zutrifft – oder besser: dass keine von beiden auf die Wirklichkeit angewendet werden kann.

Abbildbarkeit ist für überabzählbare Mengen, die keine mathematisch erfassbare Ordnung aufweisen, nicht gegeben. Der *allgemeine Fall* ist jedoch als solche Menge definiert.

Außerdem ist es, wie zuvor beschrieben, unmöglich, die *Aktivität* der Wirklichkeit nachzubilden. Das, was die Wirklichkeit vorantreibt, kann mathematisch nur durch einen Algorithmus nachgeahmt werden. Die Existenz eines Algorithmus setzt jedoch ein Maß an Ordnung voraus, das es nur in idealisierten Fällen gibt. Jeder reale Fall entspricht jedoch einer überabzählbaren Menge von Fakten, und als solche ist er nicht vollständig abbildbar.

Die zweite falsche Annahme ist die des gesetzmäßigen Verhaltens. Obwohl diese Annahme im manchen Bereichen der Natur in geradezu unglaublicher Näherung bestätigt ist, ist sie doch metaphysisch falsch: Die Wirklichkeit ist kein System von Gesetzen. Das *einzig exakte Gesetz* ist das fundamentale Gesetz (1). Alle anderen Gesetze, auch die sogenannten Naturgesetze, *entstehen* erst im Laufe der Entfaltung der Natur; Und da sie nicht von unveränderlichem Seienden handeln, sondern von Attraktoren – also von dynamischen Zuständen, die *niemals* vollständig identisch sind –, treffen sie niemals vollständig genau zu.

Im Grunde ist die Frage, ob Gesetze existieren, von genau derselben Art wie die Frage, ob Kreise existieren. In der Wirklichkeit gibt es keine Kreise. Jeder wirkliche Kreis ist eine Näherung. Die Nicht-Existenz von Kreisen ist keine Frage der Wahrscheinlichkeit, sondern eine *metaphysische Gewissheit*. Kreise sind Elemente von Beschreibungen, nicht Elemente der Wirklichkeit.<sup>133</sup>

Wäre die Wirklichkeit insgesamt ein mathematisches oder ein formales System S, dann wären Zustände von physikalischen Systemen *Aussagen* in S. Bezüglich jedes künftigen Zustandes könnte dann gefragt werden, ob er in S ableitbar ist.

Ein solches System enthält jedoch immer eine feststehende Menge von Regeln oder Gesetzen, aus denen alle weiteren Gesetze abgeleitet werden können, während in der Wirklichkeit neue, nicht-ableitbare Gesetze entstehen. Es ist die nicht-abbildbare metaphysische Qualität *Aktivität*, die diese Entstehung bewirkt.

Daraus folgt, dass die Wirklichkeit kein System S ist. Würde man sie einem solchen System gleichsetzen, dann würde sie permanent Zustände hervorbringen, die *unentscheidbaren Aussagen* des Systems entsprechen, d.h. Aussagen, die in S nicht abgeleitet werden können.

---

<sup>133</sup> Alle Themen, die soeben kurz berührt worden sind, werden im weiteren Verlauf ausführlicher diskutiert.

Das Einzige, was behauptet werden kann, ist, dass identische Sachverhalte identische Konsequenzen haben. Das wird üblicherweise als Kriterium für Determiniertheit aufgefasst, da damit zugleich feststeht, dass es im Ablauf der Wirklichkeit keine "Verzweigungen" gibt, mit anderen Worten, dass – falls ein zweites Universum existierte, das gegenwärtig vollständig mit unserem Universum identisch ist – auch die Zukunft dieses zweiten Universums vollständig identisch mit der Zukunft unseres Universums wäre.

Daraus wird dann weiter gefolgert, dass in keinem Fall jemand "hätte anders entscheiden können", weil ja immer schon vorher "feststand", wie die Entscheidung ausfallen würde.

Aus dem zuvor Gesagten geht jedoch hervor, dass diese Schlussfolgerung unzulässig ist. "Feststehen" hat hier dieselbe Bedeutung wie "enthalten sein", und da die Zukunft ganz allgemein nicht in der Gegenwart enthalten ist, kann nicht behauptet werden, dass eine Entscheidung schon vorher feststand. Diese Annahme wäre nur dann zulässig, wenn die Wirklichkeit als ein System S aufgefasst würde; aber dann entspräche das Ergebnis der Entscheidung einer unentscheidbaren Aussage in S, und die Behauptung der schon vorher gegebenen "Festgelegtheit" könnte nicht aufrechterhalten werden.<sup>134</sup>

Van Inwagens Formulierung: "Es existiert nur *eine* mögliche Zukunft" muss also durch die schwächere Aussage: "Nur *eine* Zukunft ist möglich" ersetzt werden.

Der Unterschied zu van Inwagens Formulierung ist, dass in der neuen Formulierung keine *bestimmte* Zukunft gemeint ist; Wenn z.B. gefragt wird, ob eine bestimmte Entscheidung fallen wird, dann ist das eine unbeantwortbare Frage.

Ist diese Entscheidung deshalb eine *mögliche* Entscheidung? Nein, auch diese Behauptung wäre nicht korrekt. Richtig ist, dass auch die Frage, ob es sich um eine mögliche Entscheidung handelt oder nicht, unentscheidbar ist.

---

<sup>134</sup> Die Annahme eines zweiten Universums, das mit unserem Universum identisch ist, ist sogar als Gedankenexperiment unzulässig, weil sie die falsche Voraussetzung einschließt, es sei (im Prinzip) möglich, die Wirklichkeit zu reproduzieren, also die gesamte in unserem Universum enthaltene Information auf ein anderes Universum zu übertragen. Das ist aber, wie schon vorher erwähnt, prinzipiell ausgeschlossen: sogar dann, wenn unendlich viele Gleichungen von unendlicher Länge zugelassen wären, könnten sie keine überabzählbare Menge von Fakten enthalten.

#### 4.4. Kausalität von oben

Die Umklammerung, der der Geist durch die Annahme der Determiniertheit von der elementaren Schicht des Seienden her ausgeliefert zu sein schien, hat sich gelöst. Dennoch würden die Schlussfolgerungen der letzten beiden Abschnitte – trotz der Eliminierung des Widerspruchs zwischen Freiheit und Determiniertheit – ohne Wirkung bleiben, wenn sie nicht durch das Prinzip der *Kausalität von oben* ergänzt würden. Was ist Kausalität von oben? Ich werde das zunächst nochmals an Hand der Beispiele erläutern, die ich schon im vorigen Kapitel gebraucht habe.

Betrachten wir zuerst ein *Gefäß aus Glas*. Es wird angeschlagen und schwingt. Greifen wir ein beliebiges Molekül heraus. Wodurch wird der Schwingungszustand des Moleküls festgelegt? Offensichtlich nicht durch seine lokale Umgebung, sondern durch *die Form des ganzen Gefäßes*. Es ist die Form, die den Phasenraum strukturiert und solchermaßen die Dynamik des Gefäßes und all seiner Bestandteile festlegt. Die konstante, d.h. über die Zeit sich erhaltende Form wird zur Basis eines Gesetzes: des Schwingungsgesetzes des Gefäßes.

Kurz gesagt: *Das Ganze – das Gefäß – bestimmt die Bewegung der Teile (der Moleküle)*.

Dasselbe gilt für ein *Neuron*. Hier ist jedoch nicht nur die äußere Form, sondern auch die innere (physikalisch-chemische) *Struktur* von Bedeutung: der Phasenraum des Neurons wird durch die äußere Form und den inneren Aufbau des Neurons strukturiert. Zusammen bestimmen sie, wo und auf welche Weise elektrische Potenziale erzeugt, weitergeleitet, schließlich in chemische Signale umgewandelt und an andere Neurone weitergegeben werden. Auch hier ist also die Zustandsdynamik des Neurons durch Form und Struktur festgelegt. Bei strikt lokaler Betrachtung wäre es unmöglich, die Aktivität eines Moleküls oder Atoms vorauszusagen. Und auch hier sorgen konstante Form und Struktur des Neurons für das Auftreten eines Gesetzes: des neuronalen Input-Output-Gesetzes.

Auch in diesem Fall gilt: *Das Ganze – das Neuron – bestimmt die Aktionen seiner Bestandteile*.

Als letztes Beispiel wählen wir *geistige Zustände*. Sie sind globale Erregungsmuster neuronaler Netze, die aber, wie im vorigen Kapitel skizziert, nicht durch das neuronale Input-Output-Gesetz und die Architektur des neuronalen Netzes festgelegt sind – diejenigen neuronalen Aktivitäten, die in funktionell ungebundenen (assoziativen) Arealen nur auf Grund dieser beiden Bedingungen stattfinden, können in unserem Zusammenhang durchaus als zufällig aufgefasst werden –, sondern die dem Netz *durch äußere Bedingungen* – durch reale Objekte und Abläufe – eingeprägt werden, sodass sie zu deren *Repräsentationen* werden können. Geistige Zustände strukturieren auf diese Weise den Phasenraum des Netzes, und die Abfolge geistiger Zustände bestimmt die Dynamik des Netzes. Der



Ablauf ist wiederum gesetzmäßig: er folgt dem jeweiligen (individuellen) geistigen Gesetz, das auf der (annähernden) Konstanz der geistigen Zustände – verstanden als globale Zustände des Netzes – sowie der Übergänge zwischen ihnen beruht.

Abermals lässt sich behaupten: *Das Ganze – die geistigen Prozesse, aufgefasst als globale Phänomene des neuronalen Netzes, die Attraktoren im Phasenraum des Netzes darstellen – bestimmt die Dynamik des Netzes und seiner Elemente.*

Was für diese Beispiele gilt, trifft auch im Allgemeinen zu: Form und Struktur eines Seienden bestimmen seine Dynamik. Die Richtung der Kausalität ist nicht "von unten nach oben", sondern "von oben nach unten", oder anders gesagt: die Dynamik eines Seienden hängt nicht (nur) von seinen Bestandteilen und deren Wechselwirkungen ab, sondern (auch) von seiner Form und Struktur; sie sind es, die die Struktur des Phasenraums des Seienden vorgeben und die Auswahl möglicher Trajektorien treffen.

Es ist hier von entscheidender Bedeutung, dass die Wirklichkeit kein algorithmisches System ist. Denn wäre sie das, dann wäre ja die Kausalität "von unten" *vollständig*, und für die Kausalität "von oben" wäre kein Platz. Es würde genügen, *ein einziges Mal* die korrekten Anfangsbedingungen in den fundamentalen Gesetzesmechanismus einzugeben, und dann würde der Mechanismus in alle Ewigkeit weiterlaufen. Kausalität von oben wäre dann kein eigenständiges Phänomen; Jede Beschreibung auf einer höheren Schicht des Seienden wäre nichts anderes als eine vereinfachte Darstellung bzw. Zusammenfassung von Tatsachen, die aus den Gegebenheiten der jeweils eine Stufe tiefer liegenden Schicht des Seienden folgen. Damit würde aber zugleich letztlich alles aus der tiefsten Schicht folgen, und jede andere Schicht des Seienden hätte ihre Eigenständigkeit verloren.

Das lässt sich durch das folgende ganz einfache Beispiel veranschaulichen: Die Operation  $2+2=4$  auf einem Taschenrechner kann auf zwei Arten beschrieben werden: Auf der Eingabeebene – als Abfolge von 4 Tastendrücken – oder auf der elektronischen Ebene. In diesem Fall ist aber klar, dass die kausalen Zusammenhänge in den logischen Schaltungen der elektronischen Ebene zu suchen sind und nicht in den Tastendrücken. Das Resultat 4 steht zu den Eingabe-Tastendrücken nur mittels der Schaltungen in Beziehung. Die Ebene der Tastendrücke hat also keine Selbständigkeit, und die Beschreibung des Vorgangs durch die Abfolge der Tastendrücke ist bloß eine vereinfachte Darstellung, die die kausalen Zusammenhänge nicht enthält.

Wäre die Wirklichkeit ein algorithmisches System, dann würden die Verhältnisse in allen Fällen denen des Taschenrechner-Beispiels gleichen. Der Nachweis, dass die Wirklichkeit kein algorithmisches System ist, ist also für die Existenz eigenständiger, hierarchisch höherer Ebenen von Seiendem notwendig.

Der Gedankengang, durch den diese Eigenständigkeit begründet werden kann und der schließlich bis hin zur Willensfreiheit führt, lässt sich – unter Einbeziehung der Aussagen dieses Kapitels – wie folgt skizzieren:

Er beginnt mit der Zweiteilung der naturwissenschaftlichen Beschreibung der Wirklichkeit in *Gleichungen* und *Anfangsbedingungen*, d.h. in mathematische Zusammenhänge zwischen Variablen und den Werten dieser Variablen zu einem bestimmten Zeitpunkt.

Infolge der Annahme, dass die Welt aus einer endlichen Anzahl von elementaren, miteinander wechselwirkenden Entitäten besteht, wird durch die gegenwärtige Physik die Vorstellung nahe gelegt, Anfangsbedingungen seien die Werte der Attribute solcher Entitäten, und globale Zusammenhänge seien algorithmisch fassbar. Zwar ist die Annahme der Berechenbarkeit der Natur, wie zuvor gezeigt, auch unter der Voraussetzung der Existenz elementarer Entitäten falsch, aber die volle Bedeutung der beiden Elemente der Beschreibung – Anfangsbedingungen und Gesetze – wird erst klar, wenn sie von den metaphysischen und logischen Voraussetzungen her betrachtet werden, aus denen in dieser Arbeit die Entstehung der Wirklichkeit rekonstruiert wurde.

Die tiefste Ebene der Wirklichkeit ist hier *Veränderung von AGENS*. Durch die Bestimmung von AGENS als Menge der notwendigen und hinreichenden Voraussetzungen von Existenz wird diese Ebene zu einem sich verändernden Raum-Zeit-Kontinuum, das nur in Form dieser Veränderung existiert und dessen einzige Regel darin besteht, dass die differenzielle Änderung der metrischen Dichte des Raums stets gleich der differenziellen Änderung der metrischen Dichte der Zeit ist.

Es gibt also am *Ursprung des Seienden* nur ein einziges Gesetz, und dieses Gesetz wirkt im unendlich Kleinen.

Es lässt sich daraus im Allgemeinen kein Algorithmus ableiten, auch nicht in Verbindung mit irgendwelchen Anfangsbedingungen, weil sich diese Anfangsbedingungen ins Unendliche verflüchtigen: Es wäre unsinnig, die überabzählbar vielen Werte von  $\sigma$  und  $\zeta$  als Anfangsbedingungen zu bezeichnen. Sie müssen vielmehr als *veränderlicher globaler Zustand* verstanden werden, dessen wesentliches Merkmal es ist, dass seine räumlichen und zeitlichen Zusammenhänge nicht algorithmisch erfasst werden können – nicht ohne die Annahme zusätzlicher Ordnung. Dadurch wird die Aussage "die Zukunft folgt aus der Gegenwart" falsch; Der globale künftige Zustand ist nicht ableitbar. Das zweite Element der Beschreibung, das jetzt also nicht mehr "Anfangsbedingungen", sondern "globaler Zustand" heißt, erlangt dadurch eine *prinzipielle Selbständigkeit*, die ihm in der konventionellen Sichtweise nicht zukommt.

Wie gezeigt wurde, ist es gerade diese Selbständigkeit des globalen Zustandes, die zum Ausgangspunkt für den Beweis der Eigenständigkeit von komplexem Seiendem wird; Was als *Form* und *Struktur* von Seiendem erscheint, ist ja nichts anderes als ebendieser globale Zustand: aus den im allgemeinen Fall zufälligen und nicht algorithmisch erfassbaren globalen Bedingungen entstehen durch die Selbstorganisation der Natur Form und Struktur von Seiendem, d.h. es entsteht *Kausalität von oben*.

Die Entstehung von Seiendem ist somit gleichbedeutend mit der Entstehung von Gesetzen, die die innere und äußere Dynamik dieses Seienden regeln. In einfachen, idealisierten Fällen kann der globale Zustand algorithmisch komprimiert werden, d.h. in die Form lösbarer Gleichungssysteme gebracht werden.

Was im Rahmen der Standardphysik als elementare Schicht des Seienden erscheint, wird von dem hier eingenommenen Standpunkt aus zur ersten und einfachsten Schicht der Wirklichkeit, die sich aus dem *Ursprung des Seienden* entfaltet, und die sogenannten *Naturgesetze* der Standardphysik stellen sich als Gesetze der Art heraus, die ich im vorigen Kapitel als *Gesetze der Form* oder *Strukturgesetze* bezeichnet habe. (Im zweiten Teil dieses Buchs ist das für Gravitation, Elektromagnetismus und atomare Gesetzmäßigkeiten gezeigt worden.)

Die Entfaltung der Natur schreitet jedoch weiter fort: die einfachen Formen des Seienden schließen sich zu komplexeren Formen zusammen, und es entstehen abermals neue Gesetze.

Aus dieser Sicht besteht zwischen der Natur und ihrer Beschreibung folgender Zusammenhang:

1. Kein Beschreibungssystem kann die Wirklichkeit exakt wiedergeben. Es ist für die Beschreibung der Wirklichkeit *geeignet*, wenn es die in der Wirklichkeit auftretenden Objekte enthält und deren Verhalten in hinreichender Näherung darstellt.

2. Wachsende Komplexität der Natur bedeutet wachsende Komplexität der Beschreibung. Wenn Strukturen höherer Komplexität entstehen, dann muss das zuvor für die Beschreibung der Natur geeignete System durch ein komplexeres ersetzt werden, das das vorherige enthält.

Falls es eine Theorie von Allem gäbe, dann müsste sie das endgültige System sein, d.h. jenes, das alle diese Systeme umfasst. In jedem Fall gilt aber, dass mit dem Auftreten psychischer Zustände kein System mehr zur Beschreibung der gesamten Natur geeignet ist, weil damit der Bereich verlassen wird, der durch feststehende Gesetze beschreibbar ist. Deshalb kann es keine Theorie von Allem geben, die psychische Phänomene mit einschließt. Da aber psychische Zustände Teil der Natur sind, kann es überhaupt keine Theorie von Allem geben.

## 4.5. Über Ordnung und Gesetze

Dieser Abschnitt enthält einige Notizen über die Entstehung von Ordnung und über dynamische Gesetze. Zur Entstehung von Ordnung habe ich allerdings nichts Wesentliches zu sagen – es erscheint mir aber unerlässlich, an dieser Stelle zumindest das Notwendigste zur Sprache zu bringen, damit es im argumentativen Zusammenhang den ihm zukommenden Platz einnehmen kann.

Ich umgehe die Schwierigkeit, Ordnung zu definieren. Für die Zwecke der folgenden Ausführungen ist es hinreichend, Ordnung als Oberbegriff über die Begriffe Form, Struktur, Regelmäßigkeit, Periodizität usw. aufzufassen.

Nach dem vorher Gesagten gilt Folgendes:

Die wissenschaftliche Beschreibung der Natur besteht aus *Gesetz* und *globalem Zustand*. Das Gesetz bleibt immer gleich. Also ist die Entstehung von Ordnung immer eine Veränderung des globalen Zustands, der sich vom Zufälligen zum Geordneten hin entwickelt.

Die Entstehung von Seiendem ist gleichbedeutend mit der Entstehung von Ordnung und der Entstehung von Strukturgesetzen, in denen sich diese Ordnung ausdrückt. Die Entstehung von komplexerem Seiendem ist gleichbedeutend mit der Entstehung von zusätzlicher, höherer Ordnung und weiteren, hierarchisch höheren Strukturgesetzen.

Die wichtigste Frage ist nun zweifellos: *Wie* entsteht Ordnung?

Geht man von der Tatsache aus, dass weder der globale Zustand selbst noch seine zeitliche Entwicklung algorithmisch erfasst werden können, dann scheint es im ersten Augenblick, als würde sich die Entstehung von Ordnung überhaupt jeder Beschreibung entziehen. Das ist aber nicht der Fall. Es ist bei vielen Systemen möglich, auf Grund gegebener Randbedingungen Aussagen über die Struktur des Phasenraums des Systems zu machen – insbesondere über die darin vorhandenen Attraktoren – und daraus Schlüsse zu ziehen, ob das System einem geordneten Zustand zustrebt.

Gerade am Anfang der Selbstentfaltung der Natur – dort also, wo die Bedingungen am einfachsten sind, weil sie aus bloßer Notwendigkeit hervorgehen – und am uns derzeit bekanntesten komplexesten (vorläufigen) Endpunkt dieser Entfaltung ist es möglich, auf diese Weise die Entstehung von Ordnung zumindest prinzipiell zu begreifen:

Die Einsicht, wie sich das Universum am Anfang selbst organisiert, folgt – wie am Ende des zweiten Teils beschrieben – aus der Annahme, dass es eine geschlossene metrische Struktur von unveränderlicher Größe ist, die daher dem einfachsten Attraktor zustreben wird: dem Zustand stehender Wellen.<sup>135</sup> (Es ist aber zu bedenken, dass diese Schlussfolgerung nur dann genau zutreffen würde, wenn das Universum ein ideal-elastisches Medium wäre. Da es jedoch ein Raum-Zeit-Kontinuum ist, das keine absolute Dichte hat, sind die Verhältnisse viel komplexer, und der Stehende-Wellen-Zustand ist vermutlich nur einer von mehreren ordnenden Mechanismen.)

Am Ende der Entwicklung, dort, wo die Ordnung des Reichs des Geistes herrscht, wird die Entstehung von Ordnung abermals dadurch begreifbar, dass die geistigen Zustände als Attraktoren aufgefasst werden, die dem Phasenraum des neuronalen Netzes durch die Wahrnehmung von Objekten und Ereignissen und deren Verbindung mit inneren Informationen aufgeprägt werden. Wird die Herausbildung der geistigen Ordnung auf diese Weise verstanden, dann stimmt sie ganz selbstverständlich mit unserer intuitiven Auffassung von Geist überein.

Wie die Chaodynamik lehrt, kann es jedoch außerordentlich schwierig sein, die Attraktoren im Zustandsraum eines Systems – und damit die Selbstorganisation des Systems zu geordneten Mustern – zu bestimmen. Diese Art von Prozessen ist erst in den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts in den Blick der Naturwissenschaften gelangt, und sie bleibt, nach einer Phase medialer Aufmerksamkeit, bis heute – wegen der großen mathematischen Schwierigkeiten und der daraus folgenden geringen Aussicht auf schnellen Erfolg – ihr wenig geliebtes Stiefkind, obwohl es doch offensichtlich ist, dass die Frage der Entstehung von Ordnung mindestens die gleiche Aufmerksamkeit verdiente wie die gegenwärtig dominierende Erforschung naturgesetzlicher bzw. – vom hier eingenommenen Standpunkt aus – strukturgesetzlicher Prozesse.

Sind Prozesse der Selbstorganisation keine solchen Prozesse? Das ist tatsächlich der Fall. Die Gesetze, denen sie gehorchen, stellen einen weiteren Typus von Gesetzen dar, der zwei Kriterien erfüllt:

1. Selbstorganisation setzt nichtlineare Rückkopplung voraus. Daher sind die Gleichungen nichtlinear.
2. Die Gleichungen enthalten Variablen, die sich nicht auf Attribute einzelner, lokaler Entitäten beziehen – es sind vielmehr *globale Variable*, d.h. solche, die Eigenschaften des ganzen Systems ausdrücken.

---

<sup>135</sup> Zur unveränderlichen Größe siehe Kapitel 8. *Kosmologie* im zweiten Teil. Ob die Geschlossenheit der metrischen Struktur aus dem Gesetz selbst hervorgeht (ob sie die einzige Randbedingung ist, die mit dem Gesetz verträglich ist), weiß ich nicht. Ich nehme es aber an. Ansonsten müsste sie als zusätzliche Bedingung angenommen werden.

Die zweite Aussage bedeutet, dass auch bei den Gesetzen der Entstehung von Ordnung – genauso wie bei den Strukturgesetzen, in denen sich eine bereits vorhandene Ordnung ausdrückt – der globale Zustand die zeitliche Entwicklung des Systems bestimmt. Und auch hier muss, damit dies zu einer *ontologischen* Aussage werden kann, wieder die zuvor gezeigte Selbständigkeit (Unableitbarkeit) des globalen Zustands vorausgesetzt werden; andernfalls wären die *globalen Parameter* – wie bei der konventionellen Sicht – bloß ungenaue Zusammenfassungen lokaler Gegebenheiten und kein eigenständiges Element der Beschreibung.

Ein Beispiel zur Verdeutlichung: das erste bekannte, nach seinem Entdecker "Lorenz-System" benannte chaotische System, das die Dynamik einer viskosen, inkompressiblen Flüssigkeit beschreibt, die sich zwischen zwei Platten befindet, zwischen denen eine Temperaturdifferenz herrscht. Das System hat 3 Variablen – nennen wir sie X, Y, und Z, die auf folgende Weise definiert sind:<sup>136</sup>

X ist proportional zum Betrag der Konvektionsgeschwindigkeit.

Y ist proportional zur Temperaturdifferenz zwischen aufsteigender und fallender Strömung.

Z ist proportional zur Abweichung vom linearen vertikalen Temperaturprofil.

Falls die Temperaturdifferenz  $\Delta T$  der beiden Platten über einer bestimmten Grenze  $r_0$  liegt, verhält sich das System chaotisch, und im Zustandsraum bildet sich der bekannte *Lorenz-Attraktor*.

Da das Lorenz-System nur einen einzigen Attraktor hat, stellt sich für  $\Delta T > r_0$  in jedem Fall – *unabhängig von den Anfangsbedingungen* – der Zustand ein, der durch den Attraktor repräsentiert wird. Das Verhalten des Systems wird also durch *globale Parameter* geregelt – sie bestimmen das Muster, das sich im Zustandsraum ausbildet.

An diesem Beispiel sind die folgenden, für die mathematische Darstellung der Selbstorganisation typischen Merkmale zu finden:

1. Das System ist in einem gewissen Maß unabhängig von Anfangsbedingungen der Art, von denen bisher immer die Rede war, d.h. von Anfangsbedingungen in der Form von Variablenwerten, die Objekt-Attributen oder Feldgrößen entsprechen.

2. Deshalb wird auch nicht das Verhalten der Bestandteile des Systems untersucht – das wäre unmöglich –, sondern das globale Langzeitverhalten, also die Muster, auf die hin sich das System

---

<sup>136</sup> Das Folgende ist einer Arbeit von *Andreas Jung* entnommen, zu finden unter <http://andreas.welcomes-you.com/research/talks/lorenz/>

entwickelt. Sie sind Attraktoren des Zustandsraums, wobei für die Musterbildung vor allem chaotische Attraktoren von Bedeutung sind.

Es ist also offensichtlich, dass es sich bei Prozessen der Selbstorganisation um einen völlig neuen Bereich der Naturbeschreibung handelt, bei dem das Ziel nicht, wie sonst in der Naturwissenschaft, die möglichst exakte und detaillierte Ermittlung eines künftigen Systemzustands ist, sondern das Erlangen von *Gestaltinformation*.<sup>137</sup>

Das Prinzip der Selbstorganisation fügt sich auf folgende Weise in die hier vorgestellte Sicht des Aufbaus der Natur ein:

In den vorangegangenen Abschnitten dieses Kapitels und im vorigen Kapitel ist gezeigt worden, dass sich im allgemeinen Fall die globalen Bedingungen nicht in einem Algorithmus zur Berechnung der zeitlichen Entwicklung eines Systems zusammenfassen lassen. Dadurch blieb aber zunächst unklar, wie diese Entwicklung verstanden werden könnte. Hier stellt Selbstorganisation durch Rückkopplung die notwendige Ergänzung dar: An die Stelle der Beschreibung durch einen Algorithmus, der Variablen beinhaltet, die den Attributen einzelner Objekte entsprechen – was im allgemeinen Fall unmöglich ist, weil es einen solchen Algorithmus einfach nicht gibt – tritt die Analyse der globalen Bedingungen, und die Beschreibung erfolgt mittels Variabler, die globale Systemeigenschaften repräsentieren.

## ***4.6. Einige Folgerungen***

### **Die Selbständigkeit globaler Parameter**

Obwohl die Beschreibung chaotischer, rückkoppelnder Systeme deterministisch sein kann – wie etwa beim Lorenz-System –, wäre es nach den Analysen der Abschnitte 4.2. und 4.3. nicht korrekt, daraus auf die Determiniertheit des Systems selbst zu schließen. Ich skizziere nochmals die Begründung:

In einem linearen System, wie es etwa in hinreichender Näherung eine große Menge von Gasmolekülen in einem geschlossenen Behälter darstellen würde, gibt es – zumindest *im Prinzip* – einen Algorithmus, durch den sich aus den Orten und Impulsen der Moleküle die Entwicklung des Systems be-

---

<sup>137</sup> Allerdings sind die Muster in vielen chaotischen Systemen (wie z.B. beim Wetter) nur im Phasenraum erkennbar. In der Wirklichkeit bleiben sie verborgen, weil ihnen genau dasjenige fehlt, was sie erst zu etwas *Seiendem* machen würde: die *Form*, die im realen 3-dimensionalen Raum existiert und sich über eine gewisse Zeit erhält.

stimmen ließe. Natürlich wäre es bei einer Zahl von, sagen wir:  $10^{26}$  Molekülen vollkommen abwegig, diese Art der Beschreibung tatsächlich zu versuchen, aber es spricht nichts gegen die Annahme der Existenz eines solchen Algorithmus. Daher ist dieses (idealisierte) System *deterministisch*.

Im Gegensatz dazu existiert aber in einem nichtlinearen, rückkoppelnden System *prinzipiell* kein solcher Algorithmus. Das wurde in 4.2. und 4.3 für kontinuierliche selbstorganisierende Systeme gezeigt; Es gilt aber auch für Systeme, die aus einer endlichen Anzahl miteinander wechselwirkender Objekte bestehen – wie etwa ein System aus einer großen Anzahl aneinander gebundener gravitierender Körper.

Was bedeutet es dann, wenn die Gleichungen, durch die ein selbstorganisierendes System beschrieben wird, deterministisch sind? Die Antwort lautet wie folgt:

Diese deterministischen Gleichungen enthalten nicht alle Einzelheiten des Systemzustands; Sie beziehen sich nicht auf die Eigenschaften der einzelnen Elemente des Systems, sondern auf globale Eigenschaften, d.h. solche des ganzen Systems. Die Details werden ignoriert. Es handelt sich also um einen "qualitativen Determinismus"; Zwei Systeme können denselben chaodynamischen Gleichungen genügen, obwohl sie sich in den Details unterscheiden. Sie würden zwar demselben Attraktor zustreben, aber sie blieben dennoch unterscheidbar.

Lokale Unterschiede bleiben aus dieser "qualitativ deterministischen" Beschreibung ausgeschlossen, und deshalb kann aus der Tatsache, dass die Gleichungen der Chaosdynamik deterministisch sind, nicht die Determiniertheit der damit beschriebenen Systeme gefolgert werden.

Man ist also abermals mit der *Selbständigkeit des globalen Zustands* konfrontiert – und hier ist das gleichbedeutend mit der *Selbständigkeit der Beschreibung durch globale Parameter*.

Eine solche Beschreibung kann daher nicht bloß als Zusammenfassung lokaler deterministischer Vorgänge aufgefasst werden. Sie ist davon unabhängig und stellt somit eine *fundamentale Ebene* der Beschreibung dar – in dem Sinn, dass sie *nicht* auf Bewegungsgleichungen reduziert werden kann, die für die einzelnen Elemente des Systems gelten, weil solche Bewegungsgleichungen einfach *nicht existieren*. Und das ist der eigentliche Grund dafür, dass sich hier die Prinzipien der Beschreibung ändern müssen, konkret: dass man von der lokalen Beschreibung zur globalen Analyse der Gestaltbildung überwechseln muss.

Das alles trifft auch im Fall konventioneller Betrachtungsweise zu. Dennoch werden die Verhältnisse erst völlig klar, wenn man sie von dem hier präsentierten Aufbau der Physik aus betrachtet:



Hier gibt es keine Ebene aus elementaren Entitäten, aus der sich alles zusammensetzt und deren Dynamik alles bestimmt. Stattdessen gibt es ein Kontinuum und dessen differenzielles Gesetz. Aus diesem Gesetz allein folgt jedoch *nichts*. Es bedarf immer der *globalen Verhältnisse*. Das bedeutet: hier sind Gesetz und (veränderliche) Randbedingungen – d.h. *Gesetz und globaler Zustand* – gleichwertig. Es gibt nur beides zusammen. Es gibt nur Kausalität von unten und von oben zugleich.

Die Gültigkeit der deterministischen chaodynamischen Gleichungen, die globale Parameter enthalten, ist ein Beweis, dass in rückkoppelnden selbstorganisierenden Systemen tatsächlich der *globale Zustand* die Führung übernimmt und die Entwicklung des Systems bestimmt.

### **Objekte; Objekt-Attribute und Wechselwirkungen**

Nehmen wir an, ein Bereich des Raum-Zeit-Kontinuums habe sich aufgrund bestimmter Randbedingungen von einem ungeordneten zu einem geordneten Zustand hin entwickelt, und es sei dadurch ein Muster entstanden, das sich nicht nur in einem Zustandsraum zeigt, sondern auch im realen dreidimensionalen Raum. Nehmen wir ferner an, dieses Muster bleibe über eine gewisse Zeit (das kann eine Milliardstel Sekunde sein oder auch 100 Milliarden Jahre) annähernd unverändert bestehen.

Dann ist *Seiendes* entstanden – ein Objekt, das Form und Struktur hat und bestimmte Attribute aufweist. Es ist aber nicht *elementar* (im Sinn von substanziell unteilbar und strukturlos), sondern ein *dynamisches Muster*, und deshalb sind seine Attribute nichts anderes als *globale Parameter*; Während die Beschreibung der Entstehung von Seiendem die Verwendung zeitlich veränderlicher globaler Parameter erfordert, muss das Seiende selbst – also das, was sich als (annähernd) stationäres Endprodukt dieser Entwicklung zeigt – durch (annähernd) konstante globale Parameter beschrieben werden, und das sind dann offenbar die Attribute dieses Seienden. Beispiele dafür sind etwa *elektrische Ladung* oder *Masse*, oder die Eigenschaften von Zuständen der sogenannten *Elektronenhüllen* von Atomen.

Sie gehen als Variablen in *Strukturgesetze* ein, die die Wechselwirkungen zwischen Objekten mit diesen Attributen beschreiben: Elektromagnetismus, Gravitation, atomare und molekulare Gesetzmäßigkeiten.

Damit ist jene Ebene der Wirklichkeit erreicht, die in der Standardphysik für elementar gehalten wird. Auf dieser Stufe einfacher physikalischer Objekte und ihrer Wechselwirkungen begegnet uns nun wiederum jenes Phänomen, das zuvor als wesentliches ontologisches Charakteristikum der Dynamik der fundamentalen Ebene (des Raum-Zeit-Kontinuums, das allem Seienden vorausgesetzt ist) bestimmt wurde: Wie das Kontinuum selbst sind auch Systeme, die aus solchen einfachen Objekten bestehen und in denen die mit den Objekten zugleich entstandenen Strukturgesetze gelten, nur dann

algorithmisch, wenn sich in ihnen *mehr* an Ordnung findet, als durch die Gesetze allein schon vorgegeben ist. Wenn das nicht der Fall ist, dann hängt die Entwicklung des Systems abermals von globalen Parametern (höherer Ordnung) ab, und es können nun unter geeigneten Randbedingungen abermals neue, komplexere Objekte entstehen, mit neuen Attributen und neuen Wechselwirkungen usw. Wie oft sich diese stufenweise aufwärts strebende Entwicklung wiederholen kann hängt von den jeweiligen Bedingungen ab. Das einzige uns zurzeit bekannte System, das einen evolutionären Aufstieg über etliche Stufen bis hin zu Seiendem von bemerkenswert hoher Komplexität ermöglicht, ist die Biosphäre der Erde.

### Die Richtung der Zeit als fundamentale Tatsache

Infolge der Ausführungen der letzten Abschnitte stellt sich die Frage nach der Richtung der Zeit in neuer Form:

Der mathematische Ausdruck für den Prozess, der die Wirklichkeit erzeugt, ist  $\frac{d\sigma}{dr} = \pm \frac{1}{c^2} \frac{dv}{dt}$ .

Es ist also ein *differenzieller* Prozess, und daraus folgt, dass Aussagen, die Zuständen der Wirklichkeit entsprechen sollten, eine überabzählbare Menge von Fakten enthalten müssten und sich nicht zu endlichen Aussagen komprimieren ließen.<sup>138</sup> Das bedeutet aber, dass Zustände der Wirklichkeit durch kein mathematisches System vollständig erfasst werden können.

Daraus folgt, dass alle mathematischen Konzepte, auf denen die Beschreibung der physikalischen Wirklichkeit bisher beruhte, nur noch den Status von Näherungen haben. Das gilt z.B. auch für den Hamiltonschen Formalismus, der im Allgemeinen als Basis für den Beweis von Zeitumkehr dient. Sogar das Phasenraumkonzept selbst ist betroffen – es gibt keinen Phasenraum mit überabzählbar vielen Dimensionen – und ist somit nur für näherungsweise gültige oder qualitative Aussagen geeignet. (Ich werde es im Folgenden in diesem Sinn verwenden.)

Die Behauptung: "Zeitumkehr ist möglich" bzw. "Die umgekehrte Trajektorie existiert" muss also zur Behauptung abgeschwächt werden: "Zeitumkehr ist annähernd möglich" bzw. "Es gibt Trajektorien, die annähernd mit umgekehrten Trajektorien übereinstimmen".

Auch diese schwächere Behauptung ist aber nur für Systeme richtig, bei denen sich die zeitliche Entwicklung durch die Bewegungsgesetze der Bestandteile ausdrücken lässt – ein typisches Beispiel wäre etwa das System einer großen Anzahl sich bewegendender Gasmoleküle in einem Behälter –, sie wird

---

<sup>138</sup> Vermutlich gilt sogar, dass sie auch nicht zu abzählbar unendlichen Aussagen komprimiert werden könnten.

jedoch falsch, wenn man versucht, sie auf Systeme anzuwenden, die sich auf einen geordneten Zustand hin entwickeln oder einen solchen aufrechterhalten. Diese Art von Systemen wird, wie zuvor ausgeführt, eben nicht durch Bewegungsgleichungen elementarer Objekte geregelt – solche Objekte existieren offensichtlich nicht, da die Punkte des Kontinuums keine "Objekte" sind –, sondern durch Gleichungen, in denen die zeitliche Entwicklung durch globale Parameter ausgedrückt wird: die nichtlinearen, rückkoppelnden Gleichungen der Chaodynamik. Zeitsymmetrie bedeutet jedoch die Umkehrung der Bewegungsrichtung *aller* Bestandteile eines Systems. Da sich die lokalen Gesetzmäßigkeiten der Bewegungen der Punkte aber den globalen Gesetzen unterordnen, ist eine solche Umkehrung unmöglich, und das bedeutet: der umgekehrte zeitliche Verlauf ist ausgeschlossen.

Die Richtung der Zeit ist also keine Frage von Wahrscheinlichkeit: Zeitsymmetrie kann es – außer in idealisierten Sonderfällen – aus prinzipiellen ontologischen Gründen nicht geben.<sup>139</sup> (Weiter unten, im Abschnitt "[Ergänzung: Beweis der Unmöglichkeit von Zeitumkehr](#)", werde ich zeigen, wie die Behauptung von Zeitumkehr durch ein weiteres Argument widerlegt werden kann.)

## Seiendes als Attraktor

Alles Seiende ist ein Muster aus Veränderungen des Raum-Zeit-Kontinuums. Da es seine Form über einen gewissen Zeitraum erhält, muss es einem *Attraktor* der Kontinuumsdynamik entsprechen – und das gilt für *jedes* Seiende, vom Elementarteilchen bis zum geistigen Zustand. Damit steht zugleich fest, dass Seiendes niemals vollkommen gleich bleibt. Das lässt sich wie folgt zeigen:

Zur Auswahl stehen drei Arten von Attraktoren: Fixpunkte, zyklische Orbits und chaotische Attraktoren. Fixpunkte gehören zu statischen Zuständen. Solche Zustände sind in einer Wirklichkeit, die nur als sich verändernde existiert, nicht möglich. Also beschränkt sich unsere Auswahl auf zyklische und chaotische Attraktoren.<sup>140</sup>

---

<sup>139</sup> Es war bekanntlich Ilya Prigogines Anliegen, die Richtung der Zeit aus den Gesetzmäßigkeiten der Selbstorganisation abzuleiten. (Siehe dazu etwa *Das Paradox der Zeit*, München, Piper, 1993.) Ich meine aber, dass dieses Vorhaben scheitern muss, wenn nicht zugleich die Annahme widerlegt wird, dass es fundamentale Bewegungsgleichungen gibt, die die Dynamik der elementaren Bestandteile eines Systems enthalten und dadurch das ganze System determinieren. Es ist im Grunde derselbe Sachverhalt wie bei der Willensfreiheit: Die Dominanz des Globalen über das Lokale kann erst dann behauptet werden, wenn es keine elementare Schicht der Wirklichkeit gibt, aus der auf algorithmische Weise die Zukunft erzeugt wird.

<sup>140</sup> Außerdem kann es noch stationäre Zustände in der Form von Singularitäten geben, wie im Fall schwarzer Löcher, wo ein kugelsymmetrischer, zeitlich konstanter metrischer Fluss ins Zentrum existiert.

Entspricht Seiendes einem chaotischen oder einem zyklischen Attraktor? Vermutlich gibt es beide Varianten. Wenn, wie bei der Quantenmechanik, die möglichen Zustände von Objekten und Systemen diskrete Folgen bilden, dann sind sie stehenden Wellen vergleichbar und entsprechen zyklischen Attraktoren. In diesem Fall kann – wie das in der Quantenmechanik ja auch geschieht – bei der Darstellung der Zustände und der Übergänge zwischen ihnen die fundamentale Nicht-Linearität des eigentlichen, ursächlichen Geschehens vernachlässigt werden.

Zustände, die stehenden Wellen entsprechen, sind jedoch niemals einander vollständig gleich. Betrachten wir zur Illustration wieder ein akustisches Vergleichsszenario: Wenn etwa zwei Hornisten auf identischen Instrumenten denselben Ton blasen, dann ist dennoch die Wahrscheinlichkeit, dass die Schwingungszustände der Luft in beiden Instrumenten vollständig übereinstimmen, gleich Null. Gleiches gilt für die Schwingungszustände im selben Instrument zu zwei verschiedenen Zeitpunkten.

Bei den stehenden Wellenzuständen der Quantenmechanischen Systeme ist dasselbe der Fall; Und genau das ist die Ursache dafür, dass für die Zeitpunkte der Übergänge zwischen solchen Zuständen nur Wahrscheinlichkeiten vorausgesagt werden können.<sup>141 142</sup>

Für den Fall, dass Seiendes einem zyklischen Attraktor entspricht, gilt also genau das, was eingangs behauptet wurde: Es bleibt niemals vollkommen gleich. Damit gilt zugleich: Zwei Objekte derselben Art gleichen sich niemals vollständig.

Betrachten wir nun die zweite Variante. Falls Seiendes nicht einem zyklischen, sondern einem chaotischen Attraktor entspricht, dann folgt die Behauptung aus der Definition des chaotischen Attraktors: die Trajektorie geht nie zweimal durch denselben Punkt, und das bedeutet, dass es kein Seiendes gibt, das zu zwei verschiedenen Zeitpunkten eine vollständig identische Gestalt hat. Und auch in diesem Fall gilt, dass sich zwei Objekte derselben Art niemals vollständig gleichen.

---

<sup>141</sup> Leider herrscht gegenwärtig das interpretative Missverständnis, es handle sich um "objektive" Wahrscheinlichkeiten. Es sind aber ganz "normale" Wahrscheinlichkeiten, deren Auftreten durch das Vorhandensein einer tieferen Ebene – der Ebene der Musterbildung durch Rückkopplung und der Kontinuumsflüsse und -wellen, die diese Muster verursachen und zugleich durch sie strukturiert werden – erklärt werden kann.

<sup>142</sup> Der Bereich der Atome und Moleküle ist wegen seiner Strukturierung in Form stehender Wellen jener Bereich der Wirklichkeit, der einer algorithmischen Beschreibbarkeit am nächsten kommt. Aber auch wenn die fundamentale Nicht-Linearität hier vollständig gebannt scheint, ist das letztlich eine Täuschung. Die Unruhe des kontinuierlichen Hintergrundes – selbst wenn sie unmessbar bleibt – und die unvermeidlichen Störungen von außen verhindern, dass irgendein quantenmechanisches System ein dynamisches Gleichgewicht erreicht und dadurch vollständig linear wird.

Gibt es Objekte, die einem chaotischen Attraktor entsprechen? Vermutlich ja. Die Nichtlinearität der Vorgänge im Atomkern legt nahe, dass Atomkerne solche Objekte sind. Auch geistige Zustände könnten chaotische Attraktoren sein.

Dass Seiendes niemals vollkommen gleich bleibt, hat zur Folge, dass Gesetze, die Variablen enthalten, die sich auf Attribute von Seiendem beziehen, letztlich nur *Wahrscheinlichkeitsgesetze* sind bzw. – wenn sie, wie im Fall der Allgemeinen Relativitätstheorie, nicht als solche formuliert sind – in ihren Vorhersagen nicht ganz genau sein können. Vollständige Genauigkeit wäre nur erreichbar, wenn man bis zur tiefsten, Ebene der Wirklichkeit vordringen könnte – dorthin, wo die Wirklichkeit *exakt* mit dem fundamentalen Gesetz übereinstimmt. Das ist aber undurchführbar, denn dort wäre man wieder bei den überabzählbar vielen Werten der beiden Variablen  $\sigma$  und  $v$  angelangt.

Es fragt sich, wie weit es je gelingen kann, die nichtlinearen Prozesse, die letztlich die Voraussetzung für die Entstehung und den Wandel von Seiendem sind, zu beschreiben. Zweifellos wäre eine solche Beschreibung ungleich komplizierter als die schlichte Annahme, dass die einfachsten Formen des Seienden keine dynamischen Muster, sondern elementare, substanzielle Entitäten sind. Immerhin ist festzuhalten, dass der derzeitige Gewinn an Einfachheit um den Preis erkaufte wird, dass die Prozesse, bei denen sich die fundamentale Nicht-Linearität bemerkbar macht – und solche Prozesse gibt es mit Sicherheit – infolge der falschen Grundannahmen nur durch Formalismen beschreibbar sind, die der Wirklichkeit zwar quantitativ angenähert werden können, die jedoch in struktureller Hinsicht die Wirklichkeit vollständig verfehlen.<sup>143</sup> Die Hypothese elementarer Entitäten macht den Weg zur tatsächlichen Struktur der Wirklichkeit vollkommen unzugänglich. Aber selbst wenn sich die Schwierigkeiten nichtlinearer Beschreibung als unüberwindlich erweisen sollten: wie im ersten Teil gezeigt wurde, ist allein schon durch die Korrektur der Interpretation ein wesentlicher Erkenntnisfortschritt erreicht; Die Wirklichkeit öffnet sich für die Begriffsbildungen, die uns zur Verfügung stehen, und die Unsinnigkeiten der gegenwärtigen Interpretation verschwinden.

### **Die drei Arten dynamischer Gesetze**

Es gibt drei Arten von Gesetzen, denen die Dynamik von Systemen unterliegt:

a) Ein differenzielles Gesetz, das im unendlich Kleinen wirkt. Es ist das fundamentale Gesetz. Das Gewebe der Wirklichkeit wird daraus verfertigt. In diesem Sinn ist es *DAS Naturgesetz* bzw. *die Weltformel*.

---

<sup>143</sup> Ich habe schon im zweiten Teil erwähnt, dass ich die Prozesse der sogenannten starken Wechselwirkung für Prozesse dieser Art halte.

Im allgemeinen Fall lässt sich der globale Zustand nicht algorithmisch komprimieren, d.h. es sind keine exakten Voraussagen über endlich ausgedehnte räumliche Bereiche möglich.

b) Die Gesetze der Entstehung von Ordnung. Sie sind rückkoppelnd und nichtlinear. Ihre Variablen entsprechen globalen Systemeigenschaften.

Die Verwendung globaler Variablen ist hier nicht auf einen Mangel an Kenntnis der lokalen Bedingungen zurückzuführen – auch deren vollständige Kenntnis würde zur Ermittlung der zeitlichen Entwicklung des Systems nicht genügen<sup>144</sup> –, sondern darauf, dass die zeitliche Entwicklung – d.h. die Gestaltbildung – in selbstorganisierenden Systemen durch den *globalen Zustand* bestimmt wird und daher ausschließlich mittels der Darstellung durch globale Parameter erfasst werden kann.

c) Strukturgesetze. Sie existieren auf Grund einer bereits bestehenden Ordnung. Durch sie kann die Dynamik von Systemen auf der Basis von Entitäten und deren Wechselwirkungen beschrieben werden, die Elemente einer höheren Schicht der Wirklichkeit sind, die also durch Gesetze der zweiten Art entstanden ist. Alle bekannten Wechselwirkungsgesetze sind Strukturgesetze.

Alle Strukturgesetze sind Wahrscheinlichkeitsgesetze. Wenn sie nicht als solche formuliert sind, sind sie nicht vollkommen genau.

### **Mögliche Abschwächungen der Voraussetzungen; Die Frage der Diskretisierung**

In den Beweis, dass der globale Zustand ein eigenständiges Element der Beschreibung bildet – was wiederum eine notwendige Voraussetzung der Selbständigkeit des Geistes und der Willensfreiheit ist – sind die Grundannahmen meines physikalischen Systems eingegangen: Raum und Zeit sind kontinuierlich, das Gesetz, das die Wirklichkeit erzeugt, ist differenziell. Die Wirklichkeit ist ein differenzielles Gewebe aus Änderungen der Raumzeit.

---

<sup>144</sup> Im Fall der einfachsten Formen des Seienden – jener also, die durch Selbstorganisation des Kontinuums entstehen – ist diese Behauptung unmittelbar einsichtig, weil die Gesamtheit der lokalen Bedingungen hier eine überabzählbare Menge ist. Aber auch für den Fall, dass es sich um Selbstorganisationsprozesse handelt, bei denen sich nicht das Kontinuum, sondern eine große Zahl von Objekten zu Mustern organisiert, wird durch Rückkopplung die Existenz eines Algorithmus zur Berechnung künftiger Systemzustände ausgeschlossen. Man denke wieder an das Beispiel zahlreicher Körper, die gravitativ aneinander gebunden sind.

Im Hinblick darauf, dass die gegenwärtige Physik von einer fundamentalen Quantisierung ausgeht, ist die Frage von Interesse, wie weit sich diese Voraussetzungen abschwächen lassen, ohne dass die Ergebnisse verloren gehen.

Wären Raum *und* Zeit diskret, dann wäre das Universum ein endliches algorithmisches System, und alles wäre determiniert. Es muss also zumindest angenommen werden, dass entweder der Raum kontinuierlich ist oder die Zeit. Sie lassen sich aber nicht voneinander trennen: Wenn eines von beiden diskret ist, dann ist es auch das andere. Es ist also notwendig, dass beide kontinuierlich sind.

Was ist mit der zur Zeit geltenden Sichtweise, dass eine endliche Anzahl von Entitäten *in* Raum und Zeit existieren und miteinander wechselwirken?

Das einfache Beispiel eines Systems zahlreicher Körper, die durch Newtonsche Gravitation aneinander gebunden sind, zeigt bereits, dass auch bei dieser Sichtweise kein Algorithmus existiert, der von der Gegenwart in die Zukunft führt. Also ist auch ein solches Universum nicht determiniert, und daher bleiben alle Schlussfolgerungen richtig, die hier durchgeführt wurden. Das gilt auch für den Fall, dass alle Wechselwirkungen quantisiert sind und dass alles Seiende nur eine diskrete Folge von Zuständen einnehmen kann: auch hier genügt die Annahme der Kontinuität des Raumes, denn aus ihr folgt, dass es für Seiendes unendlich viele mögliche Positionen im Raum gibt, wodurch abermals die Existenz eines Algorithmus ausgeschlossen wird. Allerdings wäre es auf Basis solcher Annahmen kaum möglich, den Unterschied zwischen Wirklichkeit und Beschreibung zu formulieren und zu verstehen.

## **Ergänzungen**

1. Gleichung (1) ist linear. Warum kann dann von einer Selbstorganisation des Kontinuums durch nichtlineare Rückkopplung die Rede sein?

Erstens deshalb, weil der Übergang vom unendlich Kleinen zum Endlichen – außer in idealisierten, vereinfachten Fällen – zugleich ein Übergang vom Linearen zum Nichtlinearen ist. Man denke z.B. an Wellen: Wellen sind eigentlich *immer* nichtlinear – eine Tatsache, die in der Praxis nur deshalb vernachlässigt werden kann, weil entweder die Amplituden klein gegen die Wellenlänge sind oder weil sich die Wellen gerade auf Grund nichtlinearer Rückkopplung so verhalten, als wären sie linear.

Was bei Wellen der Fall ist, gilt auch ganz allgemein: Gleichungen, die die Dynamik des Kontinuums beschreiben, müssen – falls sie exakt gelten sollen – nichtlineare Terme enthalten. Berücksichtigt man

diese Terme, dann ist man augenblicklich mit einer Komplexität konfrontiert, die mathematisch nicht beherrschbar ist.

Der zweite Grund ist, dass die nichtlinearen Gleichungen der Selbstorganisation ja gerade *nicht* aus Gleichung (1) folgen, sondern, wie vorher gezeigt worden ist, ein zweites, eigenständiges Element der Beschreibung sind.

2. Ich habe mich hier auf das Konzept der "Kausalität von oben" konzentriert. Selbstverständlich gibt es auch "Kausalität von unten" und "Kausalität auf gleicher Ebene". Über diese beiden Arten der Kausalität muss aber nichts weiter gesagt werden. Das einzige Problem besteht darin, dass gegenwärtig die Tendenz vorherrscht, sie für die einzigen beiden Arten von Kausalität zu halten.

Um "Kausalität von oben" – als notwendige Voraussetzung der Eigenständigkeit geistiger Phänomene – in ihr Recht zu setzen, sind jedoch, wie in diesem Kapitel gezeigt wurde, Änderungen der gegenwärtigen naturwissenschaftlichen Weltsicht erforderlich.

3. Zwischen den Gesetzen der Entstehung von Ordnung und den Gesetzen, in denen die Dynamik von Systemen auf die Wechselwirkungen der Elemente zurückgeführt wird, besteht ein weiterer wichtiger Unterschied:

Letztere genügen der üblichen Vorstellung von der zeitlichen Gerichtetheit der Kausalität: es wird von der Gegenwart – von den *jetzt gegebenen Bedingungen* – auf die Zukunft geschlossen.

Die Gesetze der Entstehung von Ordnung enthalten jedoch als wesentliches, charakteristisches Element den Begriff des *Attraktors*, d.h. eines Musters, *auf das hin* das System sich entwickelt; sie beziehen sich also auf eine Entität, die *jetzt noch nicht existiert*.

Das Attraktor-Konzept hat somit Ähnlichkeit mit der *causa finalis* – allerdings nur insofern, als der Attraktor, als Ursache aufgefasst, in der Zukunft liegt. (Zur Erinnerung: als Ursache muss er deshalb verstanden werden, weil die Entwicklung des Systems eben *nicht* aus der Gesamtheit der lokalen Bedingungen folgt.) Es existiert aber natürlich keine Absicht oder Planung, die das System dem Attraktor zustreben lässt. Echte Zweckursachen gibt es erst im Bereich des Geistes.



#### ***4.7. Das veränderte Bild der Wirklichkeit in der Übersicht***

Die Natur entfaltet sich von der Gegenwart in die Zukunft, indem sie an jedem Ort das differenzielle Gesetz (1) vollzieht.

Dieses zeitliche Voranschreiten der Wirklichkeit kann durch Beschreibungen nicht reproduziert werden, weil Beschreibungen die metaphysische Qualität *Aktivität* fehlt. Deshalb genügt es in der Beschreibung nicht, das Gesetz und die Anfangsbedingungen zu kennen. In der Beschreibung müssen Kenntnisse über endliche Bereiche vorhanden sein, damit die Zukunft aus der Gegenwart abgeleitet werden kann, d.h. es muss integriert werden, was aber im allgemeinen Fall nicht möglich ist.

Das bedeutet: Kein zukünftiger Zustand irgendeines Systems kann in einer Beschreibung vollständig abgeleitet werden. Die Zukunft ist in keiner Beschreibung enthalten.

Die Zukunft existiert also nicht, bevor sie eintritt, mit anderen Worten: zu keinem Zeitpunkt existiert eine Zukunft – weder genau eine noch mehr als eine. Die Wirklichkeit ist daher weder deterministisch noch nicht-deterministisch.

Hier offenbart sich abermals ein Unterschied zwischen der Wirklichkeit *an sich* und der Wirklichkeit in einer Beschreibung: Beschreibungen sind entweder deterministisch oder indeterministisch, aber die Wirklichkeit *an sich* fügt sich nicht in das Schema von Determinismus und Indeterminismus ein. Sie entzieht sich dieser Alternative. Obwohl die wirkliche Zukunft aus der wirklichen Gegenwart entsteht, folgt die Beschreibung der Zukunft nicht aus der Beschreibung der Gegenwart.

Wenn die Wirklichkeit weder deterministisch noch indeterministisch ist – was ist sie dann?

Diese Frage kann – wie immer, wenn nach der Wirklichkeit *an sich* gefragt ist – nicht direkt beantwortet werden, aber man kann sich der Antwort annähern, indem man die differenzielle Betrachtungsweise verlässt und sich den globalen (topologischen und metrischen) Verhältnissen zuwendet.

Da die Gesamtheit der differenziellen Gegebenheiten nicht für ein Verfahren ausreicht, um aus der Gegenwart die Zukunft zu erzeugen, wird die Beschreibung mittels globaler Parameter und Randbedingungen zum eigenständigen Element der Darstellung.

Diese Form der Beschreibung hat eine zweifache Bedeutung:

1. *Die Entstehung von Ordnung* kann durch nichtlineare rückkoppelnde Gleichungen repräsentiert werden, in denen die Entwicklung eines Systems durch zeitlich veränderliche globale Parameter dargestellt wird.

2. Geeignete Randbedingungen vorausgesetzt, gibt es im Phasenraum solcher Systeme Attraktoren, auf die hin das System sich entwickelt. *Alles, was existiert*, entspricht einem solchen Attraktor. Die Attribute eines Seienden sind somit nichts anderes als (annähernd) konstante globale Parameter, die sich darauf beziehen, wie der Attraktor seine raum-zeitliche Umgebung strukturiert.

Die globalen Bedingungen sind also sowohl für die Entstehung von Ordnung als auch für die auf Grund der entstandenen Ordnung bestehenden Gesetzmäßigkeiten verantwortlich: endliche Bereiche des Kontinuums ordnen sich zu Seiendem mit bestimmten Attributen und zu Strukturgesetzen (Wechselwirkungen), die zugleich mit diesem Seienden auftreten. Auf diese Weise bildet sich eine erste, elementare Schicht von *Existenz*, die aus Objekten und Strukturgesetzen (Wechselwirkungen) besteht.

Auch in dieser Schicht elementarer Objekte ist aber die Kenntnis der Gesetze und Anfangsbedingungen im allgemeinen Fall nicht hinreichend für die Ableitung der Zukunft. Dafür muss abermals zusätzliche Ordnung vorausgesetzt werden. Wie entsteht diese Ordnung? Auf dieselbe Weise wie zuvor: Unter geeigneten Randbedingungen organisieren sich die Objekte zu Strukturen und Formen, und es entsteht eine neue, komplexere Schicht von Objekten und Strukturgesetzen. Um diese Entwicklung zu verstehen, ist es wieder notwendig, von der lokalen auf die globale Betrachtungsweise überzugehen.

Dasselbe Spiel kann sich mehrfach wiederholen, wobei immer wieder neue Seinsebenen von zunehmender Komplexität entstehen. Auf allen Ebenen nähert sich die Wirklichkeit algorithmischer Beschreibbarkeit an, ohne sie aber jemals ganz zu erreichen.

Zurück zur Frage, welchen Status die Wirklichkeit in Bezug auf die Alternative Determinismus – Indeterminismus hat.

Die Gleichungen der Selbstorganisation durch Rückkopplung sind deterministisch, d.h. die zeitabhängigen globalen Variablen haben zu jedem Zeitpunkt eindeutige Werte. Die lokalen Details sind in diesen Gleichungen aber nicht enthalten; Die Gleichungen stellen also keine vollständige Beschreibung des Systems dar, und daher kann der Determinismus der Gleichungen nicht auf das dadurch beschriebene System übertragen werden. Es bleibt ein unvollständiger Determinismus, der lediglich das globale Langzeitverhalten des Systems betrifft.

Damit ergibt sich in Bezug auf die Frage "Determinismus oder Indeterminismus" folgendes Bild:

a) Die Gesamtheit der lokalen (differenziellen) Gegebenheiten ist für die Festlegung der Zukunft nicht ausreichend.

b) Die Beschreibung durch globale Parameter ist zwar deterministisch, jedoch werden die lokalen Unterschiede nicht berücksichtigt. Festgelegt wird dadurch nur die Gestaltbildung.

Die Verbindung beider Aussagen zeigt, wie das metaphysische Charakteristikum der Wirklichkeit *an sich*, weder determiniert noch nicht determiniert zu sein, sich auf der Seite der Beschreibung äußert:

In der differenziellen Betrachtungsweise folgt die Zukunft nicht aus der Gegenwart. In der globalen Betrachtungsweise ist die Entwicklung zwar determiniert, aber nur hinsichtlich der Entstehung von Form und Struktur. Will man die Wirklichkeit also im Schema deterministisch – indeterministisch einordnen, dann kann man ihr bloß einen qualitativen, sozusagen einen "weichen" Determinismus zuschreiben.

In dieser Sichtweise besteht zwischen dem an jedem Ort und zu jedem Zeitpunkt gesetzmäßigen Verhalten der Natur und der Annahme der Willensfreiheit kein Widerspruch mehr.

Weil die Wirklichkeit durch die Gesamtheit der lokalen (differenziellen) Sachverhalte nicht determiniert ist, wird der globale Zustand, ausgedrückt durch globale Parameter, zu einem eigenständigen Element der Beschreibung, und es kann außerdem behauptet werden, dass die Gesetze der jeweils komplexesten Schicht des Seienden, in denen die Attribute der Elemente dieser Schicht als Variablen auftreten, die dominanten Gesetze sind. Dadurch ist es möglich, das Prinzip der *Kausalität von oben* zu begründen, in dem sich die Dominanz der jeweils komplexesten Schicht des Seienden ausdrückt.

Bei uns selbst ist das die Schicht der geistigen Prozesse.

Mit diesen Aussagen ist das Verhältnis von lokaler und globaler Beschreibung geklärt: Beide hängen miteinander zusammen, sind aber dennoch eigenständige Verfahrensweisen. Keine ist aus der anderen ableitbar, ihr Zusammenhang ist nicht formalisierbar. Erst durch die Verbindung beider ist es möglich, zu einem Verständnis der Wirklichkeit zu gelangen, die sich der Alternative deterministisch – nicht-deterministisch entzieht und in der die Phänomene *Geist* und *Wille* den ihnen zustehenden Platz einnehmen können.

## Ein Aspekt von physikalischer, philosophischer und religiöser Bedeutung

Das, woraus alles entsteht, der *Ursprung alles Seienden*, ist für uns AGENS, das sich verändert.

In die Form eines Satzes gebracht wird er zum einfachst-möglichen Sachverhalt, als Gesetz ausgedrückt zur einfachst-möglichen Gleichung.

Wesentlich ist, dass hier das Prinzip der Notwendigkeit regiert, das die größtmögliche Einfachheit erzwingt. Deshalb ist an dem, was der *Ursprung des Seienden für uns* ist, nichts außer *Aktivität*, dem metaphysischen Grundprinzip der Wirklichkeit. Werden die notwendigen Voraussetzungen von Existenz, Raum und Zeit, hinzugefügt, dann nimmt der *Ursprung des Seienden* die Gestalt von Gleichung (1) an.

In der Physik, in der Philosophie und auch in den verschiedenen Religionen wird jedoch meist angenommen, dass die Ordnung, zu der sich das Universum entfaltet, in irgendeiner Form schon *am Anfang* vorhanden sein muss.

Die Schlussfolgerungen dieses Kapitels zeigen aber, dass diese Annahme falsch ist. Die Zukunft ist nicht in der Vergangenheit enthalten, und die zukünftige Ordnung ist daher ebenfalls nicht in der Vergangenheit enthalten.

Am Anfang, der aber nur als Beginn der Entfaltung, oder sagen wir besser: *einer* Entfaltung des Universums verstanden werden darf und nicht als Beginn seiner Existenz, gibt es nur das sich verändernde AGENS. Dieses ist bloß es selbst und nichts sonst – es ist nicht das All-Eine, es ist nicht Gott oder wie auch immer die Religionen den Urgrund der Wirklichkeit nennen. Es ist nicht das "Absolute", es ist kein Wille, keine Absicht, keine "allmächtige Vernunft"<sup>145</sup>, kein Ordnungsprinzip, auch nicht ein "Zustand minimaler Entropie"; es "enthält" nichts von dem, was in Zukunft sein wird.

Es ist bloß AGENS.<sup>146</sup>

---

<sup>145</sup> Max Planck, Religion und Naturwissenschaft, in: Vorträge und Erinnerungen, Darmstadt 1965, S. 331.

<sup>146</sup> Analog zur Definition des "Wesens des Seienden", die im Abschnitt 5.3 folgt, ist das Wesen des *Ursprungs des Seienden* dessen Einheit von Substanz und metaphysischer Qualität *Aktivität*, d.h. sein "An-sich-Sein", soweit dieses zum Begriff werden kann. Daher lässt sich immerhin behaupten, dass es im Wesen des *Ursprungs des Seienden* liegt, sich zu all den Arten des Seienden zu entfalten, die wir vorfinden, und auch zu all denjenigen Arten des Seienden, die überhaupt möglich sind.

Durch sein differenzielles Wirken entfaltet es sich in die Zukunft, indem es globale, geordnete Zustände erzeugt.

Gerade deshalb, weil das differenzielle Gesetz die einfachst-mögliche Gleichung und sonst nichts ist, kann sich dann aus ihm selbst und mittels der jeweils entstehenden Randbedingungen der größtmögliche strukturelle Reichtum entwickeln. Durch das einfachst-mögliche differenzielle Gesetz werden der globalen strukturellen Entfaltung die wenigsten Einschränkungen auferlegt.

### **Ergänzung: Weiterer Beweis der Unmöglichkeit von Zeitumkehr**

Wir betrachten ein Planetensystem zwischen zwei Zeitpunkten  $T_1$  und  $T_2$ . Nehmen wir an, wir filmen den Ablauf von einem Punkt aus, der auf der Geraden durch den Schwerpunkt des Systems normal zur Systemebene liegt und so weit entfernt ist, dass die Laufzeitdifferenzen des Lichts zwischen den verschiedenen Objekten des Systems und unserer Kamera fast verschwinden und daher bei den folgenden Überlegungen vernachlässigt werden können. Danach spielen wir den Film zeitlich umgekehrt ab.

Die Frage ist: Stellt der Film den zeitlich umgekehrten realen Vorgang dar?

Die Antwort ist *nein*. Folgendermaßen:

Nehmen wir an, der Prozess sei zeitlich umkehrbar, der rückwärts laufende Film zeige also tatsächlich den rückwärts laufenden Prozess. Alle Objekte bewegen sich entlang derselben Bahnen wie vorher, nur in umgekehrter Richtung. Dafür müssen zwei Voraussetzungen erfüllt sein:

1. Die Geschwindigkeit jedes Objekts ist im umgekehrten Ablauf an jedem Punkt seiner Bahn negativ gleich der Geschwindigkeit, die das Objekt an demselben Punkt im originalen Ablauf hatte.
2. Die Beschleunigung jedes Objekts ist im umgekehrten Ablauf an jedem Punkt seiner Bahn gleich der Beschleunigung des Objekts an demselben Punkt im originalen Ablauf.

Halten wir nun den Film im Vorwärtslauf zu einem beliebigen Zeitpunkt an, der einem Zeitpunkt  $T$  zwischen  $T_1$  und  $T_2$  im realen Vorgang entspricht. Greifen wir ein beliebiges Objekt  $A$  heraus. Den Ort, an dem es sich befindet, nennen wir  $O$ . Die Gesamtheit der Orte, an denen sich alle anderen Objekte zur Zeit  $T$  befinden, nennen wir die Konstellation  $K(O)$ .

Da die Gravitation aber eine gewisse Zeit braucht, um den Weg von irgendeinem der Objekte bis zum Objekt A zurückzulegen, geht die gravitative Wirkung, die das Objekt A in O zur Zeit T erfährt, nicht von der Konstellation  $K(O)$  aus, sondern von einer hypothetischen Konstellation  $K'(O)$ , die man erhält, wenn man von  $K(O)$  aus jedes Objekt auf seiner Bahn um genau diejenige Zeitspanne zurückversetzt, die die Gravitation benötigt, um von dort aus das Objekt A zur Zeit T am Ort O zu erreichen.

Nun betrachten wir den rückwärts laufenden Film. Wiederum halten wir ihn an, sobald die Konstellation  $K(O)$  auftritt. Auch jetzt gilt aber, dass die gravitative Wirkung, die das Objekt A in O zu diesem Zeitpunkt erfährt, nicht von  $K(O)$  ausgeht, sondern von einer hypothetischen Konstellation  $K''(O)$ . Die Konstellation  $K''(O)$  ist aber offensichtlich nicht identisch mit der Konstellation  $K'(O)$ : Um  $K''(O)$  zu konstruieren, müssen ja die Objekte auf ihren Bahnen von  $K(O)$  aus *in die jeweils umgekehrte Richtung* versetzt werden wie zuvor bei der Konstruktion von  $K'(O)$ .

Daraus folgt, dass im zeitlich umgekehrten Ablauf das Objekt A am Ort O *nicht* dieselbe Beschleunigung erfährt wie im ursprünglichen Ablauf an demselben Ort.

Somit gilt Folgendes:

Falls der Ablauf zeitlich reversibel ist, bewegen sich alle Objekte rückwärts in der Zeit entlang derselben Bahnen wie vorwärts. Das setzt voraus, dass in jedem Punkt der Bahn eines Objekts die Beschleunigung des Objekts für beide Zeitrichtungen identisch ist. Wie soeben gezeigt wurde, trifft das jedoch in keinem Punkt zu. Die Annahme der zeitlichen Reversibilität führt also auf einen Widerspruch; der Film, der rückwärts abläuft, zeigt keinen wirklich möglichen Vorgang.

Bezogen auf unser Beispiel kann der Unterschied zwischen dem tatsächlichen, zum Zeitpunkt T2 beginnenden zeitlich umgekehrten Prozess und dem rückwärts laufenden Film geradezu dramatisch sein:

Nehmen wir an, es handelt sich um ein System mit mehr als zwei schweren Gasplaneten, dessen Stabilität gering ist. Dann ist es möglich, dass im originalen Ablauf zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 alle Planeten auf ihren Bahnen bleiben, während im tatsächlichen umgekehrten Ablauf – im Gegensatz zum rückwärts laufenden Film – mehrere Planeten aus dem System geschleudert werden.

***Unsere Argumentation gilt für jede Wechselwirkung, die sich mit endlicher Geschwindigkeit ausbreitet. Damit ist der Beweis erbracht, dass Zeitumkehr grundsätzlich unmöglich ist. Es gibt keine "umgekehrten Trajektorien".***

## Bemerkungen

1. Der Beweis gilt nur für Relativbewegungen der Objekte eines Systems. Auf (gleichförmige) Bewegungen des ganzen Systems – d.h. des Schwerpunkts des Systems – ist er auf Grund der speziellen Relativität nicht anwendbar: ob das System *als Ganzes* bewegt ist oder nicht, ist physikalisch ununterscheidbar.

2. Natürlich gelten die thermodynamischen Argumente zur Irreversibilität weiterhin. Sie sind aber nur dazu geeignet, unter bestimmten Voraussetzungen eine Richtung der Zeit als die wahrscheinlichere auszuzeichnen, während das hier vorgestellte Argument für alle Systeme gilt, wodurch Irreversibilität als ontologische Notwendigkeit begründet wird.

3. Die wesentlichste Folgerung aus der obigen Argumentation lautet:

***Entgegen allgemeiner Überzeugung folgt aus der Zeitsymmetrie der Gleichungen, die einen physikalischen Vorgang beschreiben, nicht die Zeitsymmetrie dieses Vorgangs selbst.***

## 5. Qualia

### 5.1. Einleitung

Nun sind wir endlich bei der Frage angelangt, die das eigentliche Geheimnis des Geistes in sich birgt: der Frage nach dem Grund der Verwandlung eines Netzes von Information in eine Welt der Empfindungen.

*Wie wird die Information zur Empfindung? Auf welche Weise verwandelt sich der Automat in ein empfindendes Wesen? Was ist der Unterschied zwischen beiden?*

Für alles, was bisher über Geist gesagt wurde, war es ausreichend, die geistige Tätigkeit als Informationsverarbeitung aufzufassen. Die Eigenständigkeit und Dominanz des Geistigen sowie die Existenz der Willensfreiheit ließen sich damit begründen.

Jetzt aber, wo danach gefragt ist, wie eine Abfolge neuronaler Muster zu einem Strom von Erlebnissen wird, kann eine Antwort, die sich nur auf diese Annahme stützt, nicht mehr genügen: Solange man davon ausgeht, dass mentale Prozesse nichts als Informationsverarbeitung sind, bleibt man im Bereich der Informationsverarbeitung gefangen. Daran ändert sich auch nichts, wenn man Repräsentationen vernetzt, oder Repräsentationen von Repräsentationen – also höhere Stufen der Informationsverarbeitung – bildet, oder die Information auf sich selbst zurückwirken lässt: Gleichgültig, welche Funktion man auf Information anwendet – das Ergebnis ist immer bloß Information und sonst nichts. In dieser Betrachtungsweise kann sich keine Verwandlung ereignen. Die Information "rot" wird nicht zur Empfindung *rot*, die Information "Druck" wird nicht zur Empfindung *Schmerz*.

Es gilt also:

Die Annahme, dass Geist Informationsverarbeitung ist, ist für die Ableitung der Willensfreiheit notwendig und hinreichend.<sup>147</sup> Für die Begründung der Qualia ist sie jedoch bloß notwendig und nicht hinreichend.

Das bedeutet zugleich: Die Annahme, Geist sei *nichts als* Informationsverarbeitung, ist falsch.

Zunächst ist zu klären, warum Qualia in keiner Beschreibung enthalten sind. Danach werden wir uns der Frage zuwenden, warum aus einem physikalisch-physiologischen Zustand ein Quale wird.

---

<sup>147</sup> Das gilt aber nur für Informationsverarbeitung in *biologischen* neuronalen Netzen. Mehr darüber später.



## **Bedeutung**

Geistige Zustände beziehen sich aufeinander. Bei Begriffen ist das selbstverständlich, aber es gilt auch für Wahrnehmungen: selbst wenn sie ein Objekt repräsentieren, ist ihr Inhalt nicht nur durch dieses Objekt bestimmt, sondern auch durch die Vernetzung mit anderen Elementen der geistigen Wirklichkeit.

Repräsentationen, die nicht vernetzt sind, sind auch keine geistigen Zustände. Der Roboter Hans (Abschnitt 2.2) repräsentiert die Eigenschaft eines Objekts, die wir als *rot* wahrnehmen, aber diese Repräsentation ist bei ihm kein geistiger Zustand.

Also ist *Vernetzung* der Repräsentations-Zustände eine notwendige Bedingung dafür, dass sie zu geistigen Zuständen aufsteigen können.

Um geistige Zustände von Repräsentations-Zuständen zu unterscheiden, werde ich den ***Informationsgehalt eines geistigen Zustands***, der eben nicht nur durch das repräsentierte Objekt oder den repräsentierten Sachverhalt definiert ist, sondern auch durch die Vernetzung mit anderen geistigen Zuständen, als ***intrinsische Bedeutung*** oder einfach nur als ***Bedeutung*** bezeichnen.

## ***5.2. Einschub: Seltsame Vermutungen***

In letzter Zeit bin ich bei meinen Recherchen so oft auf zwei falsche Hypothesen gestoßen, dass ich kurz darauf eingehen möchte. Ich sehe diesen Abschnitt aber nicht als Teil der ernsthaften Auseinandersetzung mit dem Thema "Qualia", sondern eher als unterhaltsamen Einschub, zu dem ich von einem Artikel verführt wurde, der sich auf diese beiden Hypothesen bezog und den ich so erheitend fand, dass mich die Lust überkam, mein Vergnügen mit jemandem zu teilen. (Ich komme gleich darauf zurück.)

Die erste Hypothese lautet folgendermaßen:

*Wenn bei einem Tier eine neuronale Struktur vorhanden ist, die einer Struktur ähnelt, ohne die Menschen keine Emotionen empfinden können, dann besteht Grund zur Annahme, dass auch dieses Tier zu Emotionen fähig ist.*

Der Fehler ist offensichtlich: eine notwendige Bedingung wird mit einer hinreichenden Bedingung verwechselt.

Konkret geht es um Zwischenhirnstrukturen, vor allem um die Amygdala, von der es heißt, sie Sorge für die "emotionale Färbung" neuronaler Prozesse – und das ist nicht etwa als Redensart gemeint, sondern als ontologische Behauptung, so als wären Emotionen bunt und die Amygdala ein Farbtopf.

Was ist die Amygdala? Ein Nervenknotten. Würde man ernsthaft fragen, was solche Strukturen wirklich leisten können, dann käme die Unzulänglichkeit dieser Malkastenvorstellung augenblicklich zum Vorschein:

Was können Nervenknotten leisten? Dreierlei. Sie können

1. Areale des Gehirns miteinander oder mit anderen physiologischen Strukturen (z.B. Gliedmaßen) verknüpfen,
2. Information intern verarbeiten und auf diese Weise Input-Output-Relationen herstellen,
3. das neuronale Netz mit einem der chemischen Regulationssysteme des Organismus verbinden.

Die ersten beiden Punkte illustrieren das, was einleitend festgestellt wurde: Sie führen offensichtlich nicht aus dem Kreis der Information hinaus, und das Auftreten von Emotionen bleibt ungeklärt.

Kommen wir also zum dritten Punkt. Was ist mit chemischen Regulationssystemen gemeint? Z.B. das Transmittersystem, oder das endokrine System. Durch die Verbindung des neuronalen Netzes mit diesen Systemen erfahren neuronale Aktivitäten – und damit zugleich die dadurch repräsentierten Objekte oder Situationen – eine *Bewertung*, in dem Sinn, dass dadurch bestimmte Verhaltensweisen ausgelöst oder modifiziert werden, die sich grundsätzlich in zwei Klassen unterteilen lassen: Anstreben oder Vermeiden.

Können neuronale Strukturen, die Information und Verhalten auf diese Art miteinander verbinden, das Auftreten von Emotionen verursachen? Nimmt man das an, wird man sofort zu absurden Konsequenzen geführt. Solche Strukturen finden sich nämlich in *jedem* Organismus, also auch im einfachsten, weil sie für das Überleben notwendig sind. Jedes Tier muss unterscheiden können, was für sein Überleben günstig ist oder ungünstig; es muss Gefahren ausweichen und Nahrung aufsuchen.

Auch ein Fadenwurm hat ein sogenanntes "Belohnungssystem", und gemäß der erwähnten Hypothese müssten wir nun vermuten, er wäre zu Emotionen fähig. Angesichts seiner äußerst geringen Zahl von Neuronen ist das aber wenig plausibel.

Falls aber irgendjemand meint, es wäre doch möglich, könnte man ihm/ihr folgendes Gedankenexperiment präsentieren:

Nehmen wir an, wir konstruieren einen Roboter – nennen wir ihn *Susi* – der sich wie folgt verhält:

Wenn Susi zart berührt wird, dann gibt sie Wohllaute von sich und rollt näher heran. Übt man dagegen einen festeren Druck aus – so stark, dass er einem Menschen schon unangenehm wäre –, dann verharrt sie auf der Stelle und sagt "au". Drückt man schließlich noch fester zu oder schlägt Susi, dann jammert sie und rollt schreiend davon.

Es ist klar, dass Susis Verhalten mit einfachsten Mitteln zu erzeugen ist. Ein optischer Sensor, ein Drucksensor sowie etwas Elektronik und Mechanik wären ausreichend. Susi hat also mit Sicherheit keine Empfindungen. Aber sie hat eine Struktur, die Information mit Verhalten verknüpft, so dass Annäherung oder Flucht ausgelöst wird. Mit anderen Worten: Susi hat ein Belohnungssystem!

Man könnte also die Äußerung von Victoria Braithwaite, die die Frage untersucht, ob Fische Schmerzen fühlen<sup>148</sup>: "Auch wenn die entsprechenden Strukturen und Funktionen sehr viel einfacher sind als im limbischen System des Menschen, ist die Entdeckung des Fischäquivalents eine äußerst wichtige Erkenntnis" durch den Satz paraphrasieren: "Auch wenn die entsprechenden Strukturen und Funktionen sehr viel einfacher sind als beim Menschen, ist die Entdeckung des Susiäquivalents eine äußerst wichtige Erkenntnis."

Die erste der beiden Hypothesen, die ich hier kritisiere, ist also sicher falsch. Eigentlich war es überflüssig, das so ausführlich zu erläutern, weil ja schon vorher klar war, dass auf Basis der gegenwärtigen naturwissenschaftlichen Interpretation von Geist die Existenz bestimmter neuronaler Strukturen eben nur eine notwendige und keine hinreichende Bedingung für das Auftreten von Empfindungen ist. Dass bei den Versuchen, Qualia zu erklären, dieser wichtige Unterschied oft zuwenig beachtet wird, bezeugt im Grunde nur den Erklärungsnotstand der Naturwissenschaft, der allerdings im derzeitigen naturwissenschaftlichen Weltbild unvermeidlich ist.

Nun zur zweiten Hypothese. Sie lautet:

*Wenn bei einem Tier Verhalten zu beobachten ist, das bei einem Menschen auf eine Empfindung hinweist, dann ist das ein Grund für die Annahme, dass auch dieses Tier etwas empfindet.*

Um diese Hypothese zu widerlegen, genügt es, an den Roboter Hans zu erinnern, der sich so verhält, *als ob* er die Empfindung *rot* hätte, oder an Susi, die sich so verhält, *als ob* sie sich wohl fühlen oder Schmerz empfinden würde.

---

<sup>148</sup> Zitiert nach Spiegel online, <http://www.spiegel.de/spiegel/0,1518,749108,00.html>

"Der Tierverhaltensforscher Robert Elwood von der Queen's University in Belfast beträufelte die empfindlichen Fühler von Steingarnelen mit Essigsäurelösung. Bis zu fünf Minuten lang rieben die Krustentiere die misshandelten Körperteile – Elwood zufolge eine Reaktion, die an das Schmerzverhalten von Säugetieren erinnere."<sup>149</sup>

Ja, das ist wahr, genauso wie das Verhalten von Hans und Susi an das Verhalten von Kindern erinnert. Falls Elwood aber meint, seine Beobachtung sei ein Argument dafür, dass Krustentiere etwas empfinden – und das meint er wohl, denn wozu hätte er sich sonst in dieser Weise geäußert – dann muss man ihn darüber aufklären, dass aus seiner Beobachtung ausschließlich hervorgeht, dass sich Steingarnelen ihre Fühler reiben, wenn diese mit Essigsäure benetzt worden sind, und sonst nichts.

Es ist schon erstaunlich, dass solche Äußerungen überhaupt Beachtung finden. Aus dem Reiben der Fühler lässt sich doch ganz offensichtlich nichts anderes schließen, als dass ein bestimmter Reiz ein zugehöriges Verhalten auslöst, das auch länger andauern kann, als der Reiz besteht. Alles weitere ist keine Schlussfolgerung, sondern der Ausdruck subjektiver Neigungen.

Nur um nicht missverstanden zu werden: Wenn eine Person – nennen wir sie Robert – ihre Garnele lieber umarmt statt sie zu verspeisen, oder wenn eine andere Person – nennen wir sie Victoria – ihr Glück mit einem Fadenwurm teilen möchte, dann wäre ich der Letzte, der diese Beiden daran hindern wollte; – und damit ist es mir wirklich ernst, denn ich halte die Buntheit und Vielfalt im Garten des Menschlichen für einen hohen Wert, und ich fände es bedauerlich, wenn sein Boden durch unseren Rationalisierungs- und Optimierungswahn so sehr vergiftet würde, dass darauf nur noch die Gier nach Geld, Macht und Lust gedeihen könnte.

Aber ich würde Robert und Victoria vorschlagen, doch einfach ihren Neigungen zu folgen, und nicht zu versuchen, sie auf scheinbar rationale Weise zu begründen.

Zuletzt, als heiterer Abschluss, noch eine Äußerung, die vom Autor des zitierten Artikels selbst stammt:

"Das Fehlen der Großhirnrinde allein scheint vielen Experten [...] inzwischen nicht mehr ausreichend zu sein, um bewusste Empfindungen ausschließen zu können. Zweifel an der alten Lehrmeinung nähren nicht zuletzt verblüffende medizinische Fallgeschichten: Gelegentlich berichten Neurologen von Menschen mit nur halbem Großhirn. Wo bei anderen graue Zellen schwatzen, schwappt bei ihnen nur Nervenwasser – und dennoch sind sie nicht selten hochintelligent und sozial unauffällig."

---

<sup>149</sup> Aus demselben Artikel.

Ja, und wenn man einen dreibeinigen Hund laufen sieht, dann fragt man sich doch unwillkürlich, ob die alte Lehrmeinung, dass Hunde zum Laufen Beine brauchen, nicht längst revidiert werden müsste!

### ***5.3. Warum Qualia in keiner Beschreibung enthalten sind***

#### **Noch einmal: das Problem**

Das Versagen der gegenwärtigen naturwissenschaftlichen Sicht des Zusammenhangs zwischen neuronalem Netz und Geist offenbart sich in der Gegenüberstellung der folgenden beiden Sachverhalte. Beide sind so weit abgesichert, dass sie den Status von Fakten beanspruchen können.

1. Gleichgültig, auf welche Weise man das Gehirn oder einen Bereich des Gehirns beschreibt oder analysiert, man wird stets nur Informations- oder Repräsentationszustände finden und niemals ein *Quale*.

2. Das neuronale System bringt *Qualia* hervor. Seine Zustände *sind* Qualia.

Das *Ding*, das beobachtet und beschrieben werden kann, ist ein *dynamisches neuronales Erregungsmuster*. Es kann eingesehen werden, dass dieses Muster etwas *repräsentiert*. Aber das, was dieses neuronale Muster *eigentlich ist* – das *Quale* – scheint die Dinglichkeit des Beschriebenen auf unerklärliche Weise zu transzendieren.

Woher stammt diese unaufhebbare Differenz zwischen dem, was es *ist*, und dem, als was wir es *beschreiben*?

Ich denke, durch die letzte Formulierung ist klar geworden, wo die Erklärung zu finden ist: In der Analyse des Verhältnisses von *wirklich existierenden Dingen* und *Dingen in einer Beschreibung*, die am Beginn des zweiten Teils (im Abschnitt 1.3) durchgeführt wurde. Der nun folgende Unterabschnitt enthält eine kurze Wiederholung mit einigen Ergänzungen.

#### **Substanz und Akzidens; das Wesen des Seienden**

Die Wirklichkeit besteht *für uns* aus *Dingen*, die *Eigenschaften* haben. Was bleibt übrig, wenn man sich von einem Ding alle Eigenschaften entfernt denkt? Offensichtlich *nichts*, da ein Ding ohne Eigenschaften nicht existiert.

*Nichts* kann aber keine Eigenschaften haben. Was müssen wir aus diesem Widerspruch schließen? Dass das wirklich existierende Ding, das *Ding an sich*, nicht dem Ding in der Beschreibung, dem *Ding für uns* entspricht.

Worin besteht der Unterschied?

Ein wirklich existierendes Objekt kann nicht verschwinden, wenn ihm alle Eigenschaften genommen werden – eben deshalb, weil *nichts* keine Eigenschaften haben kann –, während ein Objekt, das nur Element einer Beschreibung ist, tatsächlich vollständig verschwindet, wenn alle Eigenschaften entfernt werden.

Dieser Unterschied lässt sich folgendermaßen ausdrücken:

Wirklich existierende Objekte bestehen aus *Substanz und Akzidenzien*, Objekte in einer Beschreibung bestehen *nur aus Akzidenzien*.

Jede Beschreibung handelt ausschließlich von Akzidenzien. Eine Beschreibung ist immer ein Netz von Beziehungen zwischen Objekten, die durch diese Beziehungen definiert sind. Die Objekte bestehen ausschließlich aus dieser Definition, sie *sind nichts als diese Definition*, und deshalb verschwinden sie vollständig, wenn die Eigenschaften entfernt werden, die ja die Voraussetzungen der Beziehungen sind.

Die Substanz kann also in der Beschreibung nicht auftreten. Sie wird durch die Annahme der Existenz des Beschriebenen bloß vorausgesetzt. Dieser Mangel der Beschreibungen ist unaufhebbar. Er bildet eine unüberwindliche Grenze unseres Denkens.

Der Unterschied zwischen Wirklichkeit und Beschreibung kann aber noch auf eine andere Art bestimmt werden:

Es gibt kein Objekt, das bloß existiert; Existieren bedeutet wechselwirken, und wechselwirken bedeutet aktiv sein. Ein Objekt, das nicht *aktiv* ist, existiert nicht.

In der Beschreibung kann zwar die *Art* der Aktivität eines Objekts durch dessen Eigenschaften wiedergegeben werden, aber *die Aktivität selbst* fehlt; Objekte einer Beschreibung sind stets *passiv*.

Das, was Beschreibungen fehlt, lässt sich also durch zwei Begriffe fassen: *Substanz* und *Aktivität*.

Diese beiden Begriffe sind untrennbar miteinander verbunden. *Vor* allem Seienden stellt ihre Verbindung genau das dar, was *für uns* der *Ursprung des Seienden* ist: Die erste Substanz. Ich nenne sie AGENS. *Für uns* wird ihre metaphysische Qualität *Aktivität* zum ersten Akzidens "Aktivität". Beides zusammen ist Aktivität *von* AGENS.

*Am Seienden selbst* ist die Substanz nicht nur die Bedingung seiner Existenz, sondern zugleich dasjenige, wovon die metaphysische Qualität *Aktivität* des Seienden ausgeht, die die jeweiligen Akzidenzien antreibt – aber nur in der Wirklichkeit; in der Beschreibung verlieren die Akzidenzien diese Qualität.

Ich habe schon einige Male vom *Wesen* eines Seienden gesprochen. Ich hole nun die Definition dieses Begriffs nach:

**Definition:**

*Das Wesen eines Seienden ist dieses Seiende als Einheit von Substanz und Akzidenzien. Es ist das "Ansich-Sein" des Seienden, soweit dieses zum Begriff werden kann.*

Das Wesen des Seienden kann nicht gedacht werden. Es bleibt aber auch nicht verborgen. Es ist möglich, sich ihm gedanklich zu nähern. Ich will das am Beispiel des Wesens des physikalischen Seienden demonstrieren.

Die erste Substanz ist AGENS. Auch wenn AGENS nicht gedacht werden kann, wissen wir doch etwas darüber: wir erkennen, dass demjenigen, was nach dem Entfernen aller Eigenschaften von einem Ding übrig bleibt, zwar nicht mehr *Existenz* zuerkannt werden kann, dass es aber dennoch nicht einfach dem rein begrifflichen Nichts entspricht, weil das begriffliche Nichts keine Eigenschaften haben könnte. Deshalb muss AGENS vom begrifflichen Nichts unterschieden werden.

Diese Unterscheidung macht es nun wiederum möglich, den *ontologischen Status* der ersten Substanz zu bestimmen:

Die erste Substanz kann nicht *Nichts* sein. Da ihr alle Akzidenzien fehlen, kann sie aber auch nicht *Etwas* sein. Somit ist ihr ontologischer Status weder der des *Seins* noch der des *Nicht-Seins*, sondern der der *Notwendigkeit* – einfach deshalb, weil das Weder-Etwas-noch-Nichts-Sein keine Alternative hat. Würden wir die erste Substanz als nicht vorhanden denken, dann hätten wir als ihren ontologischen Status *Nichts* gewählt, d.h. eine der beiden Alternativen, die wir zuvor ausgeschlossen haben.

Schon bei diesen ersten Schritten wird ein wenig klarer, was mit "gedanklicher Annäherung" an das eigentlich Undenkbare gemeint ist.

Wiederholen wir noch einige weitere Schritte der Ableitung, die in den Anfangskapiteln des zweiten und dritten Teils durchgeführt wurde:

Aktivität bedeutet Veränderung. Um jedoch eine Aussage zu erhalten, aus der die Beschreibung der Wirklichkeit folgen kann, werden zwei verschiedene Änderungen benötigt. Da der Raum eine notwendige Bedingung der Wirklichkeit ist, und weil es ohne Bewegung keine Änderung gibt, muss die eine Änderung zur Änderung des Raums werden und die andere zur Änderung der Bewegung.

Da es keine Größe gibt, können die Änderungen nur relativ sein und sich auf kein absolutes Maß beziehen. Da es kein Gedächtnis gibt, muss sich die zeitliche Änderung der Bewegung auf den differenziell benachbarten Augenblick in der Vergangenheit beziehen, d.h. sie muss als Differenzialquotient  $dv/dt$  ausgedrückt werden.

Auf diese Weise gelangt man zur Vorstellung eines metrischen Kontinuums, das aus beschleunigten Flüssen besteht, wobei die Beschleunigung von der Änderung der relativen räumlichen Dichte (der Länge oder des Winkels) abhängt.

Das bedeutet, dass alles Seiende ein Muster aus Veränderungen der Bewegung des Kontinuums ist, und da alles Seiende eine gewisse Zeitspanne hindurch seine Form annähernd beibehält, bedeutet es zugleich, dass alles Seiende entweder ein Attraktor der lokalen Kontinuumsdynamik ist oder ein Teil eines Attraktors der globalen Kontinuumsdynamik.

Damit ist eine weitere Annäherung an das Wesen des physikalischen Seienden erfolgt. Die erste Substanz AGENS ist durch die soeben durchgeführten Schlussfolgerungen zu einem Raum-Zeit-Kontinuum geworden, und das erste Prädikat *Veränderung* hat die Gestalt von Gleichung (1) angenommen, die das Gesetz dieses Kontinuums darstellt und die das ausdrückt, was die physikalische Wirklichkeit *für uns* ist: ein Gewebe aus differenziellen raumzeitlichen Änderungen.

Verweilen wir noch ein wenig beim Begriff des Kontinuums, denn an ihm lässt sich besonders klar demonstrieren, in welchem Maß und bis zu welcher Grenze der direkt nicht denkbare Begriff der *Substanz* sich unserem Denken indirekt erschließt.

Was ist ein Kontinuum? Betrachten wir der Einfachheit halber ein eindimensionales Kontinuum. In der Standardanalysis stehen die Punkte dieses Kontinuums in einer umkehrbar eindeutigen Beziehung zu den reellen Zahlen. Damit wird suggeriert, dass Punkte *existieren*. Punkte haben aber keine



Existenz! Wenn wir also sagen: im Kontinuum gibt es einen beschleunigten Fluss, dann ist diese Aussage nur mathematisch sinnvoll; Wird sie aber ontologisch aufgefasst, dann ist man doch augenblicklich wieder mit der Tatsache konfrontiert, dass sich eigentlich *nichts* bewegt.

Eine andere Frage ist die, welche Zahlen nun tatsächlich den Punkten des Kontinuums zugeordnet werden können. Es mag zunächst überraschend erscheinen, dass es nicht die rationalen Zahlen sind, da diese doch schon *dicht* liegen, d.h. dass zwischen zwei rationalen Zahlen, gleichgültig, wie nah sie aneinander sind, immer unendlich viele andere rationale Zahlen liegen. Dennoch gibt es, wie sich leicht nachweisen lässt, immer noch Platz für überabzählbar viele weitere, nämlich die irrationalen Zahlen.

Und dann?

Lange Zeit meinten die Mathematiker, dass dann die Zahlen vollständig wären, und dass, wenn sie als Punkte einer Geraden gedacht werden, alle möglichen Punkte der Geraden erfasst seien. In der Nicht-Standard-Analysis wird aber gezeigt, dass sich weitere Zahlen definieren lassen, die wiederum *zwischen* den bisherigen liegen. Dieser Prozess lässt sich *ad infinitum* fortsetzen. Es ist allein unsere Entscheidung, wann wir abbrechen.

Das bedeutet, dass das Kontinuum ein Grenzbegriff ist. Letztlich können wir uns keine Vorstellung davon machen: wenn wir es unterteilen, dann verlieren wir es – aber wir *müssen* es unterteilen, um es zu beschreiben.

Trotzdem ist nicht zu leugnen, dass die mathematische Formulierung des *beschleunigten Kontinuumsflusses* mehr an Information enthält als der sprachliche Ausdruck *Veränderung von AGENS*. Und genau diese Annäherung, diese Vermehrung an Wissen, die mit dem Nachdenken über das Wesen des Kontinuums verbunden ist, ermöglicht dann weitere Schlussfolgerungen über die daraus entstehende Wirklichkeit.

Wenn wir das Kontinuum erforschen, dann erfahren wir mehr über die Operationen, die in ihm möglich sind. Falls es unendlich viele sind, werden wir sie zwar niemals alle kennen, aber es gibt auch keinen Grund für die Annahme, dass uns eines seiner Akzidenzien aus prinzipiellen Gründen verborgen bleibt. Wir können mit einiger Sicherheit ausschließen, dass die erste Substanz irgendein Geheimnis birgt, das sich unserem Verständnis für immer entzieht.

Damit ist das Verhältnis zwischen unserem Denken und dem Begriff des Wesens des Seienden bestimmt:

Das Wesen des Seienden kann *als solches* nicht gedacht werden, da sich weder die Substanz selbst noch die Einheit von Substanz und Akzidens – das Kontinuum, das nur als sich Veränderndes existiert – denken lässt.

Andererseits sind aber die Akzidenzien als *Äußerungen* der Substanz aufzufassen, und es gilt: Was auch immer das Wesen des Seienden an *Aktivität* enthält, das *muss* sich als Akzidens äußern, denn andernfalls *wäre* es nicht. Deshalb kann behauptet werden, dass sich uns das Wesen des Seienden, auch wenn es nicht gedacht werden kann, doch durch seine Akzidenzien erschließt.

Das Wesen des Seienden enthält also keine Geheimnisse. Alles, was an ihm ist, offenbart sich uns durch seine Akzidenzien. Es ist nicht denkbar, aber auch nicht verborgen.

Da alles Seiende ein Muster aus Veränderungen der Raumzeit ist, dem *Ursprung des Seienden*, erhebt sich die Frage, ob es auch dessen ontologischen Status *Notwendigkeit* und dessen metaphysische Qualität *Aktivität* enthält.

*Notwendigkeit* wird offensichtlich nicht vom *Ursprung des Seienden* auf das Seiende übertragen: als Muster kann es sich auflösen. Alles Seiende steht in der Alternative *Sein oder Nicht-Sein*. Notwendig ist nur, *dass* etwas existiert. *Was* existiert, ist jedoch nicht notwendig.

*Aktivität* jedoch, die metaphysische Qualität, überträgt sich vom *Ursprung des Seienden* auf alles Seiende. Sie äußert sich in Gestalt der jeweiligen Akzidenzien; Sie ist das Treibende hinter den Akzidenzien der wirklich existierenden Dinge, das, was die Akzidenzien der wirklich existierenden Dinge von den Akzidenzien der Dinge in einer Beschreibung unterscheidet.

## **Die Antwort**

Wir nehmen den Tisch wahr, und wir meinen, wir wüssten, was er ist. Wenn wir jedoch versuchen, die Frage, was er ist, bis an ihren Grund zu verfolgen, dann verschwindet das, was er ist. Genau dieses *Verschwinden der Substanz* hat sich in der Physik des zwanzigsten Jahrhunderts ereignet, und es hat sie in eine Krise gestürzt, von der sie zwar kaum noch ein Bewusstsein hat, von der sie sich aber bis heute nicht erholt hat, weil es ihr nicht gelungen ist, sich davon einen Begriff zu machen.

Wir nehmen die Wellen wahr, die sich zum Ufer hin bewegen, und wir meinen, wir wüssten, warum sie sich bewegen. Doch der Begriff der Energie ist für eine Erklärung ungeeignet, weil er bloß mathematisch definiert ist und keine Unterscheidung zwischen Wirklichkeit und Beschreibung er-

möglich. Auf die Frage, warum sich überhaupt irgendetwas bewegt, gibt es erst dann eine Antwort, wenn das Wesen der Wirklichkeit als *Aktivität* bestimmt worden und zugleich klar geworden ist, dass dieses Wesen beim Beschreiben der Wirklichkeit verloren geht.

Das bedeutet: Seiendes ist immer *mehr* als sein Begriff, mehr als das, als was es in unserer Wahrnehmung oder in unseren Beschreibungen erscheint. Es ist immer *Substanz und Akzidens*, und in der Wahrnehmung und in Beschreibungen treten *nur die Akzidenzien* auf.

Das, was Seiendes eigentlich ist, sein *Wesen*, die Einheit von Substanz und Akzidens, ist für uns undenkbar. Wir wissen also bei *keinem* Seienden, was es ist. Nur die Verwechslung von Wirklichkeit und Beschreibung, die uns bei materiellen Dingen so sehr zur Gewohnheit geworden ist, dass wir sie gar nicht mehr bemerken, vermittelt uns den Eindruck, wir wüssten es.

Der Tisch als wirklich existierender ist *mehr* als der Tisch, den wir wahrnehmen oder denken. Die Welle als wirklich existierende ist *mehr* als die Welle, die wir beschreiben.

Und damit sind wir nun endlich bei der Antwort auf die Frage, warum ein *existierendes* neuronales Erregungsmuster *mehr* ist als ein *gedachtes* neuronales Erregungsmuster.

Es ist nach dem soeben Gesagten weder erstaunlich noch unverständlich, dass Zustände des neuronalen Netzes nicht bloß das sind, als was sie in unserer Beschreibung erscheinen, sondern selbstverständlich und notwendig. Sie *müssen* mehr als das sein, weil ihre Beschreibung nur den Teil des Zustands enthalten kann, der durch eine Beschreibung erfassbar ist, also das *Akzidens*.

Was ist in diesem Fall das Akzidens? Das, was begrifflich erfasst werden kann, also die *Definition* des betreffenden Objekts, und die besteht im Fall eines neuronalen Musters aus der Information, die darin enthalten ist, also aus seiner *intrinsic* Bedeutung.

Damit sind wir zu folgender Erkenntnis gelangt:

Geistige Zustände haben einen Informationsgehalt und einen Empfindungsgehalt. Der Informationsgehalt, die *Bedeutung*, ist ihr *Akzidens*.

Wie alles, was existiert, besteht aber auch ein geistiger Zustand nicht nur aus *Akzidenzien*, sondern auch aus *Substanz*. Er ist also *mehr* als nur Bedeutung.

Was fehlt in der Beschreibung von diesem "Mehr-Sein", was fehlt vom ganzen Sein, vom *Wesen* des geistigen Zustands? EMPFINDUNG. Also ist EMPFINDUNG die *Substanz* geistiger Zustände.

## Satz

***Geistige Zustände sind Qualia. Bedeutung ist ihr Akzidens, EMPFINDUNG ist ihre Substanz. Als solche ist sie in keiner Beschreibung enthalten.***

***Das Wesen des Quale ist die Einheit von EMPFINDUNG und Bedeutung.***

Damit haben wir den ersten Teil des Problems der Qualia gelöst: die Frage, warum neuronale Muster als *existierende* Entitäten **mehr** sind als die Objekte, als die sie in unseren Beschreibungen auftreten, und warum dieses "Mehr-Sein", das *Quale*, in keiner Beschreibung enthalten ist.

Wenden wir uns nun dem zweiten Teil des Problems zu: der Frage, warum die Substanz im Fall der Qualia nicht mehr dieselbe ist wie bei anderen Arten des Seienden.

### ***5.4. Die Verwandlung des Seienden vom materiellen Ding zum Quale***

#### **Erste und zweite Substanz**

Es ist nun klar geworden, warum wir RAUMZEIT als *erste* Substanz bezeichnet haben, und Veränderung als *erstes* Akzidens: Offenbar ist *Geist* ein Bereich der Wirklichkeit, in dem das Wesen des Seienden sich gewandelt hat: Seiendes besteht hier nicht nur aus anderen Akzidenzien, sondern auch aus einer anderen Substanz.

Ich bezeichne EMPFINDUNG, die Substanz der geistigen Zustände als ***zweite Substanz***, und ***intrinsische Bedeutung***, ihr Akzidens, als ***zweites Akzidens***.

Die zweite Substanz EMPFINDUNG ist aber nicht etwa als unabhängig von der ersten Substanz RAUMZEIT oder dieser gegenübergestellt zu denken: **die zweite Substanz geht aus der ersten Substanz hervor**. Wie dieses Hervorgehen des Geistes aus dem neuronalen Netz, diese Verwandlung des physikalischen Seienden zum Quale sich ereignet, ist Gegenstand der nun folgenden Untersuchung.

Klären wir zunächst die Frage, was von einer solchen Untersuchung zu erwarten ist.

Es ist zu fordern, dass erklärt wird, *warum* eine Verwandlung der Substanz stattfindet. Es kann aber nicht gefordert werden, dass die Erklärung eine Ableitung des Wesens der geistigen Zustände enthält;

Das ist jedoch eine selbstverständliche Einschränkung, weil etwas, was in keiner Beschreibung enthalten ist, auch nicht abgeleitet werden kann.

Allerdings stellt diese Einschränkung keine absolute Grenze dar, weil es – wie beim physikalischen Seienden – möglich ist, sich dem Wesen der geistigen Zustände gedanklich anzunähern, auch wenn es nicht gedacht werden kann; – Oder sagen wir besser: nicht *beschrieben* werden kann, denn wir *wissen* ja, was Qualia sind. Genau genommen sind Qualia sogar das einzige Seiende, von dem wir wissen, was es ist, weil unser Bewusstsein ein unaufhörlicher Strom von Qualia ist. Nicht nur, was wir fühlen, auch was wir denken und wahrnehmen ist ein Quale. Auch die abstrakteste geistige Tätigkeit wird von einem Interesse getragen und durch ein Motiv geleitet, und sowohl Interesse als auch Motiv sind Abkömmlinge von Empfindungen, von denen sie nicht getrennt werden können.

Wie also geht die zweite Substanz aus der ersten hervor? Warum verwandelt sich das Wesen des Seienden?

### **Der Grund für die Verwandlung**

Wir können von zwei Voraussetzungen ausgehen:

(1) Die Verwandlung des Wesens des Seienden vom materiellen Objekt zum Quale ereignet sich bei der Entfaltung der Natur zu Schichten ansteigender Komplexität, deren Gesetzmäßigkeiten im vorigen Kapitel beschrieben wurden.

(2) Der uns begrifflich zugängliche Teil dieses Aufstiegs ist jener Teil, der sich auf der Seite der Akzidenzien ereignet. Hier muss also die Argumentation stattfinden.

Zunächst eine Bezeichnung: Das Wesen des Seienden in demjenigen Bereich der Wirklichkeit, in dem es keinen Geist gibt, werde ich mit dem Begriff *Materie* bezeichnen. (Dieser Begriff von Materie enthält somit nicht – wie in der Physik üblich – ausschließlich die Akzidenzien, sondern auch die Substanz.)

Der Punkt, auf den wir unsere Aufmerksamkeit richten müssen, ist die Frage:

*Warum verwandelt sich das Wesen des Seienden erst mit der Herausbildung neuronaler Netze hoher Komplexität, die Geist hervorbringen, während es bis dahin durchgehend einheitlich zu sein scheint –*

*jedenfalls so weit, dass wir uns erst an diesem Punkt zur Einführung einer zweiten Substanz genötigt sehen?*

Es gelingt uns mit einigem Erfolg, die Phänomene, die wir in der materiellen Natur vorfinden, zu beschreiben. Dort, wo unser Wissen unvollständig ist, wie etwa bei der Entstehung von Leben, kann diese Lücke zumindest durch wissenschaftliche Hypothesen ausgefüllt werden. Die bei der Beschreibung der Natur auftretenden Probleme erscheinen meist als *technische* Schwierigkeiten, und niemals treffen wir auf ein Phänomen, das sich unserem Verständnis *prinzipiell* zu entziehen scheint – aber das gilt eben nur bis zu dem Punkt der Entfaltung der Natur, an dem neuronale Netze hoher Komplexität erscheinen.

Mit deren Erscheinen tritt ein Phänomen auf, das sich nicht nur der wissenschaftlichen, sondern überhaupt *jeder* Beschreibung entzieht: *Empfindung*.

Beginnen wir nun mit dem Gedankengang, der uns schließlich die *Notwendigkeit der Verwandlung* der ersten in die zweite Substanz einsehen lässt.

Was geschieht, wenn sich bei der Entfaltung der Natur zu Entitäten ansteigender Komplexität die Substanz verwandelt?

Die Antwort folgt aus der Definition der Substanz: Substanz ist ein Teil des Wesens des Seienden, und sie ist dasjenige, was aus Beschreibungen ausgeschlossen bleibt.

Wenn sich also die Substanz verwandelt, dann tritt uns Seiendes entgegen, dessen Wesen auf eine *neue* Art unverständlich ist, eine Art, die uns anders erscheint als die des Wesens des Seienden, dessen Substanz gleich bleibt.

Das klingt allerdings eigenartig und unbestimmt: Wie kann sich die Verwandlung von etwas, was in Beschreibungen nicht auftritt, äußern? Ist es sinnvoll, von verschiedenen Arten des Unbeschreibbaren zu reden?

Das, was geschieht, wenn sich das Wesen des Seienden ändert, und wie sich diese Änderung bemerkbar macht, lässt sich an Hand jenes Falls verdeutlichen, wo sie sich tatsächlich vollzieht: beim Übergang von Materie zu Geist.

Wie zuvor ausgeführt, können wir weder die Substanz des materiellen Seienden – das Raum-Zeit-Kontinuum – denken, noch sein Wesen, d.h. Materie als in der Zeit sich erhaltendes Muster aus raumzeitlichen Änderungen.

Aber unser Nicht-Wissen ist ein *bestimmtes* Nicht-Wissen. Wir haben das, was sich unserem Denken entzieht, bis an seine Grenze verfolgt und uns dadurch das Kontinuum so weit wie möglich erschlossen: Durch die Begriffe *Grenzübergang* und *Grenzwert* haben wir operational verfügbar gemacht, was wir nicht denken können.

Die methodischen Annäherungen an das eigentlich Unverständliche, bei denen wir so erfolgreich waren, dass wir schon beinahe vergessen konnten, dass es letztlich doch *da* ist, versagen jedoch vollkommen, wenn wir versuchen, sie auf das anzuwenden, was an demjenigen Seiendem unerklärbar ist, das unter den Begriff *Geist* fällt. Wir kommen weder der Substanz geistiger Entitäten – EMPFINDUNG –, noch ihrem Wesen – der Einheit von EMPFINDUNG und Bedeutung, dem Quale – irgendwie näher, wenn wir sie als Muster aus raum-zeitlichen Änderungen auffassen.

Diese Aussage muss allerdings präzisiert werden: Selbstverständlich *sind* geistige Entitäten Muster aus raum-zeitlichen Änderungen – *alles* Seiende ist ja ein solches Muster – aber der Ausdruck "sind" ist in dieser Aussage – anders als im Fall von Materie – nicht mehr im Sinn einer Wesensbestimmung zu verstehen: Das Wesen materieller Dinge ist dadurch bestimmt, dass sie raum-zeitliche Muster sind, aber das Wesen geistiger Dinge besteht darin, dass sie Qualia sind, und nicht darin, dass sie raum-zeitliche Muster sind.

Es kann also behauptet werden:

*Das Auftreten einer zweiten Substanz zeigt sich uns durch Phänomene, deren Wesen für uns auf eine neue Art unerklärbar ist, so dass die bewährten gedanklichen Mittel der Annäherung an das Unerklärbare versagen.*

Die "Mittel der Annäherung" sind aber nichts anderes als die mit der Substanz verbundenen Akzidenzien; Die Substanz äußert sich in ihren Akzidenzien, und sie erschließt sich uns durch deren Erforschung.

Damit haben wir *eine* Richtung des Zusammenhangs zwischen der Verwandlung der Substanz und der Änderung der Akzidenzien bestimmt:

*Wenn eine neue Substanz auftritt, dann ändern sich auch die Akzidenzien.*

Hier noch eine Kurzform der soeben durchgeführten Schlussfolgerung:

Die Akzidenzien des Seienden sind Äußerungen seiner Substanz. Als solche ermöglichen sie uns eine gedankliche Annäherung an die eigentlich undenkbbare Substanz. Wenn nun ein neues Seiendes mit

anderer Substanz auftritt, dann müssen die gedanklichen Annäherungen einem neuen Ziel zustreben, und das bedeutet, dass die Gedankengänge, die zur Erschließung der neuen Substanz benötigt werden, andere sein müssen als zuvor. Mit anderen Worten: die Akzidenzien müssen sich ändern.

Was ist mit der Umkehrung? Tritt eine neue Substanz auf, wenn sich die Akzidenzien ändern?

Es ist sofort zu sehen, dass das im Allgemeinen nicht gilt: Beim Aufstieg des Seienden treten in jeder neu entstehenden Schicht auch neue Akzidenzien auf, ohne dass sich die Substanz verwandelt. Eine Verwandlung der Substanz erfolgt erst bei der letzten, komplexesten Schicht der Wirklichkeit, bei Wesen, die über ein neuronales Netz verfügen, das hinreichend komplex ist, um Geist hervorzubringen.

Damit sind wir zur Bestimmung des logischen Ortes gelangt, an dem die Aufklärung der Frage nach der Verwandlung von Materie in Geist zu finden sein muss:

*Die Antwort auf die Frage, warum sich das Wesen des Seienden ändert – derart, dass aus Materie Geist hervorgeht –, muss sich aus der Analyse des Unterschieds ergeben, der zwischen der Art der Änderung der Akzidenzien des Seienden infolge der Herausbildung komplexer neuronaler Netze und der Art der Änderung der Akzidenzien infolge der Entstehung anderer, einfacherer Schichten des Seienden besteht.*

Worin besteht dieser Unterschied? Betrachten wir zunächst einige der Akzidenzien, die bei der Entstehung neuer Schichten des Seienden auftreten.

Beginnen wir mit einem Akzidens, das schon am einfachsten Seienden auftritt: *Gravitation*. Wenn *Masse* als dasjenige aufgefasst wird, *wovon* Gravitation ausgeht, dann ist Masse ein Teil der Substanz aller materiellen Objekte.

Im zweiten Teil ist gezeigt worden, dass die Gravitation eines Objekts direkt aus dem Gesetz des Kontinuums folgt, wenn der metrischen Dichte des Raums eine zusätzliche Bedingung auferlegt wird.

Das bedeutet aber nicht, dass irgendein Zustand eines realen physikalischen Systems der Art "materielle Körper mit ihrem Gravitationsfeld" aus einem Zustand des Universums *vor* der Entstehung von Teilchen, die Masse haben und von einem Gravitationsfeld umgeben sind, vollständig abgeleitet werden könnte.

Es gilt nur die wesentlich schwächere Behauptung, dass das Akzidens *Gravitation*, wenn es in idealisierter Form betrachtet wird – d.h. ohne jede Störung von außen und im vollständigen



dynamischen Gleichgewicht – als geordneter Zustand des longitudinalen Flusses erscheint und dass alle Auswirkungen, die dieser Fluss-Zustand auf andere Objekte hat, auf das Gesetz, aus dem er hervorgeht, zurückgeführt werden können.

In diesem Sinn ist also das Akzidens *Gravitation*, das in der ersten und einfachsten Schicht des Seienden auftritt, auf die darunter liegende Schicht – das Kontinuum mit seinem Gesetz – *reduzierbar*.

Auf der Seite der Substanz hat diese Reduzierbarkeit des Akzidens zur Folge, dass der Begriff "Masse" verlustfrei aus der Naturbeschreibung eliminiert werden kann. Es ist also nicht notwendig, Masse als neue Substanz, d.h. als neue, nicht denkbare metaphysische Wesenheit aufzufassen.

Betrachten wir nun ein Akzidens, das zu einer wesentlich komplexeren Schicht des Seienden gehört: als (willkürliches) Beispiel wählen wir die sogenannte *Gluconeogenese*, also die Bildung von Glukose in Zellen. Der Vorgang ist – wie die meisten Stoffwechselfvorgänge – äußerst komplex und besteht aus einer ganzen Reihe von Einzelprozessen.

In unserem Zusammenhang ist jedoch nur Folgendes von Interesse: Zwar wäre es ausgeschlossen, die Gluconeogenese aus irgendwelchen Zuständen des Universums abzuleiten, die es *vor* der Existenz von Zellen gab, aber es lässt sich doch behaupten, dass alle Schritte, die für die Bildung von Glukose in Zellen durchlaufen werden müssen, als *biochemische Prozesse* beschrieben und verstanden werden können.

In dieser Hinsicht unterscheidet sich also die Gluconeogenese, die als Akzidens von Zellen erscheint, nicht von der Gravitation, dem Akzidens aller materiellen Objekte: Beide können durch Rückführung auf die jeweils darunter liegende Schicht des Seienden verstanden werden. Sie erscheinen als *Funktion* dieser Schicht.

Noch ein letztes Beispiel: Prozesse, die in neuronalen Netzen stattfinden, die nicht dafür geeignet sind, Geist hervorzubringen. (Dass solche neuronalen Netze existieren, kann vorausgesetzt werden. Man könnte z.B. das Verhalten der Roboter Hans und Susi durch neuronale Netze modellieren, und das wären dann neuronale Netze dieser Art.)

Die Akzidenzien solcher Prozesse lassen sich unter dem Begriff *Informationsverarbeitung* zusammenfassen. Informationsverarbeitung besteht aus Input-Output-Relationen. Sofern diese nicht intern – durch Vernetzung mit anderen solchen Relationen und die damit gegebene Rückkopplung – verändert werden, sondern immer in (annähernd) identischer Form bestehen bleiben, können sie als Funktionen der vorgegebenen Architektur des neuronalen Netzes sowie äußerer Bedingungen aufgefasst werden.

Das Verhalten von Tieren, die neuronale Netze dieser Art haben, lässt sich dann ebenfalls als Funktion dieser Architektur sowie äußerer Bedingungen beschreiben.

Auch in diesem letzten Beispiel gilt also: Die Analyse der Akzidenzien zeigt, dass sie als Funktionen der darunter liegenden, einfacheren Schichten des Seienden verstanden werden können.

Wir sind somit zu folgender Einsicht gelangt:

*Bei allen evolutionären Übergängen zu neuen, komplexeren Schichten des Seienden – bis hin zu neuronalen Netzen, die keinen Geist hervorbringen – lassen sich die Akzidenzien, die in der jeweils neuen Schicht auftreten, als Funktionen von Akzidenzien einfacherer Schichten des Seienden beschreiben.*

Das letzte Beispiel hat uns bereits nahe an das Reich des Geistes herangebracht. Unternehmen wir nun den letzten Schritt. Stellen wir die Frage:

*Wodurch unterscheiden sich die Akzidenzien geistiger Zustände von den Akzidenzien des anderen Seienden? Folgt aus diesem Unterschied auch, dass sich – wie für die Erklärung der Verwandlung der Substanz gefordert –, beim Übergang vom Materiellen zum Geistigen die Akzidenzien auf eine andere Weise verändern als bei Übergängen, die im Bereich des Materiellen stattfinden?*

Nach dem bisher Gesagten liegt die Antwort auf der Hand:

Betrachten wir ein neuronales Netz, das Geist hervorbringt. Als notwendige Bedingungen dafür, dass neuronale Muster, die etwas repräsentieren – wir haben sie als Attraktoren der neuronalen Dynamik bestimmt – zu geistigen Zuständen werden können, wurden bisher genannt:

- Die Existenz funktionell ungebundener Bereiche, deren Dynamik für die Strukturierung durch solche Attraktoren offen ist.
- Die Vernetzung der Attraktoren untereinander.

Repräsentationen können sich auf äußere Bedingungen oder auf Körperzustände beziehen. Aber auch der Informationsgehalt eines neuronalen Zustands selbst kann repräsentiert werden. Solche Metarepräsentationen sind z.B. dann erforderlich, wenn Handlungsalternativen gegeneinander abgewogen werden.

Der für unsere Fragen entscheidende Punkt ist folgender:

Aus dem Hebbischen Gesetz folgt, dass die geistige Tätigkeit auf die neuronale Struktur zurückwirkt. Das bedeutet: Die geistige Tätigkeit verändert ihre eigene neuronale Codierung. Sie verändert *sich selbst*.

Die Forderung, dass Repräsentations-Zustände untereinander vernetzt sind, ist gleichbedeutend mit dem Auftreten von Rückkopplungsschleifen: Zustand A beeinflusst Zustand B, Zustand B beeinflusst Zustand C, der wiederum auf Zustand A zurückwirkt usw. Einerseits werden durch solche Rückkopplungsschleifen bestehende Muster verstärkt, andererseits können dadurch aber auch Verbindungen zwischen Mustern entstehen, die zuvor nicht in Verbindung standen. Der Informationsgehalt der neuronalen Muster ändert sich damit: er wird in zunehmendem Maß von den *internen* Beziehungen zwischen den neuronalen Mustern bestimmt, während die ursprüngliche funktionelle Abhängigkeit in den Hintergrund tritt: die Repräsentations-Zustände entwickeln sich zu intrinsischen Bedeutungen.

Das trifft sogar auf Wahrnehmungen zu: auch wenn sie als Repräsentationen realer Objekte inhaltlich an diese gebunden bleiben – das neuronale Abbild eines zweimal in identischer Lage beobachteten Objekts in der primären Sehrinde wird in beiden Fällen nahezu identisch sein –, sind sie doch *als geistige Zustände* keineswegs auf diese Repräsentations-Funktion beschränkt. Wahrnehmung schließt all das ein, was sich an Informationsverarbeitung im zugehörigen kortikalen Feld zusätzlich zur Verarbeitung der reinen sinnlichen Information ereignet, und ein Halo von zugehörigen Assoziationen ist ebenfalls Teil von Wahrnehmungen.

Bei geistigen Zuständen, die nicht direkt an äußere Objekte gebunden sind, gibt es überhaupt keine prinzipielle Einschränkung für die Veränderungen, denen sie im Kreis der inneren Weiterverarbeitung unterworfen sind. Bei Gedankengängen sind stets Überraschungen möglich: neue Schlussfolgerungen ergeben sich, neue Begriffsbildungen werden notwendig, Irrtümer müssen korrigiert werden. Im Bereich der Phantasie ist die Veränderung bestehender oder die Schöpfung neuer intrinsischer Bedeutungen sogar das charakteristische Merkmal, und die Beziehung zu äußeren Gegenständen verblasst oder reißt gänzlich ab.

Daraus folgt das gesuchte Unterscheidungskriterium:

*Intrinsische Bedeutung, das Akzidens geistiger Zustände, kann nicht als Funktion von Akzidenzien von einfacheren (atomaren, molekularen, biochemischen, neuronalen usw.) Schichten des Seienden verstanden werden.*

Ein geistiger Zustand gewinnt seine Bedeutung durch seine Position im Netz der geistigen Zustände, d.h. im Netz der Bedeutungen. Auch wenn Wahrnehmungen und Urteile an die reale Welt gebunden

bleiben, ist es infolge der permanenten Veränderung durch Rückkopplungsschleifen unmöglich, irgendeine Art funktioneller Abhängigkeit der Bedeutung geistiger Zustände zu behaupten.

Kurz zuvor hatten wir festgestellt:

*Bei allen evolutionären Übergängen zu neuen, komplexeren Schichten des Seienden – bis hin zu neuronalen Netzen, die keinen Geist hervorbringen – lassen sich die Akzidenzien, die in der jeweils neuen Schicht auftreten, als Funktionen von Akzidenzien einfacherer Schichten des Seienden beschreiben.*

Dies ist also der Unterschied, der dafür verantwortlich ist, dass sich die Substanz des Seienden – und damit auch sein Wesen – erst beim Übergang von Materie zu Geist verwandelt, während sie bei den anderen Übergängen von einer Schicht zur nächsthöheren unverändert bleibt.

Liefert dieses Kriterium aber auch eine *Erklärung* dafür, *warum* sich die Substanz des Seienden beim Übergang von Materie zu Geist ändert? Ja. Folgendermaßen:

Substanz und Akzidens sind *untrennbar* verbunden: ein Ding ohne Eigenschaften – physikalisch ausgedrückt: ein Objekt, das mit nichts anderem wechselwirkt – existiert nicht.

Das *erste Akzidens* ist mit der *ersten Substanz* verbunden. Was lässt sich über komplexe Akzidenzien und die zu ihnen gehörende Substanz sagen?

Wenn komplexe Akzidenzien auf einfachere Akzidenzien reduzierbar sind, dann heißt das, dass sie zuletzt auch auf das erste und einfachste Akzidens zurückgeführt werden können. *Für uns* ist *Reduzierbarkeit* jedoch gleichbedeutend mit *ontologischer Identität*: Wenn B auf A reduzierbar ist, dann *ist* B eigentlich A. Wenn also ein komplexes Akzidens auf das erste Akzidens reduzierbar ist, dann *ist* es eigentlich das *erste Akzidens*, und dann ist es untrennbar mit der *ersten Substanz* verbunden.

Das bedeutet: Solange die Akzidenzien reduzierbar sind, bleibt die Substanz gleich. Ebenso gilt umgekehrt: Solange die Substanz gleich bleibt, sind die Akzidenzien reduzierbar.

Und daraus folgt: ***Wenn Akzidenzien auftreten, die nicht auf einfachere Akzidenzien zurückgeführt werden können, dann muss die zugehörige Substanz verändert sein.***

Mit der Bildung dieser Akzidenzien ist also zugleich eine Verwandlung der Substanz erfolgt.

## Satz

**Solange sich Akzidenzien höherer Komplexität als Funktionen von Akzidenzien geringerer Komplexität beschreiben lassen, bleibt die Substanz gleich. Wenn dieser funktionelle Zusammenhang verschwindet, dann ändert sich die Substanz. Für uns erscheint sie dann als neue, zweite Substanz.**

Im Bereich der Materie ist die erste Bedingung erfüllt. Alles materielle Seiende kann als Attraktor der Dynamik von AGENS, als Muster raumzeitlicher Veränderungen aufgefasst werden. Dies ist das Wesen das materiellen Seienden.

Im Bereich des Geistes gilt die zweite Bedingung. Intrinsische Bedeutungen, die Akzidenzien geistiger Zustände, können auf keine Weise als Funktionen von Akzidenzien des zugrunde liegenden Seienden verstanden werden. Das Wesen des geistigen Seienden ist daher von dem des materiellen Seienden verschieden.

Damit ist die Frage vollständig geklärt, warum es bei der Entstehung von Geist aus Materie zugleich zu einer Verwandlung des Wesens des Seienden kommt.

## **Bemerkungen**

1. Der Kern der Argumentation, mit der die Verwandlung des Wesens des Seienden begründet wird, ist die Unterbrechung der Verbindung zwischen den geistigen Akzidenzien und dem ersten Akzidens. Damit zerreißt zugleich die Verbindung der geistigen Akzidenzien mit der ersten Substanz, wodurch die Annahme einer zweiten Substanz erzwungen wird.

Ich habe hier vorausgesetzt, dass "Verbindung" mit "Reduzierbarkeit" (des Akzidens, nicht des konkreten Systemzustands) gleichzusetzen ist. Es wäre aber auch möglich, die Annahme der Reduzierbarkeit durch die schwächere Annahme der *Erklärbarkeit* zu ersetzen. Sie könnte ebenso als Unterscheidungskriterium zwischen den Akzidenzien der Qualia und materiellen Akzidenzien dienen, weil sich die Bedeutung geistiger Zustände nur aus geistigen Zusammenhängen erklären lässt und nicht aus irgendwelchen materiellen Akzidenzien.

Obwohl die schwächere Annahme logisch vorzuziehen wäre, habe ich mich für Reduzierbarkeit als Unterscheidungskriterium entschieden, und zwar aus folgendem Grund:

Die Verbindung von Substanz und Akzidens ist metaphysischer Art: *Untrennbarkeit*. Wenn komplexe Akzidenzien mit der ersten Substanz deshalb verbunden bleiben, weil zwischen ihnen und dem ersten Akzidens eine Verbindung durch die dazwischen liegenden Akzidenzien vermittelt wird, dann muss dies die engste Verbindung sein, die in einer Beschreibung der Natur zwischen Akzidenzien verschiedener hierarchischer Ebenen möglich ist, und das ist eben Reduzierbarkeit.

2. Der Inhalt des soeben abgeleiteten Satzes lässt sich auch so ausdrücken:

Was in der Beschreibung der Wirklichkeit als Rückführbarkeit der Attribute komplexer Objekte auf die Attribute einfacherer Objekte erscheint, äußert sich in der Wirklichkeit selbst als Identität der Substanz: die Substanz bleibt RAUMZEIT, was sich ereignet kann (letztlich) als *physikalischer Prozess* verstanden werden.

Was sich hingegen in der Beschreibung als formale Unabhängigkeit von Attributen zeigt, bedeutet ontologisch die Änderung der Substanz und die Verwandlung des Seienden: die Substanz wird EMPFINDUNG, das Geschehen muss als *geistiger Prozess* aufgefasst werden.

3. Der Grund für die Verwandlung des Seienden lässt sich auch auf einfache und intuitive Weise einsehen:

Wenn die funktionellen Abhängigkeiten neuronaler Zustände von ihren materiellen Voraussetzungen bei ihrer Umwandlung in geistige Zustände verblassen und schließlich ganz verschwinden, dann heißt das, dass sich hier ein Bereich des Universums vom Rest des Universums abkoppelt. Es entsteht ein neues, eigenständiges Universum, ein *Universum von Qualia*.

Bedeutungen sind die Akzidenzien der Entitäten dieses Universums. Sie müssen mit einer Substanz verbunden sein, und ihre Trennung vom Rest des Universums und dessen Substanz RAUMZEIT lässt vermuten, dass zu diesen neuen Akzidenzien eine neue Substanz gehört.

Substanz ist dasjenige, was Seiendem die metaphysische Qualität *Aktivität* verleiht. Man kann nun fragen: Was ist das, was den Entitäten des Universums der Bedeutungen *Aktivität* verleiht? Worauf gründet sich die Dynamik in diesem Universum? Die Antwort ist EMPFINDUNG. EMPFINDUNG ist das, was die Qualia antreibt. Also ist EMPFINDUNG die Substanz geistiger Zustände.

Bedeutung hingegen, dasjenige, was Gegenstand von Beschreibungen ist, also die formale Definition von geistigen Zuständen, ist *passiv*. Bedeutung ist *Information*, und Informationsverarbeitung allein ereignet sich – wie alles, was bloß Element einer Beschreibung oder eines Modells ist – niemals *von selbst*. Sie ist auf Aktivität von außen angewiesen.

Es muss aber wohl nicht eigens betont werden, dass dieses Universum der Qualia ein *inneres* Universum, ein Universum *im Kopf* ist. Die funktionelle Abkopplung des Geistes vom materiellen Universum, die sich im freien Flug der Gedanken und Vorstellungen äußert, bedeutet selbstverständlich nicht, dass sich der Geist, wie Esoteriker und Angehörige verschiedener Religionen meinen, tatsächlich von seinen räumlichen und zeitlichen Bindungen befreien kann. Er wird durch das neuronale Netz hervorgebracht, und dadurch bleibt er an materielle Bedingungen gebunden und in Raum und Zeit gefangen.

4. Da Substanz und Akzidenzien immer zusammengehören, ist es unbefriedigend, verschiedenen Schichten des Seienden von unterschiedlicher Komplexität zwar verschiedene Akzidenzien zuzuordnen, aber dieselbe Substanz. Allerdings besteht ein begriffliches Problem. Die komplexeren Akzidenzien können auf einfachere und schließlich auf das einfachste Akzidens zurückgeführt werden. Im wörtlichen Sinn kann das aber von den Substanzen, die zu diesen komplexeren Akzidenzien gehören, nicht behauptet werden, weil die Substanz begrifflich überhaupt nicht erfassbar ist, so dass der Begriff einer "abgeleiteten Substanz" in seiner eigentlichen Bedeutung unsinnig wäre.

Es ist aber möglich, einen solchen Begriff zu *definieren* und dadurch von seiner eigentlichen Bedeutung abzugrenzen. Definieren wir also:

*Abgeleitete Substanz* ist eine Substanz, die mit einem abgeleiteten Akzidens verbunden ist.

Jedes Seiende, das kein geistiges Seiendes ist, besteht dann aus einer abgeleiteten Substanz und abgeleiteten Akzidenzien. Nur der *Ursprung des Seienden* besteht *für uns* aus der ersten Substanz und dem ersten Akzidens.

Da wir vom Seienden immer nur die Akzidenzien verstehen, bleibt nicht nur ein Teil des Wesens des Seienden unseren Begriffen entzogen, sondern auch ein Teil jener Veränderung des Wesens des Seienden, die sich beim Aufstieg des Seienden zu immer komplexeren Formen ereignet. Alles, was wir tun können, ist, von der Seite der Akzidenzien her auf die Substanz und ihre Veränderungen zu schließen.

Es ist wichtig, stets in Erinnerung zu behalten, dass auch die Substanz RAUMZEIT des physikalischen Seienden nicht gedacht werden kann, und dass es schon allein aus diesem Grund unmöglich ist, ihre Verwandlung in die zweite Substanz EMPFINDUNG des geistigen Seienden zu denken. Wie soeben gezeigt wurde, kann aber bewiesen werden, dass diese Verwandlung stattfinden muss.

## 5.5. Kriterium für das Auftreten von Empfindungen

Aus den Überlegungen des vorigen Abschnitts ergibt sich ein Kriterium für das Auftreten von Qualia.

Die Existenz eines Quale setzt voraus, dass seine Bedeutung nicht aus seiner materiellen Beschaffenheit ablesbar ist. Diese Bedingung ist genau dann erfüllt, wenn neuronale Zustände, die etwas repräsentieren oder Input-Output-Relationen herstellen, miteinander vernetzt werden. Dann treten Rückkopplungsschleifen auf, innerhalb derer die Information, die in den neuronalen Zuständen codiert ist, in zunehmendem Maß durch die gegenseitigen Beziehungen der neuronalen Zustände bestimmt wird, während zugleich die ursprüngliche Abhängigkeit von äußeren Bedingungen abnimmt. Was anfangs *Repräsentation* war, wird zur *intrinsischen Bedeutung*.

Es lässt sich bei keinem neuronalen Muster feststellen, was es bedeutet. Das gilt sogar für Wahrnehmungen: hier kann äußerstenfalls bestimmt werden, was sie repräsentieren, aber nicht, was sie bedeuten. Entgegen allen hochfliegenden Hoffnungen der Neurowissenschaft wird es niemals möglich sein, jemandes Gedanken zu belauschen – es sei denn, er teilt freiwillig mit, was er jeweils denkt, und ermöglicht dadurch die Ermittlung der individuellen neuronalen Codierung dieser Gedanken. Aber auch das wird mit Sicherheit nur bei einfachen, standardisierten geistigen Prozessen möglich sein.

Wie schon mehrfach erwähnt, kann der soeben beschriebene Prozess der Entstehung von intrinsischer Bedeutung – und damit auch die Bildung von Qualia – nur dann stattfinden, wenn ein neuronaler Bereich vorhanden ist, der nicht funktionell festgelegt ist.<sup>150</sup>

Beim Menschen ist das das Großhirn. Seine funktionelle Ungebundenheit zeigt sich in seiner Plastizität: Wenn Areale ausfallen, die sich im Lauf der individuellen Entwicklung für bestimmte Aufgaben spezialisiert haben, dann können diese Aufgaben von anderen Regionen übernommen werden.

Auch andere Hirnstrukturen können aber das Kriterium der funktionellen Ungebundenheit erfüllen. Das Gehirn von Oktopoden ist ganz anders strukturiert als unser Gehirn, aber es ist anzunehmen, dass es neuronale Bereiche dieser Art enthält.

Die neuronalen Strukturen des sogenannten Zwischenhirns sind dagegen nicht dafür geeignet, Repräsentationen in einer Weise zu vernetzen, dass sie sich von ihrer ursprünglichen Funktion lösen und zu intrinsischen Bedeutungen entwickeln können. Gleichgültig, ob diese Funktion Teil eines

---

<sup>150</sup> Solche Bereiche treten infolge von Mutationen auf, durch die bereits existierende neuronale Strukturen – etwa die des Zwischenhirns – vergrößert werden.



genetischen Programms ist oder durch äußere Bedingungen eingepägt – das Verhalten bleibt schematisch und stets auf den auslösenden Reiz bezogen. Repräsentationen, die in solche funktionellen Abläufe eingebunden sind, können sich nur in engen Grenzen verändern.

In Gehirnen, die – zusätzlich zu den stammesgeschichtlich noch älteren neuronalen Bereichen – nur Strukturen enthalten, die denen unseres Zwischenhirns ähneln, ist daher mit hoher Wahrscheinlichkeit die Entstehung von Qualia nicht möglich.

Die notwendige Bedingung für das Auftreten von Qualia lautet also:

***Qualia treten in einem neuronalen Netz nur dann auf, wenn das Netz funktionell ungebundene Strukturen enthält, die die Vernetzung neuronaler Repräsentations-Zustände ermöglichen.***

Das ist allerdings nur eine *notwendige* Bedingung. Lässt sich auch ein Kriterium, also eine notwendige und hinreichende Bedingung formulieren? Ich glaube ja. Es lautet:

***Jedes Tier, das ein neuronales Netz hat, das funktionell ungebundene Strukturen enthält, erlebt Qualia.***

Es ist zu beachten, dass diese Aussage nur für ein *Tier* gilt, und nicht für einen Roboter. Wir könnten ja dem Roboter Susi den Luxus eines zusätzlichen neuronalen Moduls gönnen, das wir mit den schon vorhandenen Neuronen einfach verbinden, ohne seine Funktionalität festzulegen. Dennoch ist auszuschließen, dass Susi Empfindungen haben wird.

Bei einem Tier kann jedoch vorausgesetzt werden, dass seine Art bereits ihre Lebensfähigkeit bewiesen hat, und das ist eine *sehr* starke Voraussetzung. Sie schließt eine Menge technischer Voraussetzungen ein, von denen wir nur wenige *genau* und einige *überhaupt nicht* kennen.

Die Behauptung, dass ein Tier mit einem solchen neuronalen Netz Empfindungen hat, stützt sich auf folgendes Argument:

Es muss lebensfähige Vorfahren dieser Tierart gegeben haben, in deren Gehirn die großhirnähnliche neuronale Struktur noch nicht oder nur in sehr geringem Maß vorhanden war. Vermutlich wäre der von uns betrachtete Organismus also auch ohne die "freie" neuronale Struktur lebensfähig, und das neuronale Netz enthielte alle Funktionen, die für die angemessene Regulation seines Verhaltens erforderlich sind. Wenn nun aber die neue, zunächst funktionsfreie Struktur hinzukommt, dann entstehen *unausweichlich* Metarepräsentationen und vernetzte Repräsentationen: die Information über die Umwelt und die Körperzustände *muss* ja auf irgendeine Weise in die neue Struktur gelangen und

dort weiterverarbeitet werden; – allerdings wiederum nur dann, wenn die neuronale Erweiterung die Fortsetzung eines neuronalen Gewebes ist, das seine Funktionsfähigkeit schon bewiesen hat, und nicht einfach ein Neuronenhaufen. Diese Bedingung, in der wiederum zahlreiche technische Voraussetzungen zusammengefasst sind, ist aber bei einem Tier sicher erfüllt.

Damit ist aber schon gezeigt, dass es Empfindungen hat.

### **Ein einfaches ergänzendes Argument**

Die Existenz von Empfindungen setzt voraus, dass *jemand* da ist, der empfindet.

Betrachten wir die Empfindung *Schmerz*: die sinnliche Information kann nur dann zur Empfindung *Schmerz* werden, wenn es ein *Subjekt* gibt, das die sinnliche Information zur Kenntnis nimmt.

Es ist nicht notwendig, genauer zu bestimmen, was mit den Begriffen "jemand" oder "Subjekt" gemeint ist. Es genügt, zu sehen, dass in einem neuronalen Netz, in dem nur automatisierte Prozesse stattfinden, die entweder genetisch vorprogrammiert oder durch Umweltbedingungen eingepägt sind, kein Platz für dieses postulierte Subjekt ist.

Die Annahme eines Subjekts setzt voraus, dass Reiz und Verhalten nicht in jedem Fall – sei es in der Form eines Reflexes oder in der Form eines erlernten Programms – fest miteinander verbunden sind. Es muss auch Fälle geben, wo die sinnliche Information nicht direkt zum stereotypen Verhalten führt, sondern einer *weiteren Verarbeitung* zugeführt wird.

Das neuronale Netz muss also zu *Metarepräsentationen* fähig sein.

Eine einzelne Metarepräsentation genügt aber offensichtlich nicht, um die Annahme eines *Subjekts* zu begründen. Dafür ist es erforderlich, dass die Metarepräsentationen als Erinnerungen abgespeichert und miteinander vernetzt werden. Erst dann ist es gerechtfertigt, anzunehmen, da existiere *jemand*, der empfindet.

Dieses einfache Argument führt also abermals zu der notwendigen Bedingung, die gerade eben abgeleitet worden ist: Für das Auftreten von Empfindungen ist die Existenz einer funktionell ungebundenen neuronalen Struktur erforderlich, die die Vernetzung neuronaler Repräsentations-Zustände ermöglicht.

Es ist aber festzuhalten, dass es sich um ein *strukturelles Argument* handelt, und dass es daher, wie alle strukturellen Argumente, ungeeignet ist, die *metaphysische Tatsache* der Verwandlung neuronaler Zustände in Qualia zu begründen. Es kann nur zur Bestimmung notwendiger Bedingungen dienen.

### **5.6. Wer oder Was hat Empfindungen?**

Das Kriterium erlaubt es, eine Grenze zwischen *Automaten* und *empfindenden Wesen* zu ziehen. Die konkrete Einordnung setzt allerdings eine genaue Kenntnis der Strukturen des jeweiligen neuronalen Netzes und seiner Leistungen voraus. Wie schon erwähnt, wurden die Intelligenzleistungen von Vögeln lange Zeit unterschätzt, weil sie dafür nicht die selbe neuronale Struktur gebrauchen wie Säugetiere. Inzwischen ist aber bekannt, dass einige Vogelarten hochintelligent sind. Vögel haben zweifellos Empfindungen.

Was ist mit Fischen? Die Entdeckung zwischenhirnähnlicher Strukturen ist *kein* Hinweis auf Empfindungen. Aber es fragt sich, ob das komplexe Verhalten und die Lernfähigkeit einiger Fischarten nicht auf die Existenz von neuronalen Strukturen hinweisen, die das Kriterium der *funktionellen Ungebundenheit* erfüllen. Vielleicht gibt es Fischarten, bei denen das der Fall ist.

Manche Fragen lassen sich aber mit Hilfe des Kriteriums eindeutig entscheiden:

Nehmen Bienen Farben wahr? Nein. Unterschiedliche Farben werden in ihren neuronalen Netzen zwar verschieden repräsentiert, aber die Repräsentation bleibt reine Information. Es findet keine Umwandlung in EMPFINDUNG statt.

Empfinden Krustentiere Schmerz? Nein. Sie sind nicht empfindungsfähig. Die Beziehung zwischen *Robert* und seiner Garnele wird einseitig bleiben.

Diesseits der Grenze, die durch das Kriterium gezogen wird, gibt es keine Empfindungen. Was ist aber auf der anderen Seite? Was ist, wenn die anfänglich funktionsfreie großhirnähnliche Struktur *sehr klein* ist? Sind dann die Empfindungen irgendwie "blasser"? Ist *rot* weniger rötlich? Ist *Schmerz* weniger schmerzhaft?

Einerseits ist zu bedenken, dass sich die Unbeschreibbarkeit von Empfindungen auf deren Abstufungen überträgt. Es ist nicht möglich, Abstufungen von etwas zu beschreiben, was nicht beschreibbar ist.

Andererseits haben wir aber zu Empfindungen dieses besondere Verhältnis, dass wir sie zwar nicht durch Beschreibungen erfassen können, aber dennoch genau wissen, was sie sind, weil sie uns *unmittelbar* – als sie selbst – gegeben sind. Deshalb meine ich, dass die Vorstellung "blasserer" oder "schwächerer" Empfindungen und eines "dumpfen" Bewusstseins eine geeignete Annäherung an das Wesen derjenigen Qualia ist, die Tiere erleben, bei denen die für das Auftreten von Qualia erforderlichen funktionell ungebundenen neuronalen Strukturen wenig ausgeprägt sind.

Ein wichtiger Aspekt der Schlussfolgerungen des vorigen Abschnitts ist, dass auch in neuronalen Netzen, die zur Bildung von Qualia fähig sind, nicht von Beginn an Qualia vorhanden sind. Die Verwandlung von Materie in Geist, von Repräsentation in intrinsische Bedeutung, von einem neuronalen Muster in ein Quale ist ein Entwicklungsprozess.

Daraus folgt z.B., dass Säuglinge nach der Geburt keine Farben *wahrnehmen*; Auch später, wenn sie schon dazu fähig sind, Farben zu *unterscheiden*, können sie zunächst noch keine *Farbempfindung* haben – eben deshalb, weil sich die Information noch nicht zu einem Quale entwickeln konnte.

### ***5.7. Versuch einer begrifflichen Annäherung an die Verwandlung der Substanz***

Die Tatsache, dass die erste Substanz RAUMZEIT sich in die zweite Substanz EMPFINDUNG verwandelt, wirkt zunächst befremdlich – selbst dann, wenn die Notwendigkeit dieser Verwandlung eingesehen werden kann. Dieses Befremden kann auf verschiedene Weise reduziert werden.

#### Erste Annäherung

Der erste Schritt ist jedenfalls die Einsicht, dass der Begriff RAUMZEIT hier nicht mit dem mathematisch-physikalischen Begriff "Raumzeit" identisch ist. Dieser ist nur *definiert*, er besteht also nur aus den Eigenschaften, durch die er definiert ist, während der Substanzbegriff RAUMZEIT dasjenige bezeichnet, was diese Eigenschaften *hat*, dasjenige also, was die Raumzeit *ohne* diese Eigenschaften "ist", wobei die Anführungszeichen darauf hinweisen, dass der ontologische Status der RAUMZEIT nicht "Existenz" sein kann.

Was sich verwandelt, ist also nicht die physikalische "Raumzeit" – diese Vorstellung wäre absurd –, sondern die undenkbbare erste Substanz RAUMZEIT.

## Zweite Annäherung

Wenn wir versuchen, *Raumzeit* als Substanz zu denken, wird sie zu AGENS. Was wir von AGENS wissen, ist, dass ihm die metaphysische Qualität *Aktivität* zukommt.<sup>151</sup>

Materielle Objekte sind raumzeitliche Muster. Es ist daher möglich, ihre Substanz durch das Begriffspaar [Raumzeit, Aktivität] zu definieren:

Materielle Substanz := [Raumzeit, Aktivität]

Auch geistige Zustände sind raumzeitliche Muster, wobei aber zu beachten ist, dass der Begriff "sind" in dieser Aussage keine definitorische Bedeutung hat, wie das in der Aussage "Materielle Objekte sind raumzeitliche Muster" der Fall ist.

Somit kann die zweite Substanz durch das Begriffspaar [Raumzeit, Empfindung] definiert werden:

Geistige Substanz := [Raumzeit, Empfindung]

Hier erscheint die Verwandlung des Wesens des Seienden als Verwandlung der metaphysischen Qualität: *Aktivität* wird zu *Empfindung*. Die erste Substanz ist dasjenige, was die Akzidenzien der Materie *aktiv* macht, die zweite Substanz ist dasjenige, was die Akzidenzien des Geistes *aktiv* macht.

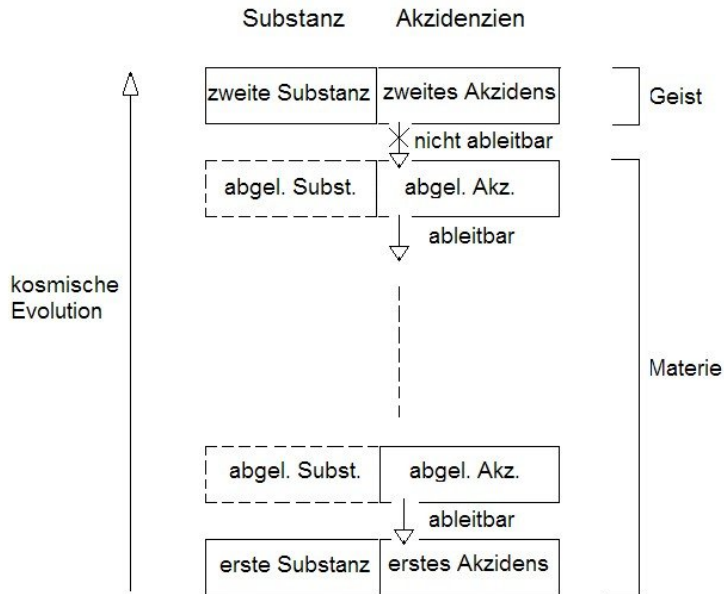
Es ist unmittelbar einzusehen, dass Empfindung tatsächlich genau das leistet: Bedeutung ohne Empfindung ist gleichgültig. Empfindung ist die Basis jeder Wertung und jeder Motivation. Sie ist das, was uns antreibt.

## Dritte Annäherung

Um die kosmische Evolution im Schema von Substanz und Akzidenzien zu begreifen, ist es notwendig, das Verhältnis von Ableitbarkeit bzw. Nicht-Ableitbarkeit einerseits und Wesensgleichheit bzw. Wesensänderung andererseits zu bestimmen. Zunächst eine Skizze zur besseren Übersicht:

---

<sup>151</sup> Es ist zu beachten, dass *Aktivität* kein Akzidens ist. Wenn wir den *Ursprung des Seienden*, um ihn für unser Denken zugänglich zu machen, in Substanz und Akzidens teilen und als Aktivität *von* AGENS bezeichnen, dann wird hier zwar *Aktivität* zum Akzidens, aber gerade dadurch verschiebt sich das, worin sich das Akzidens "Aktivität" von der metaphysischen Qualität *Aktivität* unterscheidet – d.h. das, was dem Akzidens *fehlt* – in den Begriff der Substanz. Substanz ist dann das, was die Akzidenzien *aktiv* macht.



Von dieser Skizze ist uns nur die rechte Seite zugänglich, die Seite der Akzidenzien. Die linke Seite handelt von genau demjenigen, was allen Beschreibungen fehlt und was nicht gedacht werden kann, von der Substanz.

Deshalb ist *für uns* das Verhältnis einer Seinsschicht zur darunter liegenden Seinsschicht ausschließlich durch die Alternative *ableitbar* oder *nicht ableitbar* gegeben, d.h. durch das Verhältnis der Akzidenzien. Ableitbarkeit bzw. Reduzierbarkeit ist aber eine derart enge Beziehung zwischen dem, was abgeleitet ist und dem, woraus es abgeleitet ist, dass es *für uns* so scheint, als wäre das Abgeleitete und das Ursprüngliche *eigentlich* dasselbe. Diese Identität gilt jedoch nur für Beschreibungen; In der Wirklichkeit ist jedes Akzidens untrennbar mit einer zugehörigen Substanz verbunden, und im Bereich der Substanz kann von Ableitbarkeit nicht die Rede sein. Der Begriff *abgeleitete Substanz* ist nur auf die in 5.4. unter Bemerkung 4 definierte Weise zu verstehen: als Substanz, die zu einem abgeleiteten Akzidens gehört.

Seiendes ist immer Akzidens *und* Substanz. Wenn nun der Begriff der Ableitbarkeit im Bereich der Substanz nicht zulässig ist, dann ist damit zugleich die Vorstellung aufgehoben, dass Seiendes, dessen Akzidenzien ableitbar sind, ein ableitbares Seiendes ist. Die Identität zwischen dem Abgeleiteten und

dem, woraus es abgeleitet ist, die im Bereich der Beschreibungen behauptet werden kann, ist auf die Wirklichkeit nicht übertragbar. Sie erweist sich als Täuschung, die nur *für uns* existiert, und der wir genau dann unterliegen, wenn wir Wirklichkeit und Beschreibung auf die Weise gleichsetzen, wie das in der derzeitigen Naturwissenschaft der Fall ist.

Auf dieselbe Weise, wie sich Wirklichkeit und Beschreibung unterscheiden, sind auch Evolution und Ableitung verschieden. Es wäre durchaus angemessen, anzunehmen, dass sich das Wesen des Seienden bei *jedem* evolutionären Schritt zu einer komplexeren Seinsschicht wandelt. Das ändert jedoch nichts an der Tatsache, dass *für uns* die Substanz gleich bleibt, solange die Akzidenzien ableitbar sind, und dass sie erst dann verwandelt erscheint, wenn die Akzidenzien nicht ableitbar sind. Deshalb ist es gerechtfertigt, die Wirklichkeit in einen materiellen und einen geistigen Bereich einzuteilen.

#### Vierte Annäherung

Zuletzt ist es in einem gewissen Maß auch möglich, den Begriff der geistigen Substanz auf folgende Weise direkt zu rekonstruieren:

Es wird ein Begriff der Substanz eines geistigen Zustands benötigt, der sich nicht auf die physikalische oder irgendeine andere Ebene *unterhalb* der geistigen Ebene bezieht, sondern der sich als zum geistigen Zustand selbst gehörig ausweist und der geeignet erscheint, den Akzidenzien der geistigen Zustände – den intrinsischen Bedeutungen – *Aktivität* zu verleihen.

Wir wissen ja schon, welcher Begriff dafür geeignet ist: *Empfindung*. Aber die Frage ist jetzt, wie weit die Substanz EMPFINDUNG *als Begriff* zugänglich ist, wie weit wir EMPFINDUNG sozusagen *von außen* verstehen könnten, wenn wir sie nicht *von innen*, also aus unserem eigenen Erleben kennen.

Stellen wir uns also vor, wir wüssten alles über neuronale Netze, aber wir wüssten nicht, was EMPFINDUNG ist, und unsere Aufgabe wäre es, herauszufinden, was die Substanz geistiger Zustände ist. Wie weit kämen wir?

Wir müssen auf der Seite der Akzidenzien beginnen. Was finden wir vor? Intrinsische Bedeutungen. Sie folgen zeitlich aufeinander und sind miteinander in einem virtuellen Raum vernetzt. (Ich vermeide den Ausdruck Parameterraum, weil ich meine, dass die sich ständig verändernde Dynamik der vernetzten Bedeutungen nicht auf einen Parameterraum übertragen werden kann. Es gibt keine gesetzmäßige Beziehung zwischen den physikalisch-chemischen und neuronalen Parametern und den sich wandelnden Bedeutungen der Muster, weil sich in diesem Szenario lokale und globale Gesetzmäßigkeiten auf nicht formalisierbare Weise ergänzen. Mehr darüber später.)

Die Frage ist: Was verleiht den Bedeutungen *Aktivität*? Die Antwort muss ein Begriff sein, der auf derselben Ebene liegt wie Bedeutung, ein Begriff, der mit dem Begriff Bedeutung ebenso ein Paar bildet wie die Begriffe Masse und Gravitation.

Bei der Frage: "In welchen Systemen können Empfindungen auftreten?" haben wir festgestellt, dass da *jemand* sein muss, der empfindet. Dasselbe gilt für Bedeutungen: von Bedeutungen zu reden ist nur sinnvoll, wenn da *jemand* ist, *für den* sie etwas bedeuten.

Damit haben wir auf der Seite der Akzidenzien folgende Voraussetzungen: Die Akzidenzien geistiger Zustände sind Bedeutungen. Das, was sie bedeuten, bedeuten sie *für ein Subjekt*. Sie stellen sich diesem Subjekt unmittelbar und als Ganze dar, also nicht in der Gestalt von Mengen von Variablenwerten.

Wie könnte ein Substanz-Begriff beschaffen sein, der geeignet ist, mit diesem Akzidenz-Begriff ein Paar zu bilden – eine untrennbare Einheit, wie Masse und Gravitation?

Was wir schon wissen, ist, dass es in jedem neuronalen Netz, das zu einem lebensfähigen Wesen gehört, ein System gibt, das die neuronalen Zustände *bewertet*. Aus diesem System muss die Regulation der Dynamik der globalen neuronalen Zustände hervorgegangen sein, bevor sie zu geistigen Zuständen wurden und ihre Dynamik selbst bestimmten.

*Für das Subjekt* müssen die Bewertungen genauso unmittelbar gegeben sein wie die Bedeutungen, also abermals nicht in der Form von Mengen von Variablenwerten, sondern in der Form von *Qualitäten*.

Was ist eine *Qualität für ein Subjekt*?

Wenn wir den gesuchten Begriff nicht schon wüssten, dann würden wir ihn nun genau *so* definieren: als "Qualität für ein Subjekt".

*Qualität für ein Subjekt* ist geeignet, mit dem Akzidenz *Bedeutung für ein Subjekt* eine untrennbare Einheit zu bilden. *Qualität für ein Subjekt* ist die Substanz des geistigen Seienden.

Ich glaube, damit wäre die maximal mögliche gedankliche Annäherung an die letztlich keinem Begriff zugängliche Substanz EMPFINDUNG erreicht.



## 5.8. Philosophische Zombies

"Philosophische Zombies" sind hypothetische Wesen, die zu dem Zweck ersonnen wurden, die Frage des Verhältnisses zwischen neuronalen Zuständen und Qualia und damit zugleich das Problem der Unterscheidung zwischen Automaten und empfindenden Wesen zu verdeutlichen.

Die Physiologie von Philosophischen Zombies gleicht der von Menschen. Zombies haben also dasselbe Gehirn wie Menschen. Ihnen fehlt jedoch Empfindung. Sie erleben keine Qualia.

*Ist es denkbar, dass solche Zombies existieren?*

Von unserem Standpunkt aus ist sofort zu sehen, dass ihre Existenz unmöglich ist:

Die Voraussetzung, dass ein Zombiegehirn in physiologischer Hinsicht mit dem eines Menschen identisch ist, schließt die Identität von Strukturen *und* Prozessen ein. Das bedeutet, dass die neuronalen Zustände eines Zombiegehirns auf dieselbe Weise miteinander vernetzt sind und sich durch Interaktion verändern wie die Zustände eines Menschengehirns. Daraus folgt aber, dass der Prozess der Verwandlung von einem *physikalischen Seienden* in ein *Quale* stattgefunden hat.

Also sind die neuronalen Zustände – die raumzeitlichen Erregungsmuster – des Zombiegehirns ebenfalls Qualia.

Wenn man annähme, der Zombie habe keine Empfindungen und die neuronalen Muster des Zombiegehirns seien *nichts als* Informationsverarbeitung, dann wäre das also genauso absurd wie die Annahme, die Erde könne auch ohne Gravitation existieren. Es würde bedeuten, vom Seienden gedanklich seine *Substanz* zu entfernen, d.h. dasjenige, was den Akzidenzien die metaphysische Qualität *Aktivität* verleiht. Substanz und Akzidens sind aber untrennbar, sie sind immer *eins*. Bei der Erde erscheint uns das selbstverständlich, im Fall der Qualia jedoch erscheinen solche absurden gedanklichen Konstruktionen wie Neurozombies möglich – aber nur solange man keinen Begriff davon hat, was Qualia sind.

Wenn man ein neuronales Erregungsmuster, das zum Quale geworden ist, aus dem Netz der Bedeutungen herausnehmen könnte, dem es seine Existenz verdankt, dann allerdings wäre es tatsächlich *nichts als* ein neuronales Muster. *Als geistiges Seiendes* hätte man es dann zerstört, es hätte sich in ein physikalisches Seiendes zurückverwandelt.

Es ist aber klar, dass man ein *globales* neuronales Erregungsmuster nicht von seiner neuronalen Umgebung trennen kann, ohne es auch physikalisch zu verändern. Die Struktur könnte dabei vielleicht kurzzeitig erhalten bleiben, aber keinesfalls die Dynamik. Diese würde sich augenblicklich – beginnend mit dem Zeitpunkt der Trennung – verändern und nach kurzer Zeit zusammenbrechen.

## 5.9. Künstliche Intelligenz

### Verstehen

Kann eine Maschine, die Zeichenketten nach bestimmten Regeln in andere Zeichenketten umwandelt, etwas *verstehen*?

Diese Frage lässt sich mit erstaunlicher Klarheit durch ein Gedankenexperiment von John Searle beantworten, das den Namen "Chinesisches Zimmer" trägt. Die folgende Kurzversion hat Searle 1999 formuliert:<sup>152</sup>

"Imagine a native English speaker who knows no Chinese locked in a room full of boxes of Chinese symbols (a data base) together with a book of instructions for manipulating the symbols (the program). Imagine that people outside the room send in other Chinese symbols which, unknown to the person in the room, are questions in Chinese (the input). And imagine that by following the instructions in the program the man in the room is able to pass out Chinese symbols which are correct answers to the questions (the output). The program enables the person in the room to pass the Turing Test<sup>153</sup> for understanding Chinese but he does not understand a word of Chinese."

Falls man akzeptiert, dass dieser Ablauf möglich ist – und dazu ist man gezwungen, wenn man *künstliches Verstehen* für möglich hält – dann ist dieses Argument gegen den Turing-Test stichhaltig. Das Chinesische Zimmer *ist* ja eine Version des Turing-Tests: Zwar ist hier der unbekannte Kommunikationspartner ein Mensch, aber er versteht sicher kein Chinesisch. Da er aber den Test besteht, müsste ihm die Fähigkeit, chinesisches zu verstehen, zuerkannt werden.

---

<sup>152</sup> John Searle, *The Chinese Room*, in R.A. Wilson and F. Keil (eds.), *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences*, Cambridge, MA: MIT Press, 1999.

<sup>153</sup> Dieser nach Alan Turing benannte Test besteht darin, dass Menschen durch schriftliche Kommunikation mit einem nicht sichtbaren Partner feststellen sollen, ob dieser Partner ein Computer ist oder ein Mensch. Falls die Entscheidung nicht möglich ist, werden dem Partner menschliche Fähigkeiten zuerkannt.

Searle fügt dann hinzu: "The point of the argument is this: if the man in the room does not understand Chinese on the basis of implementing the appropriate program for understanding Chinese then neither does any other digital computer solely on that basis because no computer, qua computer, has anything the man does not have."

In dieser Form ist das Argument allerdings nicht korrekt: Wenn das Chinesische Zimmer als Computer-Analogie aufgefasst wird, dann ist der Mann darin offensichtlich nicht der ganze Computer, sondern er übernimmt nur die Aufgaben des Datentransports und der Transformation. Auch der härteste Verfechter der Existenz künstlicher Intelligenz würde aber kaum behaupten, dass Prozessor und Motherboard allein schon etwas verstehen könnten.

Deshalb wurde Searle entgegnet<sup>154</sup>, dass nicht *der Mann*, sondern *das System* Chinesisch versteht.

Searle konterte mit dem Argument, der Mann könne ja die Daten und das Programm auswendig lernen, und dann *wäre* er das System.

Ich breche die Diskussion des Gedankenexperiments an dieser Stelle ab, weil ich davon überzeugt bin, dass mit der letztgenannten Variante der Beweis erbracht ist, dass Computer nicht verstehen, was sie tun: Die Aktionen des Manns entsprechen genau denen eines Computers – er transformiert Zeichenketten nach vorgegebenen Regeln in andere Zeichenketten<sup>155</sup> – und er versteht *nicht*, was die Zeichenketten bedeuten.

Etwaige Zweifel daran, ob das Gedankenexperiment überhaupt realisierbar wäre, richten sich nicht gegen das Argument, sondern in jedem Fall nur gegen die Annahme, dass Verstehen simuliert werden kann. Die Stärke des Arguments liegt ja gerade darin, dass das Maximum dessen vorausgesetzt wird, was in einer Simulation erreichbar ist: es wird angenommen, dass die Antworten, die der Mann gibt, ohne sie zu verstehen, von denen eines Menschen, der das, was er antwortet, auch versteht, nicht unterschieden werden können.

Das heißt: Sogar dann, wenn die KI ihr Ziel erreicht hätte, Kommunikation so zu modellieren, dass sie sich von menschlicher Kommunikation nicht unterscheidet, würde der Simulation Verstehen fehlen.

---

<sup>154</sup> Unter anderem von Georges Rey: *What's Really Going on in Searle's "Chinese Room"*, *Philosophical Studies* 50, 169–185. 1986.

<sup>155</sup> Um auch die Möglichkeit eines lernfähigen Programms zu berücksichtigen, kann man einfach hinzufügen, dass der Mann auch die Zeichenketten der Regeln in seinem "book of instructions" abhängig vom Input transformiert.

Eine weitere Stärke des Gedankenexperiments liegt darin, dass es den Unterschied zwischen Verstehen und Nichtverstehen auf einfache und intuitive Weise veranschaulicht: Man kann sich mit dem Mann auf chinesisch *und* auf englisch unterhalten. Englisch versteht er, Chinesisch versteht er nicht. Verstehen ist das, wodurch sich diese beiden Aktivitäten unterscheiden. Jeder von uns kennt diesen Unterschied. Wir *verstehen* ihn.

Searles Argument beweist also, dass selbst einer perfekt gelungenen Computersimulation menschlicher Kommunikation das Verständnis dessen fehlt, *was* simuliert wird.

Das Argument enthält jedoch keine Antwort auf die Frage, *warum* dieser Unterschied zwischen Mensch und Computer besteht. Gerade die Deutlichkeit, mit der sich das Fehlen von Verstehen in Searles Gedankenexperiment zeigt, lässt die Klärung dieser Frage dringend und längst überfällig erscheinen.

### **Warum Computer keinen Geist hervorbringen; die *formale* Begründung**

In den Kapiteln 3, 4 und 5 ist *Geist* auf naturwissenschaftliche Weise definiert worden; seine Existenz ist mit naturwissenschaftlichen Methoden begründet und die Verwandlung des Wesens des physikalischen Seienden in ein Quale mit metaphysischen Argumenten erklärt worden. Also muss die Antwort darauf, warum Computer nicht verstehen, was sie tun, in den Schlussfolgerungen dieser Kapitel enthalten sein. Das soll im Folgenden demonstriert werden.

Klären wir zunächst eine Frage, die sich sofort aufdrängt: *Wenn Menschen sprachlich kommunizieren, sind sie dann nicht ebenfalls Maschinen, die Zeichenketten nach vorgegebenen Regeln transformieren?*

Die Antwort ist *nein*. Im Kapitel 3. *Willensfreiheit* ist gezeigt worden, dass die geistige Tätigkeit weder feststehenden Regeln folgt noch Regeln, die sich nach feststehenden Meta-Regeln ändern.

(Im Kapitel 4. *Das veränderte Bild der Wirklichkeit* habe ich begründet, dass diese Behauptung keinen Widerspruch zu der Annahme bildet, dass an jedem Ort und zu jedem Zeitpunkt durch das fundamentale Gesetz festgelegt ist, wie die Zukunft aus der Gegenwart entsteht.)

Das nun folgende Gedankenexperiment dient der Hervorhebung desjenigen Unterschieds zwischen Mensch und Computer, aus dem hervorgeht, warum Computersimulationen geistiger Leistungen kein Verstehen enthalten.

Sei M ein menschliches neuronales Netz. Die Kombination der Werte aller Variablen von M zu einem bestimmten Zeitpunkt ist ein *Zustand* von M.

Wir betrachten eine Zustandsfolge von M in einem Zeitraum  $\Delta t$ , der sich von  $t = 0$  Sekunden bis, sagen wir:  $t = 1000$  Sekunden erstreckt. Nennen wir diese Folge D.

Die Zeitintervalle zwischen zwei aufeinander folgenden Zuständen können beliebig klein gewählt werden. Nehmen wir an, ihre Länge sei  $10^{-24}$  Sekunden. Demnach enthält unsere Folge D  $10^{27}$  Zustände von M. (Da es sich um ein Gedankenexperiment handelt, kann die Dauer der Zeitschritte aber auch weiter verringert werden.) Ferner legen wir fest, dass die Variablenwerte mit einer Genauigkeit von 1024 Bits dargestellt sind. (Auch diese Genauigkeit kann natürlich beliebig hoch angenommen werden.)<sup>156</sup>

Als Voraussetzung für die folgende Argumentation werden die Schlussfolgerungen benötigt, die im Kapitel über Willensfreiheit erarbeitet worden sind. Hier eine kurze Zusammenfassung:

Das neuronale Netz besteht aus mehreren übereinander geschichteten Ebenen von miteinander wechselwirkenden Entitäten ansteigender Komplexität. Deshalb sind die Naturgesetze zur Beschreibung der Dynamik des Netzes nicht ausreichend. Es müssen weitere Gesetze – sogenannte Strukturgesetze – berücksichtigt werden. Die Gesetze der hierarchisch obersten Schicht, also die geistigen Gesetze, sind dominant, d.h. die Dynamik der geistigen Zustände bestimmt die neuronale und molekulare Dynamik in einem höheren Maß als das umgekehrt der Fall ist. (Im 4. Kapitel wurde diese Tatsache als *Kausalität von oben* bezeichnet.)

Die Gesetze des Geistes sind jedoch, im Gegensatz zu den Gesetzen der anderen Ebenen, nicht feststehend. Die geistige Tätigkeit wirkt auf sich selbst zurück: sie ändert ihre eigene neuronale Codierung und damit auch das Netz der Bedeutungen, und daraus folgt zugleich eine Änderung der Übergangsregeln der Abfolge geistiger Zustände.

Jetzt beziehen wir in unsere Überlegungen die folgende Turing-Maschine ein:

---

<sup>156</sup> Der Grund für die Einführung von D ist, dass D direkt mit einem Computer bzw. mit einer Turing-Maschine verglichen werden kann.

(Ich werde hier keine Definition der Turingmaschine geben. Um das Folgende zu verstehen, genügt es, zu wissen, dass eine Turing-Maschine alles berechnen kann, was ein beliebiger Computer berechnen kann.)

T sei die Turing-Maschine, die die Zustandsfolge D im Zeitraum  $\Delta t/2$ , der bei  $t = 0$  Sekunden beginnt und bis  $t = 500$  Sekunden reicht, *exakt* wiedergibt.<sup>157</sup> (Die Existenz von T kann vorausgesetzt werden.)

Die Zustände von T stimmen also (in der gewählten Näherung) mit den Zuständen von M im Zeitraum  $\Delta t/2$  überein.

Die Dynamik von T ist berechenbar. Es existiert also eine Funktion – nennen wir sie  $f_T$  –, die es erlaubt, aus dem Anfangszustand von T – das ist die anfängliche Sequenz der Zeichen 0 und 1 auf dem Band von T, die dem Zustand von M am Beginn des Intervalls  $\Delta t$  entspricht – die Folge der Zustände von T im Intervall  $\Delta t$  zu berechnen.<sup>158</sup>

Unsere erste Frage ist: *Was geschieht **nach** dem Ende des Intervalls  $\Delta t/2$  ?*

Die Antwort folgt aus dem Unterschied zwischen M und T:

Das Netz M produziert nach Voraussetzung aus sich selbst heraus – in Rückkopplungsschleifen – neue Regeln des Übergangs von einem Zustand in den nächsten. Was *nach* dem Ende von  $\Delta t/2$  geschieht, ist also in den *bis dahin* geltenden Regeln nicht enthalten.

Hingegen sind die Regeln von T fixiert. Die Turing-Maschine T ist an die vorher festgelegten Regeln gebunden;

Daraus folgt, dass nach dem Ende von  $\Delta t/2$  – wenn wir die Turingmaschine T weiter laufen lassen – die Zustände von T nicht mehr den in D enthaltenen Zuständen von M entsprechen können. Vielmehr muss von da an eine wachsende Differenz zwischen den Zuständen von M und T auftreten.

Wenden wir uns nun wieder dem Problem der Simulation von Verstehen zu. Es hat nun eine etwas deutlichere Gestalt angenommen:

---

<sup>157</sup> Jeder Zustand von M, der durch T simuliert wird, ist eine Folge der Zeichen 0 und 1 auf dem Band von T. Ich werde eine solche Zeichenfolge, sofern sie einen der Zustände von M repräsentiert, als *Zustand* von T bezeichnen und das, was üblicherweise "Zustand" der Turingmaschine genannt wird, werde ich *interner Zustand* nennen.

<sup>158</sup> Hier könnte die Frage auftauchen, warum nicht anstelle der Funktion  $f_T$  digitalisierte Versionen der Naturgesetze verwendet werden, um die Zustandsfolge von T zu berechnen. Das ist aber nicht möglich, weil die nichtlineare Rückkopplung die *exakte* Berechnung späterer Zustände von M aus Anfangsbedingungen und solchen Gesetzen verhindert. (Ich erinnere an den Vergleich mit einer großen Anzahl gravitierender Körper: auch hier existiert kein exaktes Verfahren zur Berechnung der Zukunft aus Gesetz und Anfangsbedingungen.)

*Das System M bringt Geist hervor, M versteht, was geschieht. Nun ist aber die Folge der Zustände des Systems T in beliebiger Näherung identisch mit der Folge von Zuständen von M im Zeitraum  $\Delta t/2$ . T ist also eine perfekte Simulation von M, die während dieses Intervalls die Zustände von M – z.B. auch die Zustände, die die Sprachausgabe steuern – reproduzieren kann.*

*Heißt das, dass auch T während dieser Zeit etwas versteht?*

Zunächst ist Folgendes zu klären:

*Was bedeutet eigentlich die Identität der Zustände der beiden Systeme M und T? Ist T eine digitalisierte Version von M? Sind M und T – in diesem Sinn – identisch bis auf die unterschiedliche physikalische Realisierung?*

Wenn das der Fall wäre, dann müsste der Turing-Maschine Verstehen zugestanden werden. Das haben wir aber vorhin – bei der Diskussion des chinesischen Zimmers – ausgeschlossen. Außerdem stünde diese Annahme im Widerspruch zu der Tatsache, dass sich die Zustände der beiden Systeme nach dem Ende von  $\Delta t/2$  zunehmend unterscheiden. Wäre T einfach eine digitalisierte Version von M, dann würden M und T auch weiterhin übereinstimmen.

Also sind zwar die Zustände von M und T innerhalb von  $\Delta t/2$  identisch, aber T ist dennoch keine digitalisierte Version von M. Da aber "Zustand" als Menge *aller* Variablenwerte des Systems zu einem bestimmten Zeitpunkt definiert ist, folgt daraus, dass der strukturelle Unterschied zwischen M und T in den *Übergangsregeln* liegen muss, denen die Zustandsfolgen der beiden Systeme gehorchen.

Was wissen wir eigentlich über *diesen* Unterschied zwischen M und T?

In M existieren mehrere Ebenen von miteinander wechselwirkenden Entitäten. Alle Ebenen weisen eine eigene Dynamik auf, und zwischen den verschiedenen Ebenen besteht ein komplexes Abhängigkeitsverhältnis. In verschiedenen Situationen kann die Dynamik einer bestimmten Ebene in den Vordergrund treten: bei Reflexhandlungen etwa die Dynamik der neuronalen Ebene, bei Defekten des Transmittersystems die Dynamik der chemischen Ebene. Für uns von Interesse ist jedoch die Dynamik der Attraktoren des Netzes, die wir als geistige Zustände identifiziert haben.

In T wird dagegen die Folge der Zustände Schritt für Schritt, ein Zeichen nach dem anderen, durch die Operation [Lesen, Schreiben, Band bewegen, Wechsel des internen Zustands] erzeugt.

Damit sind wir nun bei der konkreten Formulierung der Frage angelangt, ob Computer *Verstehen* simulieren können. Sie lautet:

*Kann die Dynamik eines neuronalen Netzes, die auf der Interaktion der Attraktoren des Netzes beruht, durch schrittweise, nach vorgegebenen Regeln durchgeführte Transformation von Variablenwerten simuliert werden?*

Wie zu erwarten war, ist die Antwort *nein*. Der Grund ist, dass die Beschreibung der Entstehung und der Veränderung von Ordnung durch *globale Variable* erfolgt, und dass diese Beschreibung, wie in Kapitel 4 gezeigt wurde, nicht auf die Beschreibung durch *lokale Variable* zurückgeführt werden kann. Dasselbe gilt aber auch umgekehrt. Der Zusammenhang der beiden Arten der Beschreibung ist *nicht formalisierbar*.

Wie erwähnt, wirkt aber die geistige Tätigkeit auf die neuronale Codierung zurück, was sich wiederum auf die geistige Tätigkeit auswirkt. Das heißt: Die Dynamik der globalen Variablen ändert die Dynamik der lokalen Variablen und umgekehrt.

Wenn die Turing-Maschine T eine vollständige Simulation des menschlichen neuronalen Netzes M darstellen soll – mit anderen Worten: wenn M und T tatsächlich isomorph sein sollen –, dann muss T sowohl die lokale als auch die globale Dynamik rekonstruieren. Das ist aber unmöglich, weil beide zwar miteinander zusammenhängen, aber dieser Zusammenhang eben nicht durch einen Algorithmus ausgedrückt werden kann. Wenn sie aber einzeln, jede für sich, rekonstruiert werden, dann sind sie nach kurzer Zeit falsch, weil die Auswirkungen der jeweils anderen Dynamik nicht berücksichtigt werden.

Die Interaktion von Attraktoren kann daher nicht durch eine schrittweise Berechnung von Variablenwerten simuliert werden, wie sie in Turing-Maschinen erfolgt. Die Attraktoren – die geistigen Zustände – müssen *als solche* vorhanden sein, um die zugehörige Zustandsdynamik zu erzeugen. Anders gesagt: Nur die neuronalen Erregungsmuster *als Ganze* bringen die Dynamik des neuronalen Netzes hervor. Ihre Existenz ist eine notwendige Voraussetzung dieser Dynamik.

In einer Turing-Maschine bzw. in einem Computer *haben* sie aber keine Existenz. Auch die Annahme von Parallelverarbeitung und die Annahme von mehrfach hierarchisch übereinander geschichteten Programmstrukturen ändern daran nichts. Gleichgültig, wie komplex (künftige) Computersimulationen geistiger Leistungen auch sein mögen, wie viele Ebenen von Metarepräsentationen sie enthalten und wie viele Prozessoren parallel arbeiten – es bleibt das unverrückbare Faktum, dass alle Veränderungen sich *schrittweise und voneinander getrennt* vollziehen und kein *ganzes, autonomes Seiendes* formen.



Und das bedeutet, dass die Dynamik geistiger Prozesse – also die Dynamik der Attraktoren des Netzes – nicht im Computer rekonstruiert werden kann.

Ich fasse zusammen: Die Attraktoren des Zustandsraums des neuronalen Netzes existieren in einem Computer nicht. Ihre Simulation ist nicht möglich, weil die Dynamik ihrer Interaktionen ein *eigenständiges Element* der Wirklichkeit und ihrer Beschreibung darstellt und nicht auf die Dynamik lokaler Entitäten reduzierbar ist. Daher kann das Zusammenwirken der Dynamik der lokalen Entitäten (der Neurone) und der globalen Entitäten (der Attraktoren, d.h. der geistigen Zustände) nicht durch eine Kette von Transformationen von Variablen abgebildet werden.

Letztlich besagt dieses Argument, dass ein geistiger Zustand *ein unteilbares Seiendes* ist. Geistige Zustände sind Einheiten von *Bedeutung und EMPFINDUNG*. Als solche sind sie unteilbar und können nur *als Ganze* miteinander interagieren, und diese Bedingung überträgt sich auf die physikalische Gestalt, auf das neuronale Muster, den Attraktor, der die notwendige Voraussetzung für die Existenz des geistigen Zustands ist.

Damit ist auch geklärt, inwiefern M und T nicht isomorph sind. Die Entitäten, von denen die Dynamik von M *eigentlich* bestimmt wird, existieren in T überhaupt nicht, weder als sie selbst noch in simulierter Form. Also können auch die Übergangsregeln der Zustände von M in T nicht existieren.

Auch wenn die Übergangsregeln von T eine vollständige und beliebig genaue Simulation der Zustände von M in einem bestimmten Zeitintervall ermöglichen, kann doch mit Sicherheit behauptet werden, dass diese Regeln die *kausalen Beziehungen* – jene Beziehungen, von denen die Entwicklung des wirklich existierenden Systems M *tatsächlich* abhängt, wie z.B. *Gründe* – nicht enthalten.

Daraus geht hervor, dass die Dynamik eines Systems nicht mit einer Funktion gleichgesetzt werden darf, aus der sich eine Zustandsfolge des Systems in einem gegebenen Zeitraum berechnen lässt. Zwischen beiden besteht eine unaufhebbare ontologische Differenz.

Das ist also der Grund, warum zwar einerseits in T ein Algorithmus implementiert werden kann, der eine Folge von Zuständen erzeugt, die den Zuständen von M in einem gewählten Zeitraum entsprechen, warum aber andererseits dieser Algorithmus nicht über diesen Zeitraum hinaus gilt: Die Struktur des Zustandsraums des neuronalen Netzes M wird durch das Beziehungsgeflecht geistiger Zustände bestimmt, und es ist nicht möglich, diese Struktur durch einen Algorithmus zu reproduzieren, weil die Beziehungen der geistigen Zustände nicht formalisierbar sind.

Diese Aussage ist auch der erste Schritt zur Begründung der metaphysischen Behauptung, dass T nicht versteht, was geschieht.

Den zweiten Schritt bildet die folgende, in den Abschnitten 5.3 und 5.4 dieses Kapitels abgeleitete Aussage:

Die Verwandlung physikalischer Zustände – neuronaler Muster, die Attraktoren der globalen neuronalen Dynamik sind und etwas repräsentieren – in Qualia kann sich nur dann vollziehen, wenn auch diese Muster selbst wiederum in einem so hohen Grad miteinander vernetzt sind, dass ihr Informationsgehalt durch diese interne Vernetzung bestimmt wird und nicht als Funktion anderer – innerer oder äußerer – Gegebenheiten aufgefasst werden kann.

Wenn nun aber dieses wandlungsfähige Attraktor-Netz in einem Computer nicht existiert, weil seine Dynamik nicht durch Transformation von Variablenwerten simuliert werden kann, dann folgt daraus, dass ein Computer keinen Geist hervorbringt. Seine Zustände sind keine Qualia. Seine Dynamik bleibt reine Informationsverarbeitung und wird nie zu Geist.

*Verstehen* ist aber ein geistiger Prozess. Also gibt es in Computern kein Verstehen.

Es bleibt jedoch offen, wie weit es gelingen kann, bestimmte geistige Leistungen durch (geistlose) Simulationen zu rekonstruieren. Der Raum des Möglichen scheint aber in fast allen Fällen wesentlich enger zu sein als das Ausmaß der jeweiligen Hoffnungen; Nur selten bestätigt sich der anfängliche Optimismus über die ersten Schritte der Verwirklichung hinaus. Mit dem Verlassen begrenzter, formalisierbarer Subwelten sinken die Leistungen der Simulationen meist auf ein unakzeptables Niveau.

Es bleibt zuletzt die Frage, ob es überhaupt Geist geben kann, der nicht durch die natürliche Evolution entstanden, sondern von uns geschaffen ist. Gefragt ist also nicht die Möglichkeit der Erzeugung von künstlicher *Intelligenz*, sondern von künstlichem *Geist*.

Ich sehe keinen prinzipiellen Grund, die Existenz eines von uns geschaffenen Geistes auszuschließen.<sup>159</sup> Es ist allerdings zurzeit unklar, wie ein System, das Geist hervorbringt, auf andere als auf biologische Weise realisiert werden könnte.

Außerdem lässt sich auch nicht abschätzen, wie viel evolutionäre Erfahrung – die bei der Erzeugung von künstlichem Geist technisch umgesetzt werden müsste – in die Chemie und Struktur eines menschlichen neuronalen Netzes und des zugehörigen Körpers eingegangen ist.

---

<sup>159</sup> Allerdings folgt im nächsten Abschnitt (5.10. Der metaphysische Unterschied zwischen Wirklichkeit und Simulation) eine prinzipielle Einschränkung.

Es ist aber anzunehmen, dass es wesentlich mehr ist, als diejenigen meinen, die gegenwärtig über eine Optimierung des Menschen nachdenken.

Bemerkung:

Letztlich gehen alle formalen und technischen Argumente, warum die Dynamik natürlicher Systeme nicht exakt simuliert werden kann, auf die Tatsache zurück, dass die Natur kein algorithmisches System ist; Sie erzeugt die Zukunft aus der Gegenwart nicht durch die Anwendung eines Algorithmus, sondern allein aus den an jedem Ort gegebenen differenziellen Bedingungen.

Wie im vierten Kapitel ausgeführt, kann die Art, wie die Natur die Zukunft erzeugt, nicht auf eine Beschreibung oder ein Modell übertragen werden. Deshalb ist eine genaue und vollständige Beschreibung oder Modellierung der Wirklichkeit unmöglich.

Damit ist Simulationen eine prinzipielle Grenze gesetzt.

In denjenigen Bereichen der Wirklichkeit, wo sich die Natur durch die Bildung von Ordnung und den daraus folgenden Strukturgesetzen algorithmischer Beschreibbarkeit nähert, ist diese Grenze ohne Bedeutung. Ein bekanntes Beispiel sind atomare und molekulare Vorgänge. Hier ist in manchen Fällen eine Beschreibung möglich, die sich von der Wirklichkeit nicht mehr messbar unterscheidet.

Es gibt aber auch Bereiche, die sich der Beschreibbarkeit weitgehend entziehen.

Und im Fall von Geist geht dadurch bei der Simulation genau das verloren, was eigentlich simuliert werden sollte.

## Warum Computer keinen Geist hervorbringen; die *metaphysische* Begründung

Die metaphysische Erklärung, warum Computer keine Qualia hervorbringen können, ist viel kürzer und einfacher als die formale:

*Zustände* von Computern sind Listen, die die Zeichen 0 und 1 enthalten. Ein Computerzustand ist also nichts anderes als eine *Zahl*, und die Dynamik eines Computers ist eine Folge von Transformationen von Zahlen.

Notwendige Bedingung für die Verwandlung eines physikalischen Zustands in ein Quale ist, dass seine Akzidenzien nicht als Funktion einfacherer Akzidenzien oder als Funktion äußerer oder innerer (nicht-geistiger) Bedingungen aufgefasst werden können. Nur dann kann die zweite Substanz EMPFINDUNG entstehen.

Diese Aussage muss an die Verhältnisse im Computer angepasst werden: die Akzidenzien sind dasjenige, woraus sich die Dynamik des Systems zusammensetzt, also das Programm bzw. die Transformationsregeln. Wenn das Programm *lernfähig* ist, können sich die Transformationsregeln ändern. Es gibt jedoch keine "einfacheren" Transformationsregeln, sondern nur "frühere".

Damit lässt sich die notwendige Bedingung für das Auftreten von Qualia in einem Computer formulieren:

*Die Transformationsregeln dürfen keine Funktionen früherer Transformationsregeln, vorhergehender Zustände und des aktuellen Inputs sein.*

Jeder Zustand des Computers ist aber eine Funktion des Inputs, des vorhergehenden Zustands und der darauf angewendeten Transformationsregeln, und dasselbe gilt für jedes Set von Transformationsregeln. Es ist eine Kette funktioneller Abhängigkeiten, die nie unterbrochen wird und bis zum Anfangszustand und dem anfänglichen Programm zurückführt.

Und daraus folgt, dass die Verwandlung in ein Quale niemals stattfindet. Es gibt keinen *Geist in der Maschine*.

## ***5.10. Der metaphysische Unterschied zwischen Wirklichkeit und Simulation***

Alle bisherigen Argumentationen über die Begrenztheit von Simulationen waren zumindest teilweise formaler Natur. Es existiert jedoch auch ein rein metaphysisches Argument, das auf dem Unterschied zwischen Wirklichkeit und Simulation beruht und aus dem sich eine prinzipielle Grenze für Simulationen ableiten lässt. Es lautet folgendermaßen:

Die Wirklichkeit besteht aus *Substanz und Akzidenzien*. Substanz ist das, *wovon* die Wirkungen des Seienden ausgehen, und zugleich das, was den Akzidenzien die metaphysische Qualität *Aktivität* verleiht.

Von einem wirklich existierenden System können auf eine Beschreibung oder ein Modell des Systems jedoch *nur die Akzidenzien* übertragen werden. Deshalb fehlt den Beschreibungen und Modellen diese Aktivität; *Von sich aus* sind sie *passiv*, sie bestehen nur aus Akzidenzien.

Eine Simulation ist aber nichts anderes als ein Modell der Wirklichkeit, das auf irgendeine Weise *aktiviert* wird. Auch eine Simulation ist also nicht von sich aus aktiv, sondern bedarf einer äußeren Aktivierung

Betrachten wir zur Illustration das System Sonne, Erde und Mond:

Es kann ein Modell der drei Körper angefertigt werden, ein sogenanntes *Tellurium*. Durch geeignete mechanische Vorrichtungen (Zahnräder, Wellen, Ketten usw.) kann die Bewegung von Erde und Mond annähernd nachgeahmt werden, aber nur dann, wenn dem Modell von außen Aktivität zugeführt wird, z.B. durch eine Kurbel oder einen Elektromotor. *Von sich aus* ist es *passiv*.

Die Bewegungen der Körper können auch im Computer berechnet und dann auf einen 3D-Schirm übertragen werden. Aber auch das in der Form von Gleichungen und Anfangsbedingungen und den zugehörigen näherungsweise Lösungsverfahren im Computer implementierte Modell ist *passiv*; erst wenn der Strom eingeschaltet wird, beginnt die Simulation zu laufen.

Definieren wir also:

*Eine Simulation ist die Rekonstruktion der Dynamik eines Systems A in einem anderen System B, das sich von A auf folgende Weise unterscheidet:*

*Die Dynamik von A ergibt sich aus der Substanz und den Akzidenzien der Objekte von A, d.h. die Objekte von A sind von sich aus und ihrem Wesen gemäß aktiv und erzeugen so die Dynamik von A.*

*Die Dynamik von B ergibt sich jedoch nicht aus der Substanz und den Akzidenzien der Objekte von B, sondern aus der von uns geplanten und ausgeführten Konstruktion von B.*

*Metaphysisch ausgedrückt: Die Objekte von B dienen nur als materielle Basis konstruierter Akzidenzien, die somit ohne zugehörige Substanz auftreten. Da diesen Akzidenzien die Substanz fehlt, sind sie nicht von sich aus aktiv. Die Aktivität muss dem System B daher von außen zugeführt werden.*

Diese Definition lässt sich wieder am Beispiel des Telluriums veranschaulichen:

Im wirklichen System Sonne, Erde und Mond bewegen sich die Objekte *von selbst* und ihrem Wesen gemäß, also aufgrund ihrer Gravitation.

In der Simulation ist die wesensgemäße Aktivität der Modellkörper – die Gravitation, die sich als ihr Gewicht äußert – zwar vorhanden, aber sie trägt nichts zur simulierten Dynamik bei. Dafür ist die *von uns* erstellte Konstruktion des Telluriums verantwortlich – eben die Zahnräder, Wellen, Ketten usw. Das Modell bewegt sich nicht von selbst, sondern nur, wenn es angetrieben wird. Erst dann imitieren die Modellkörper die Bewegungen der Himmelskörper.

Aus dem soeben bestimmten Unterschied zwischen Wirklichkeit und Simulation folgt der wichtige

### **Satz**

***Bei der Simulation eines Seienden geht das Wesen dieses Seienden verloren.***

Ein Tellurium imitiert zwar die Bewegungen der Himmelskörper, aber *nicht durch Gravitation*. Die metaphysische Einheit der Substanz *Masse* und des zugehörigen Akzidens *Gravitation* – das *Wesen des Seienden* im wirklich existierenden System – verschwindet in der Simulation. Hier erfolgt die Bewegung aufgrund konstruierter, *masseloser* Akzidenzien.

Ein Computerprogramm kann geistige Leistungen nachahmen, aber *nicht durch Geist*. Die metaphysische Einheit der Substanz *EMPFINDUNG* und des Akzidens *Bedeutung* – das *Quale* im wirklich existierenden neuronalen Netz – verschwindet im Fall des Computers. Die Imitation der geistigen Leistungen erfolgt aufgrund konstruierter, *empfindungsloser* Akzidenzien.

Wenn wir also ein System herstellen wollen, das Geist hervorbringt, dann kann dieses System keine *Simulation* von Geist sein.

Um es noch deutlicher zu sagen:

*Es gibt keine Simulation von Geist, weil in der Simulation das Wesen des Seienden verloren geht. Vom Quale, dessen Wesen die Einheit von EMPFINDUNG und Bedeutung ist, bleibt in der Simulation nur die Bedeutung übrig, d.h. der Informationsgehalt.*

Durch die Ebene der konstruierten Akzidenzien wird die metaphysische Einheit von Substanz und Akzidenzien aufgehoben, die in keiner Beschreibung enthalten ist, und über die nicht vollständig erfassbare Dynamik der Wirklichkeit wird ein Algorithmus gebreitet, eine *nur aus Akzidenzien* bestehende Schicht der Wirklichkeit. Die Substanz EMPFINDUNG hat hier keinen Platz.

Im Fall der Gravitation erscheint die Tatsache des Verschwindens der Substanz selbstverständlich: gleichgültig, wie perfekt der Zusammenhang der Objekte, deren Bewegungen die gravitative Dynamik nachahmen sollen, auch konstruiert sein mag – was die Objekte antreibt, *ist nicht* die (abgeleitete) Substanz *Masse*. Die Ursache ihrer Dynamik ist nicht Gravitation, und sie kann auch niemals zu Gravitation werden. Das Simulations-Szenario enthält keine Gravitation.

Im Fall von Geist verhält es sich genauso. Gleichgültig, wie genau die Simulation ist – was auch immer die Entitäten der Simulation antreibt, *ist nicht* die Substanz EMPFINDUNG, und es kann auch nicht dazu werden. Die Simulation enthält keine Empfindung. *Sie enthält keinen Geist.*

### **Korollar**

#### ***Die Simulation von Geist ist nicht möglich.***

Bei der evolutionären Entfaltung der Natur geht die metaphysische Qualität *Aktivität* von jeder Schicht des Seienden auf die nächsthöhere, komplexere über. Im letzten Schritt entsteht Geist durch die Verwandlung der ersten Substanz in die zweite. Aber diese Verwandlung der Substanz ereignet sich nur *für uns*. *An sich* sind Substanz und Akzidens in jeder Schicht des Seienden *ungetrennt*, und sie entfalten sich *als Eines*.

Bei einer Simulation sind die Akzidenzien, aus denen die Dynamik gebildet ist, substanzlos. Für die Entstehung von Geist wäre es jedoch erforderlich, dass zu diesen Akzidenzien eine Substanz gehört, die sich in EMPFINDUNG verwandelt. Diese Substanz kann aber nicht einfach "entstehen". Damit

sich die Verwandlung ereignen könnte, müsste ebendiese Substanz im System schon vorhanden sein. Die Substanz, die dort tatsächlich vorhanden ist – die der Elemente der Simulation – ist aber nicht die zu den Akzidenzien der Simulation gehörende Substanz, und deshalb kann sie sich nicht in EMPFINDUNG verwandeln und mit den Akzidenzien vereint zum *Quale* werden. Die Simulation bringt also keine Empfindung hervor, mit anderen Worten: *sie empfindet nichts*.

*Empfindung* ist kein Akzidens, keine Eigenschaft eines Systems oder seiner Elemente. Sie kann nicht *konstruiert* werden, sondern nur aus der wesensgemäßen Aktivität des Seienden hervorgehen.

Das bedeutet, dass es bei der Schaffung von Geist notwendig ist, die Ebene substanzloser, konstruierter Akzidenzien zu vermeiden. Die Objekte, deren Dynamik zur Entstehung von Geist führen soll, müssen dies aufgrund ihres Wesens leisten, d.h. durch ihre eigenen Akzidenzien und mittels der Aktivität, die diesen Akzidenzien durch ihre Substanz verliehen wird.

Es ist somit nicht möglich, Geist durch eine auf Silizium oder Materialien mit vergleichbaren Eigenschaften basierende Technologie zu erzeugen. Geist kann von uns nur in Form einer "künstlichen Evolution" geschaffen werden. Dadurch wird die Schaffung von Geist in eine entfernte, vielleicht unerreichbare Zukunft verschoben.

### Addendum

Die Hoffnung, Computer könnten irgendwann in der Zukunft zu Empfindungen fähig sein, beruht auf der Verwechslung eines *wirklich existierenden Systems* mit der *zeitlichen Entwicklung seines Zustands*.<sup>160</sup>

Diese Verwechslung zeigt sich schon am Begriff selbst: im alltäglichen Gebrauch bezieht sich der Ausdruck "Zustand" auf etwas Existierendes. Der physikalische "Zustand" eines Systems ist jedoch bloß eine Liste von Zahlen – die Werte der Systemvariablen –, und eine Computersimulation ist die sukzessive Transformation dieser Zahlen. Es ist dabei gleichgültig, auf welche Weise die Liste codiert wird und welches Speichermedium verwendet wird. Ebenso gleichgültig ist es, wie die Transformation durchgeführt wird und auf welcher Art von Maschine sie stattfindet. Es bleiben doch immer nur *Zahlen*, die transformiert und gespeichert werden. Es bleibt immer eine *Zustandsfolge*, eine zeitlich veränderliche Liste von Zahlen, und sie wird niemals identisch mit dem *wirklich existierenden System*.

---

<sup>160</sup> Zur Erinnerung: Als *Zustand* eines physikalischen Systems bezeichnet man die Kombination der Werte aller Variablen des Systems zu einem bestimmten Zeitpunkt.



Die in diesem Abschnitt gegebene Definition der Simulation als einer Dynamik aus konstruierten Akzidenzien ohne Substanz wird durch dieses Bild der Computersimulation konkretisiert und veranschaulicht. Hier wird verständlich, was *konstruierte, substanzlose Akzidenzien* sind, die eine materielle Basis benötigen, und was es im Gegensatz dazu bedeutet, dass das wirkliche System sich aufgrund der *wesensgemäßen Aktivität* seiner Elemente entwickelt, die aus der *untrennbaren Einheit von Substanz und Akzidenzien* hervorgeht:

In der Simulation sind die Variablenwerte auf einer materiellen Basis gespeichert. Sie werden zu einem Rechenwerk transportiert, neu berechnet und dann zurücktransportiert, um als Output für ein Momentbild der Simulation zu dienen. Die Variablen stehen hier nicht für die Akzidenzien des Speichermediums oder des Rechenwerks – sie sind vom Rechenwerk und vom Speicher trennbar und gehen mit diesen nur zum Zweck der Simulation eine vorübergehende Verbindung ein. Rechenwerk und Speicher sind also nicht die zu diesen Variablen gehörende Substanz, sondern nur deren materielle Basis. Eine materielle Basis kann sich aber nicht in EMPFINDUNG verwandeln – das kann nur eine Substanz, die untrennbar mit Akzidenzien verbunden ist, aus denen komplexere, nicht-ableitbare Akzidenzien entstehen.

Das wirklich existierende System ist nicht bloß eine zeitlich veränderliche Liste von Zahlen. Im wirklichen System gibt es keine Zahlen, die in einen Speicher geschrieben, transformiert oder auch wieder gelöscht werden können, sondern *Eigenschaften von Dingen*, die mit diesen Dingen untrennbar verbunden sind und aus denen sich die Dynamik des Systems entfaltet. Im Fall menschlicher neuronaler Netze führt das zur Bildung nicht-ableitbarer Akzidenzien, zur Verwandlung der zugehörigen Substanz und damit zur Entstehung von Geist.

*Existenz* ist mehr als eine *Zustandsfolge mit Übergangsregeln*. Intuitiv ist das vermutlich (fast) jedem Menschen klar. Wäre die Verwechslung von Wirklichkeit und Beschreibung in unserer naturwissenschaftlich-technisch ausgerichteten Kultur nicht schon so weit fortgeschritten, dann könnte die Vorstellung der Computersimulation geradezu als Paradigma für die Empfindungslosigkeit von Simulationen dienen, weil es ja offensichtlich ist, dass die Gesamtheit der Akte der Variablenberechnung und -speicherung niemals eine Empfindung hervorbringen kann.

Solange man aber von dieser intuitiv einsichtigen Tatsache keinen Begriff hat, ist sie letztlich *unbegründbar*. Genau das war bisher der Fall, und daraus resultierte die Unklarheit und Verwirrung bei der Frage, ob Simulationen verstehen und empfinden können. Erst durch die begriffliche Bestimmung und Analyse des Unterschieds zwischen Wirklichkeit und Beschreibung sowie zwischen Wirklichkeit und Simulation, die wir hier durchgeführt haben, wird Klarheit geschaffen; Daraus lässt sich ableiten, dass Computer nicht zu Empfindungen fähig sind und dass sie niemals Geist hervorbringen können, gleichgültig, in welchem Maß ihre Leistung noch gesteigert wird.

Zuletzt noch eine Bemerkung zu künstlichen neuronalen Netzen. Wenn sie durch *Software* auf einem konventionellen Rechner realisiert werden, dann gilt für sie alles, was soeben über Computersimulationen gesagt wurde. Was ist aber mit künstlichen Netzen, die bereits als solche konstruiert, also durch *Hardware* realisiert sind? Können sie die zuvor bestimmte Grenze für Simulationen durchbrechen? Sind sie zur Bildung von Geist fähig?

Nein. Unser metaphysisches Argument greift auch in diesem Fall: Immer dann, wenn die Elemente eines Systems *von uns konstruiert* sind, ist damit eine Ebene *substanzloser Akzidenzien* geschaffen. Somit fehlt die Substanz, die sich in die zweite Substanz EMPFINDUNG verwandeln könnte. Die Entstehung von Empfindung und Geist findet nicht statt.

Das ist ein rein metaphysisches Argument. Lässt es sich auch *formal* interpretieren? Ich denke ja: Die Wirklichkeit ist nicht determiniert; die Zukunft ist nicht in der Gegenwart enthalten. Daher existiert *Kausalität von oben*, und das bedeutet, dass sich durch Selbstorganisation komplexe, eigenständige Entitäten bilden können, die eine neue Schicht der Wirklichkeit formen, mit einer eigenen Dynamik, die nicht aus der Dynamik einer darunter liegenden Schicht ableitbar ist. Somit können diese komplexen Entitäten als *Ursache* des Geschehens aufgefasst werden – genau so, wie es bei *geistigen Zuständen* der Fall ist.

In einem von uns konstruierten System bleibt dagegen die Dynamik immer durch *Kausalität von unten* vorgegeben. Die zeitliche Entwicklung des Systemzustands ist vollständig durch Regeln festgelegt. Komplexe Aggregate aus einfacheren Elementen bilden keine neue, eigenständige Systemebene. Ihre Dynamik ist durch die von uns konstruierte Dynamik des Systems bestimmt. *Geist* als eigenständiges Phänomen kann also nicht auftreten. Es ist nicht möglich, Geist zu *konstruieren*.<sup>161</sup>

Der Übergang von einem wirklich existierenden System zu einer Simulation, d.h. zu einem konstruierten System, ist gleichbedeutend mit einer *Verarmung* des Systems. Der Reichtum an Möglichkeiten der Gestaltbildung, der im *Wesen der Wirklichkeit* begründet liegt – das darin besteht, *Substanz und Akzidens* zu sein – verschwindet in der Konstruktion. Sie besteht *nur aus Akzidenzien*, also fehlt ihr die metaphysische Qualität *Aktivität*, und das bedeutet, dass eine Konstruktion – ebenso wie eine Beschreibung – die Weise, wie die Wirklichkeit die Zukunft erzeugt, nicht nachahmen kann.

Das Gewebe der Wirklichkeit ist von unendlicher Feinheit. Es kann durch unsere Konstruktionen nicht nachgebildet werden.

---

<sup>161</sup>Das gilt auch für den Fall, dass die Konstruktion nicht-algorithmisch ist. Auch dann wird durch die metaphysische Argumentation das Entstehen von Geist ausgeschlossen. Das metaphysische Argument ist also stärker als das formale.

## 6. Wirklichkeit und Mathematik

Mit dem Abschluss des Kapitels über Qualia ist das Projekt dieses Buchs vollendet, einen Begriff der Wirklichkeit zu erstellen, der es erlaubt, *Was ist-* und *Warum-* Fragen nicht bloß formal zu behandeln, sondern bis auf ihren metaphysischen Grund zu verfolgen und dadurch zu beantworten, und der es ermöglicht, die Wirklichkeit in sich geschlossen und vollständig zu denken, mit *allen* zur Wirklichkeit gehörenden Phänomenen.

Es ist jedoch noch etwas zu erledigen: in 1.4. habe ich eine Erklärung angekündigt, warum Mathematik und Logik nicht "außerhalb" des Universums existieren, sondern aus diesem Universum hervorgehen und ein Teil davon sind. Das ist der Gegenstand dieses Kapitels.

### 6.1. Einleitung: Der Zusammenhang zwischen Wirklichkeit und Mathematik

Was ist Mathematik? Die Wissenschaft von Relationen zwischen Objekten und den daraus entstehenden Strukturen.

Was ist Wirklichkeit *für uns*? Relationen zwischen Objekten und die daraus entstehenden Strukturen.

Damit offenbart sich ganz unmittelbar ein enger Zusammenhang zwischen Wirklichkeit und Mathematik, der allerdings nur beim ersten Hinsehen als mögliche Identität von Wirklichkeit und einer ihr entsprechenden mathematischen Struktur erscheint. Denn schon der nächste gedankliche Schritt beweist – wie am Beginn des zweiten Teils ausgeführt – dass es einen unüberwindlichen Unterschied zwischen der Wirklichkeit und ihren Beschreibungen gibt: die Objekte der Wirklichkeit *existieren*, während die Objekte der Beschreibungen nur *definiert* sind. Deshalb fehlt der Mathematik – ebenso wie jedem anderen Beschreibungssystem – die *Substanz*, und es mangelt ihr somit auch an der metaphysischen Qualität *Aktivität*.

Das bedeutet aber nicht etwa, dass der soeben festgestellte enge Zusammenhang zwischen Mathematik und Wirklichkeit aufgehoben ist. Es besagt nur, dass die Wirklichkeit niemals mit einer mathematischen Struktur identisch sein kann, und dass es sich bei dem notwendig verbleibenden Unterschied um einen metaphysischen Unterschied handelt.

Aber selbst wenn dieser Unterschied metaphysischer Art ist, muss er sich doch auch formal äußern: Würde er sich formal nicht bemerkbar machen, dann bliebe die Verschiedenheit von Mathematik und

Wirklichkeit *für uns* ohne Folgen, und es wäre dann nicht sinnvoll, eine solche Verschiedenheit zu behaupten.

Wie sich der metaphysische Unterschied zwischen Mathematik und Wirklichkeit als Begrenzung der formalen Beschreibbarkeit wirklicher Systeme und der Wirklichkeit insgesamt bemerkbar macht, war eines der Themen der vorhergehenden Kapitel. Hier eine kurze Zusammenfassung:

Jedes mathematische System besteht aus einer *vorgegebenen Menge von Axiomen und Regeln*.

Hingegen erzeugt die Wirklichkeit – aufgrund ihrer metaphysischen Qualität *Aktivität* – immer wieder *neue Regeln*, die nicht aus den bis dahin gültigen Regeln abgeleitet werden können. Versucht man, die Wirklichkeit auf ein mathematisches System abzubilden, dann erzeugt sie permanent Zustände, die – als Sätze des Systems ausgedrückt – Gödel-Sätzen, also nicht-ableitbaren Sätzen entsprechen. Das bedeutet: *die Wirklichkeit transzendiert jedes mögliche mathematische System*.

Wir wissen aber, dass viele Bereiche der Wirklichkeit sich durch eine mathematische Beschreibung ausgezeichnet annähern lassen. Dürfen wir annehmen, dass wir die jeweils beste Näherung finden können? Oder besteht die Möglichkeit, dass die Beschreibung der Wirklichkeit eine mathematische Struktur erfordert, zu der wir – ausgehend von der Mathematik, die uns zugänglich ist – niemals gelangen werden? Das ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auszuschließen. Dagegen spricht die Art der Verbindung zwischen Mathematik und Physik auf der einen und der Wirklichkeit auf der anderen Seite: Mathematik beginnt mit *Zählen*, und Physik beginnt mit *Messen*. Die Wirklichkeit ist zählbar und messbar, und die Messwerte weisen in vielen Fällen Gesetzmäßigkeiten auf. Warum das so ist, habe ich im Anfangskapitel dieses dritten Teils meiner Arbeit beschrieben: Die Wirklichkeit *entsteht* aus einem Gesetz, sie *ist* das Gesetz – sofern der Begriff *Gesetz* nicht bloß formal, sondern metaphysisch aufgefasst wird, d.h. als *das, was sich vollzieht*. (Auf die Frage der Zählbarkeit komme ich gleich anschließend zurück.)

Zusammenfassend lässt sich feststellen:

Einerseits ist es keineswegs geheimnisvoll oder erstaunlich, dass Mathematik zur Beschreibung der Wirklichkeit geeignet ist, sondern selbstverständlich. Andererseits bestehen aber auch Einschränkungen, die in der hier vorgestellten Sicht der Wirklichkeit letztlich darauf zurückgehen, dass es unmöglich ist, durch mathematische Verfahren nachzuahmen, wie die Wirklichkeit die Zukunft erzeugt, weil es auf eine nicht-algorithmische Weise geschieht, die die metaphysische Qualität *Aktivität* voraussetzt.

Dennoch ist Mathematik unter allen möglichen Beschreibungen diejenige, die die Akzidenzien der Objekte der Wirklichkeit – die *Struktur* der gegenständlichen Wirklichkeit – am genauesten wiedergibt, sofern die beschriebenen Entitäten und Prozesse zum Bereich der *Materie* gehören.

Auch der *Ursprung des Seienden*, der *an sich* nicht in Substanz und Akzidens zerfällt, ist als das, was er *für uns* ist – als sich veränderndes Kontinuum – durch das Verfahren des Grenzübergangs mathematisch erfassbar.

Zum Verständnis *geistiger Phänomene* ist jedoch eine eigene, an das Wesen des Geistes – die Einheit von EMPFINDUNG und Bedeutung – angepasste Beschreibung besser geeignet. Mathematik und Naturwissenschaften haben hier nur noch assistierende Funktion; Der Versuch, Geist auf naturwissenschaftliche Weise zu erfassen, offenbart die metaphysischen Defizite der mathematischen und naturwissenschaftlichen Begriffe und Methoden.

## **6.2. Kurzer Exkurs: die drei Welten**

Ich halte die Einteilung des Existierenden<sup>162</sup> in die Welt der materiellen Objekte (Welt 1), die Welt des Geistes (Welt 2) und die Welt der geistigen Produkte (Welt 3) für richtig und notwendig. Wie jede bloße Aufzählung ist sie jedoch unbefriedigend.<sup>163</sup>

Mit den hier entwickelten Begriffen ist es nun ein Leichtes, diese Aufzählung durch die Beantwortung folgender Fragen zu einer strukturellen Hypothese über die Wirklichkeit zu vervollständigen:

- Welche Gründe zwingen uns dazu, die Welt auf diese Weise einzuteilen?
- Wie hängen die drei Welten zusammen? Wie können die Welten 2 und 3 auf die Welt 1 einwirken?
- Wodurch unterscheiden sich Objekte, die in verschiedenen Welten existieren, voneinander?

Alle drei Fragen sind hier schon beantwortet worden, allerdings ohne dass explizit darauf hingewiesen wurde.

---

<sup>162</sup> Kurz und übersichtlich in: *Karl R. Popper: Three Worlds: The Tanner Lecture on Human Values at the University of Michigan, April 7, 1978*

<sup>163</sup> Die Argumente, die Popper für diese Einteilung angibt, sind nicht wirklich zwingend. Alle seine Aussagen lassen sich problemlos reduktionistisch übersetzen. Es fehlt einfach an einer *systematischen* Begründung.

In unserer Terminologie ist die Welt 1 die Welt der *ersten Substanz*, die Welt 2 ist die Welt der *zweiten Substanz*, und die Welt 3 ist die Welt *ohne Substanz*.

Ist das nicht bloß eine weitere Aufzählung? Keineswegs! Hier zur Erinnerung eine kurze Wiederholung der Gedankengänge, die die geforderten Antworten enthalten:

Die Einführung des Begriffs *Substanz* ist notwendig, um der evidenten Tatsache gerecht zu werden, dass Objekte der Wirklichkeit – im Gegensatz zu Objekten in einer Beschreibung – *aktiv* sind, und dass diese Aktivität *von etwas* ausgehen muss, was als solches in Beschreibungen nicht vorkommt. Dies lässt sich begrifflich durch die Aussage fassen, dass die Objekte der Wirklichkeit aus *Substanz und Akzidenzien* bestehen, die Objekte von Beschreibungen hingegen *nur aus Akzidenzien* – sie sind *substanzlos*.

Bei Objekten der Wirklichkeit sind Substanz und Akzidenzien untrennbar verbunden. Das ergibt sich unmittelbar aus der Tatsache, dass es unmöglich ist, wirklichen Objekten ihre *Aktivität* zu nehmen – es ist offensichtlich unmöglich, die Erde von ihrer Gravitation zu trennen.

Solange sich die Akzidenzien, die bei der Entfaltung der Natur zu immer komplexeren Strukturen entstehen, als Funktion einfacherer Akzidenzien darstellen lassen, bleiben diese Akzidenzien durch eine Kette funktioneller Abhängigkeiten mit dem einfachsten Akzidens – dem ersten Akzidens – und dadurch auch mit dessen Substanz – der ersten Substanz – verbunden.

Die Akzidenzien geistiger Entitäten – intrinsische Bedeutungen – sind jedoch nicht mehr als Funktionen einfacherer Akzidenzien darstellbar. Dadurch ist ihre Verbindung mit der anfänglich angenommenen Substanz unterbrochen, und daraus folgt die Notwendigkeit der Einführung einer weiteren Substanz bzw. einer verwandelten Substanz, mit der das Akzidens intrinsische Bedeutung untrennbar verbunden ist. Diese zweite Substanz muss genau das sein, was den Beschreibungen geistiger Entitäten fehlt, und das ist EMPFINDUNG. Die erste Substanz AGENS bzw. RAUMZEIT verwandelt sich durch die Entstehung von geistigem Seienden in die zweite Substanz EMPFINDUNG.

Wie zu sehen ist, sind alle diese Aussagen direkte Konsequenzen der Einsicht, die am Anfang stand: der Einsicht, dass Objekte der Wirklichkeit *aktiv* sind, dass diese Aktivität *von etwas* ausgehen bzw. *zu etwas* gehören muss – alles folgt also aus der Annahme der *Substanz*.

In diesen Aussagen sind aber bereits die Definitionen der drei Welten enthalten. Somit erweist sich die Einteilung der Welt in eine materielle Welt, eine geistige Welt und eine Welt der Produkte des Geistes ebenfalls als direkte Konsequenz der (notwendigen) Einführung der Substanz. Sowohl der Zusammen-

hang der drei Welten wie auch ihre Verschiedenheiten werden durch die obenstehenden Schlussfolgerungen auf einfache Weise aufgeklärt.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist der folgende:

Um die Einführung der Welt 2 und der Welt 3 zu rechtfertigen, ist eine Widerlegung der Hypothese erforderlich, dass Geist auf Materie reduzierbar ist. Diese Argumentation wurde im Kapitel 3. *Willensfreiheit* durchgeführt. Die Behauptung, dass die Welt 2 und die Welt 3 auf die Welt 1 kausal einwirken können, setzt darüber hinaus das Konzept der *Kausalität von oben* voraus. Dieses ist im Kapitel 3 durch Beispiele und Analogien vorbereitet und im darauf folgenden Kapitel allgemein begründet worden.

Damit ist alles Wichtige zur Notwendigkeit der Einführung der drei Welten und über ihren Zusammenhang gesagt.

Von der Welt 3 – der Welt der Produkte des Geistes – habe ich bisher allerdings nur einige Beispiele erwähnt. (Eines dieser Beispiele war *Beschreibungen der Wirklichkeit*, ein weiteres, ausführlicher dargestelltes war *Simulationen wirklich existierender Systeme*.) Deshalb sollen nun, bevor wir im nächsten Abschnitt zum eigentlichen Thema dieses Kapitels kommen – der Frage nach der Art der Existenz mathematischer Objekte und Sätze – einige allgemeine Erläuterungen zu den Entitäten der Welt 3 folgen:

Die wesentlichen Merkmale der Entitäten der Welt 3 sind genau diejenigen, die im Abschnitt über Simulation beschrieben worden sind:

Die Entitäten der Welt 3 unterscheiden sich von den Entitäten der anderen beiden Welten dadurch, dass sie keine Substanz haben und nur aus Akzidenzien bestehen. Deshalb können sie nicht selbstständig existieren; sie benötigen eine *materielle Basis*.

Diese Akzidenzien können geistiger oder materieller Art sein. Beispiele für das erste sind Bücher, Kompositionen oder Heiligtümer, Beispiele für das zweite sind Geräte, Autos oder Raketen.

Warum haben Entitäten der Welt 3 keine Substanz? Weil ihnen *Aktivität* bzw. *Empfindung* fehlt. Falls sie, wie ein Tellurium oder irgendein anderes technisches Gerät, ein System mit einer eigenen, konstruierten Dynamik bilden, muss ihnen *Aktivität* von außen zugeführt werden; falls sie etwas *bedeuten*, wie Kunstwerke oder Tempel, gehen sie die Verbindung mit der zugehörigen Substanz EMPFINDUNG erst dann ein, wenn sie von einem Wesen, das Geist besitzt, wahrgenommen und verstanden werden.

Eine notwendige Bedingung für ein Welt-3-Objekt ist, dass es seine Existenz einer *Absicht* verdankt.

Ist diese Bedingung auch hinreichend? Was ist mit Objekten, die keine Dynamik haben, sondern bloß einen Zweck erfüllen, wie etwa Tische? Sind sie zur Welt 3 zu zählen?

Das ist eine Definitionsfrage. Da aber die Einführung der Welt 3 unumgänglich und ihre Existenz somit gesichert ist, erscheint es sinnvoll, alle Objekte, die ihre Existenz einer Absicht verdanken, zur Welt 3 hinzuzunehmen.

### **6.3. Welche Existenz haben mathematische Objekte und Sätze?**

Mathematik beginnt mit Zählen.

Dass die Zahlen, mit denen man zählt, *natürliche* Zahlen genannt werden, ist allerdings irreführend, denn das sind sie gewiss nicht. Es gibt keine Zahlen in der Natur, genauer: in der Welt 1. *Wir* sind es, die zählen, mit anderen Worten: Zahlen gehören zur Beschreibung der materiellen Wirklichkeit und nicht zur materiellen Wirklichkeit selbst.

Wenn man die Zahlen, mit denen man zählt, für natürlich hält, dann steht man nach eine Reihe selbstverständlich erscheinender Schritte vor der imaginären Einheit und fragt sich vergeblich nach deren ontologischen Status. Wenn dagegen von Anfang an klar ist, dass es in der Natur keine Zahlen gibt, dann besteht der Unterschied zwischen den natürlichen und den komplexen Zahlen nur darin, dass die Beziehung der natürlichen Zahlen zu Elementen der physikalischen Wirklichkeit einfacher ist als die der komplexen Zahlen.

Zahlen können in Welt 2 und in Welt 3 auftreten:

- Sie können Elemente geistiger Prozesse sein, in denen sie als geistige Entitäten oder als Akzidenzien solcher Entitäten erscheinen.
- Wenn sie Elemente von Beschreibungen sind, die auf einer materiellen Basis unter Verwendung eines Codes auf irgendeine Art angebracht – z.B. aufgedruckt – sind, dann sind sie Entitäten der Welt 3.

Die Welt 1 enthält keine Zahlen, aber sie ist zählbar. Warum ist sie zählbar?



Die erste Voraussetzung dafür liegt in uns selbst: Wie in 3.4. *Geordnete Zustände in neuronalen Netzen* gezeigt, können wir Einzelnes weder wahrnehmen noch denken, sondern nur Allgemeines.<sup>164</sup>

Natürliche Zahlen sind solche Allgemeine, die von uns über die Wirklichkeit gebreitet werden.

Die zweite Voraussetzung ist, dass die Natur durch Selbstorganisation *Objekte* – stationäre Zustände der Kontinuumsdynamik – erzeugt, die einander hinreichend ähnlich sind, um die Bildung eines neuronalen Attraktors zu ermöglichen, der sie repräsentiert, oder anders gesagt: die unter denselben Begriff fallen. Da das Universum sich zunächst *global* selbst organisiert, so dass überall ähnliche Bedingungen für die lokale Selbstorganisation entstehen, ist diese Annahme naheliegend. Außerdem *sehen* wir ja einfach, dass sie zutrifft.

Die Mathematik folgt in ihrer Entwicklung anfangs dem Pfad, der durch die natürlichen Zahlen und die bekannten Rechenoperationen vorgegeben ist. Danach wird sie aber zum freien Spiel des Geistes mit Objekten und Strukturen, das ein Charakteristikum der Welt 2 ist.

Mathematik ist das hervorragendste Beispiel einer besonderen Art geistiger Tätigkeit: dem Erfinden und Ausarbeiten von Systemen, die *erstens* aus einer Anzahl definierter Objekte bestehen und *zweitens* aus Regeln, wie aus vorhandenen Objekten weitere Objekte konstruiert werden können. Diese Systeme sind dann zugleich Entitäten der Welt 3.

Ein Beispiel für eine solche Entität ist der Teppich, von dem im Abschnitt 4.3. *Warum die Natur kein algorithmisches System ist* die Rede war. Dort stand Folgendes: (Ich wiederhole die ganze Passage, weil sie den wesentlichen Punkt der Frage verdeutlicht, welche Existenz mathematische Objekte und Sätze haben.)

"Nehmen wir an, wir hätten die Absicht, einen vielfarbigen Teppich zu weben. Die Anfangsreihe liegt bereits vor uns, und außerdem verfügen wir über ein vollständiges Set von Web-Regeln. Nehmen wir nun ferner an, im Lauf des Web-Vorgangs entstehe auf dem Teppich irgendwann das Bild eines Löwen. Die Frage ist: Existierte dieser Löwe schon, bevor der Teppich gewebt wurde? Wenn damit gemeint ist, dass der Löwe aus der Anfangsreihe und den Web-Regeln hergestellt werden kann – in diesem Sinn also darin enthalten ist – dann ist die Antwort *ja*.

---

<sup>164</sup> Zur Erinnerung: Muster, die etwas repräsentieren, sind Attraktoren im Zustandsraum des Netzes. Attraktoren haben ein Einzugsgebiet. Punkte im Einzugsgebiet entsprechen Reizen, die durch Einzelnes ausgelöst werden, und das Einzugsgebiet im Ganzen entspricht allen möglichen Einzelfällen, die zum selben Attraktor führen. Der Attraktor ist somit die Repräsentation des Allgemeinen über diesen Einzelfällen. Als geistige Entität aufgefasst ist er also kein Einzelding, sondern ein *Universale*.

Vor einer Frage derselben Art stehen Mathematiker, wenn sie im Laufe ihrer Schlussfolgerungen auf mathematische Sätze stoßen. Diese Sätze werden offenbar nicht erfunden, sondern entdeckt. Sie sind auf dieselbe Weise in den Axiomen und Regeln des mathematischen Systems "enthalten" wie der Löwe in der Anfangsreihe und den Web-Regeln des Teppich-Systems."

Es ist also klar, welche Art Existenz mathematische Objekte und Sätze haben: Sie sind Elemente von Systemen, die von Wesen mit Geist – also in der Welt 2 – erdacht werden. Wenn es im System ein Verfahren gibt, durch das man in einer endlichen Anzahl von Schritten zu einem solchen Element gelangt, dann kann es *entdeckt* werden, und deshalb erscheint es gerechtfertigt, zu behaupten, dass dieses Element auch schon vor seiner Entdeckung existierte.

Mathematische Objekte und Sätze existieren daher *genau dann, wenn* ein System existiert, nach dessen Axiomen und Regeln sie gebildet sind. Durch die Anwendung der Regeln zur Erzeugung neuer Objekte und Sätze können sie entdeckt werden.

Damit ist das Wesentliche über die Existenz mathematischer Entitäten gesagt. Sie werden in der Welt 2 gebildet und existieren dann in der Welt 3. Deshalb ist Geist für die Existenz mathematischer Entitäten – wie für alle Entitäten der Welt 3 – eine notwendige Voraussetzung. Kurz gesagt: ohne Geist keine Mathematik.

Manche Mathematiker und Philosophen meinen allerdings, dass mathematische Objekte und Aussagen eine platonische Existenz haben, d.h. dass sie vollkommen selbständig, in der Form einer eigenständigen Wirklichkeit existieren. Der Grund dafür ist, dass mathematische Wahrheiten unabhängig von ihrer materiellen Realisierung gültig erscheinen. Das Verhältnis von Kreisumfang und Kreisdurchmesser wird immer  $\pi$  sein – und man ist versucht zu sagen: gleichgültig in welchem Universum man sich befindet oder ob es überhaupt ein Universum gibt.

Warum ist das so? Um dies aufzuklären, widmen wir uns zunächst der Frage, ob Zahlen und einfache Rechenoperationen *erfunden* oder *entdeckt* werden.

Die Antwort ergibt sich aus der zuvor erwähnten Tatsache, dass im Geist nur Allgemeines enthalten ist. Jedes Objekt, das in unserer Wahrnehmung oder in unserem Denken auftritt, ist ein *Universale*. Zum Einzelnen wird es erst durch einen Namen, durch eine Orts- und Zeitangabe oder durch eine hinreichende Anzahl von Merkmalen, die jedoch, für sich betrachtet, ebenfalls Universalien sind

Daraus folgt, dass die Welt für Wesen, die Geist besitzen, in *Mengen* eingeteilt ist. Zahlen sind aber nichts anderes als Eigenschaften solcher Mengen. (Z.B. ist die Zahl 5 diejenige Eigenschaft, die allen Mengen gemeinsam ist, die genauso viele Elemente enthalten wie ich Finger an einer Hand habe.) Mit

anderen Worten: Zählen ist eine fundamentale Handlung jedes hinreichend entwickelten Geistes, die in einem solchen Geist *mit Notwendigkeit* auftritt.

Der nächste Schritt: Die elementaren Operationen mit Zahlen entstammen den Erfahrungen, die im Umgang mit Objekten gemacht werden: 2 Schafe plus 1 Schaf ergibt 3 Schafe, und das ist ein Gesetz, das unabhängig davon gilt, ob es Schafe gibt, ja sogar unabhängig davon, *was* überhaupt gezählt wird, d.h. unabhängig von seiner materiellen Realisierung.

Hat dieses Gesetz deshalb eine platonische Existenz? Nein. Es kann erst dann auftreten, wenn die natürliche Evolution Wesen mit Geist hervorbringt, die die Welt begrifflich erfassen und einteilen.

Existierte dieses Gesetz, *bevor* es im Geist auftrat? Nein. Nichts existiert, bevor es entsteht. Auch Geist selbst existiert nicht, bevor er entsteht. Daran würde sich auch nichts ändern, wenn gezeigt werden könnte, dass Geist *mit Notwendigkeit* entsteht, in dem Sinn, dass jede mögliche Entfaltung des Kosmos Geist hervorbringen muss. Auch dann wäre es nicht sinnvoll zu behaupten, Geist existiere, bevor er tatsächlich auftritt.

Dasselbe gilt für mathematische Objekte und Sätze. Sie erscheinen als notwendige Konsequenz der Beziehung zwischen Geist und materieller Wirklichkeit. Erst mit dem Auftreten von Geist können sie existieren; vorher haben sie keine Existenz.

Die Frage, ob Zahlen und Rechenoperationen erfunden oder entdeckt werden, kann also nur mit "weder-noch" beantwortet werden:

Werden sie *entdeckt*? Nein. Es gab sie vorher nicht. Werden sie *erfunden*? Nein. Die Entwicklung des Geistes führt mit Notwendigkeit zu ihrem Erscheinen.

Selbst wenn man also annimmt, dass *jedes* Wesen, das über Geist verfügt und in hinreichendem Maß denkfähig ist, zu den Zahlen und zur Mathematik vordringt, ist dadurch nicht deren selbständige Existenz bewiesen. Vielmehr ist es die *Interaktion* von Welt 2 und Welt 1, die zwingend zur Mathematik führt, und nicht die platonische Existenz mathematischer Begriffe und Sätze.

Zahlen sind Elemente der Welten 2 und 3. In der Welt 1, der materiellen Welt, gibt es keine Zahlen. Es gibt dort auch keine Kreise, Kreisumfänge oder Kreisdurchmesser. Auch der Löwe, der auf dem Teppich erscheint, ist kein materiell existierender Löwe; er ist nur das Bild eines Löwen; aber die Aussage, dass er erscheint, *wenn* der Teppich gewebt wird, ist wahr, gleichgültig, ob er nun tatsächlich gewebt wird oder nicht.

*Keines* der Objekte der Welt 3 ist mit einem Objekt der Welt 1 identisch. Das gilt auch in jenen Fällen, wo die zeitliche Entwicklung eines wirklich existierenden Systems annähernd durch ein mathematisches System wiedergegeben werden kann. Auch die Objekte eines solchen mathematischen Systems haben keine materielle Existenz. Das mathematische System *ist nicht* das wirkliche System, und die Objekte des mathematischen Systems *sind nicht* die wirklichen Objekte.

Aus dieser *metaphysischen* Differenz folgt eine *formale* Differenz: Objekte, die in einem mathematischen System existieren, werden auf algorithmische Weise aus den Axiomen und Regeln des Systems erzeugt. Wirklich existierende Objekte hingegen entstehen aus dem fundamentalen Gesetz und den globalen Bedingungen auf nicht-algorithmische Weise. Das fundamentale Gesetz ist kein Algorithmus, und die Wirklichkeit ist kein mathematisches System. Wie zuvor festgestellt, nähert sich die Wirklichkeit im Laufe ihrer Entfaltung durch Selbstorganisation bisweilen algorithmischer Beschreibbarkeit an – dann scheinen sich Mathematik und Wirklichkeit zu berühren – ohne sie aber je ganz zu erreichen. Und gelegentlich ähneln wirkliche Strukturen oder die Bahnen wirklicher Objekte mathematischen Figuren, wie Kreisen oder Ellipsen, ohne jemals ganz mit ihnen übereinzustimmen, und wirklich existierende Systeme ähneln bisweilen physikalischen Systemen, die einem Gesetz gehorchen.

Letztlich aber handeln alle Naturgesetze – außer dem *fundamentalen* Gesetz, das jedoch auf das unendlich Kleine beschränkt bleibt – ausschließlich von idealisierten, niemals vollständig verwirklichten Systemen. Naturgesetze sind also, nicht anders als Kreise oder Ellipsen, selbst stets Idealisierungen; Es sind Schöpfungen des Geistes, Elemente von erdachten Welten, die die wirkliche Welt bloß simulieren und aus metaphysischen Gründen niemals vollständig mit ihr übereinstimmen können.

#### **6.4. Die Herkunft des Allgemeinen**

Wie gelangt das Allgemeine in die Welt? Auf zwei Wegen:

1. Die Wirklichkeit wird aus einer einzigen Regel erzeugt, die zugleich Sachverhalt und Gesetz ist.

Aus dieser differenziellen Regel entfaltet sich das Universum durch Selbstorganisation. Zunächst bildet sich ein globales Raum-Zeit-Muster, dessen einzelne Bereiche Randbedingungen für die Entstehung lokaler Raum-Zeit-Muster darstellen. Diese lokalen Muster ("Elementarteilchen") sind einander hinreichend ähnlich, um als Objekte eines Naturgesetzes auftreten zu können. Sie bilden wiederum Muster höherer Ordnung, für die dasselbe gilt. Dieser Vorgang wiederholt sich einige Male.

Die Objekte, die auf diese Weise entstehen, präsentieren sich uns als das, was der Fall ist, als das jeweils *Einzelne*. Als Einzelne könnten sie sich jedoch nicht gesetzmäßig verhalten – dazu bedarf es des *Allgemeinen*, aus dem sie verfertigt sind und das sie somit in sich tragen.

Dies ist also der erste Weg, auf dem das Allgemeine in die Wirklichkeit eintritt: Die Regel, nach der die Wirklichkeit gebildet wird, ist selbst ein Allgemeines, und sie vererbt ihre Allgemeingültigkeit auf die Gesetzmäßigkeiten der Beziehungen zwischen den aus ihr entstehenden raumzeitlichen Mustern (Objekten) – allerdings nur *näherungsweise*, da es ausschließlich Objekte und Sachverhalte gibt, die einander *ähnlich* sind, und keine, die miteinander *identisch* sind; Für die exakte Gültigkeit solcher Gesetzmäßigkeiten wäre jedoch Identität der Objekte und Sachverhalte erforderlich.

Um diese Tatsache überhaupt formulieren zu können, muss aber das Allgemeine schon im Denken vorhanden sein. Dorthin gelangt es auf folgende Weise:

2. Alle Objekte und alle Sachverhalte werden im Geist durch *Attraktoren* der Dynamik des Systems repräsentiert, das Geist hervorbringt (das neuronale Netz).

Attraktoren können aber nicht einzelne Objekte repräsentieren, sondern ausschließlich Mengen von (ähnlichen) Objekten: dadurch, dass jeder Attraktor ein Einzugsgebiet hat, werden *ähnliche Objekte* durch *denselben Attraktor* repräsentiert. Jede Wahrnehmung, jeder Begriff ist somit ein Allgemeines.

Da alle (geistigen) Objekte und Sachverhalte Allgemeine sind, gibt es in der geistigen Wirklichkeit nur Aussagen über Allgemeines. Deshalb können im Bereich des Wahrgenommenen und des Gedachten Gesetze vollkommen genau gelten, und wahre Aussagen sind möglich. Auf die materielle Wirklichkeit angewendet, bleiben sie aber nur solange wahr, als von den tatsächlich bestehenden Unterschieden abgesehen wird – wie etwa beim Zählen von Objekten oder beim Rechnen mit Objekten. Bei der Beschreibung der Dynamik realer Systeme ist es jedoch weder möglich, von bestehenden Unterschieden abzusehen, noch können diese vollständig erfasst werden. Also gibt es hier prinzipiell nur Näherungen.

Um das Verhältnis von Gesetz und Wirklichkeit zu begreifen, werden beide Quellen des Allgemeinen benötigt:

Ohne die Kenntnis der allgemeingültigen Regel, die die Wirklichkeit erzeugt, kann nicht verstanden werden, warum sich die Wirklichkeit gesetzmäßig verhält und in manchen Fällen algorithmischer Beschreibbarkeit annähert; Humes Begründungsproblem ist dann unlösbar.

Ohne das Wissen, dass Objekte und Sachverhalte durch Attraktoren repräsentiert werden, bleibt die Herkunft des Allgemeinen im Dunklen.

Wenn das Wissen von einer der beiden Quellen fehlte, dann wäre die Annahme einer eigenständigen, platonischen Existenz des Allgemeinen unvermeidlich. Wie jede Art von Dualismus oder Pluralismus würde aber auch diese Annahme an der Unlösbarkeit des Problems des Zusammenwirkens scheitern: Die Frage, wie Gesetz und Seiendes zusammenhängen – wie also das Allgemeine auf das Einzelne, das jeweilige Seiende *einwirkt* oder auf welche Weise es *in* diesem Seienden *ist* – könnte nicht beantwortet werden.

### ***6.5. Der Ursprung der Wirklichkeit und der Mathematik***

An jedem Ort und zu jedem Zeitpunkt vollzieht sich das fundamentale Gesetz und verfertigt in seinem Vollzug das veränderliche Gewebe der Raumzeit. Es bilden sich einfache Objekte in der Form raumzeitlicher Muster. Sie schließen sich zu Objekten höherer Komplexität zusammen. Dieser Vorgang wiederholt sich mehrere Male. Zuletzt entstehen Objekte, die fähig sind, sich selbst zu replizieren. Damit beginnt die biologische Evolution. Sie führt schließlich zu Objekten, die mit Geist ausgestattet sind. Diese Objekte – oder nennen wir sie besser *Wesen* – erfassen die Welt durch Begriffe, die Universalien sind. So werden sie zur Welt der Zahlen geführt. Dort entdecken sie das unendlich Kleine und nehmen es durch die Methode des Grenzübergangs in Besitz. Mit diesen Fähigkeiten ausgestattet wenden sie sich gedanklich dem *Ursprung des Seienden* zu und begreifen, wie sich die Wirklichkeit durch Änderung von Augenblick zu Augenblick entfaltet, indem sie das fundamentale Gesetz vollzieht.

So also lautet die Kurzform der Geschichte von der Entstehung der Mathematik und davon, wie sie an den Ursprung von Allem gelangt.

Die Wirklichkeit selbst wendet keine Mathematik an. So, wie der Grashalm nicht berechnet, wohin er sich bewegt, sondern einfach dem Wind folgt, der ihn berührt, so berechnet auch die Wirklichkeit nicht ihren nächsten Schritt, sondern folgt an jedem Ort und zu jeder Zeit nur den differenziell benachbarten raumzeitlichen Änderungen.

Wir jedoch benötigen Mathematik, um zu begreifen und nachzuvollziehen, wie das Gewebe der Wirklichkeit entsteht, weil unsere Beschreibungen zum unmittelbaren Nachvollzug dessen, was die Wirklichkeit tut, wegen des Fehlens der *Substanz* und damit zugleich der metaphysischen Qualität *Aktivität* ungeeignet sind.

## Schluss

Ich schließe mit dem bekannten Spruch von Zni Kiprot, dem großen Weisen von K-Pax:

*Tni bandan znu tirak – banorki,  
Anzan tai kiprot  
Bnurch taka znatorat.*

Die (freie) deutsche Übersetzung lautet:

*Der Fuchs hängt seinen Schwanz ins Wasser,  
aber der Weise lächelt zum Horizont.*

P.S.:

*Fnurxtix* und *Srunkitax* – Angehörige einer Art, die sich aus den Keas der Gegenwart entwickelt hat und in 2 Millionen Jahren auf der Erde lebt –, zwei schwule Archäologen, die sich wegen ihrer Leidenschaft für germanische Geschichte die Künstlernamen *Hunobold* und *Haunohild* zugelegt haben, teilen ihren Freunden mit, dass sie dieses Buch gut finden.

Lieber Hunobold, wunderbare Haunohild! Danke für eure positive Einschätzung.



# Zusammenfassung



Jedes Mal, wenn ich ans Ende eines Kapitels gelangt bin, hat mich der Gedanke verfolgt, dass ich manches einfacher hätte sagen müssen. Bei einigen Kapiteln habe ich es versucht, aber es ist mir in keinem Fall gelungen.

Deshalb habe ich beschlossen, ans Ende meiner Arbeit eine Zusammenfassung zu stellen, die nicht die vollständigen Beschreibungen und Erklärungen der jeweiligen Szenarien enthält, sondern nur die Grundkonzepte.

Es gibt aber noch einen weiteren Grund, weshalb ich eine solche Auflistung der Ideen, die die Basis der in den Teilen 1 bis 3 ausführlicher dargestellten Hypothesen bilden, für wichtig halte:

Alles, was ich zu irgendeinem Thema zu sagen habe, wirkt vor dem Hintergrund der bisher für gültig gehaltenen Sicht des Universums befremdlich oder vielleicht sogar absurd – selbst dann, wenn es für sich betrachtet, als Einzelnes, stimmig erscheint. Erst im neuen Gesamtzusammenhang, als Teile eines Universums mit anderen, neuen Grundelementen und Verbindungen zwischen diesen Elementen zeigen die einzelnen Hypothesen ihre Stärke, indem sie sich gegenseitig bestätigen und von verschiedenen Ausgangspunkten her unabhängig voneinander zu denselben Resultaten führen.

Deshalb ist der Blick aufs Gesamte von großer Bedeutung – und es ist wesentlich einfacher, ihn durch einen kurzen zusammenfassenden Text zu gewinnen als durch einen ausführlichen, auf Vollständigkeit ausgerichteten Text von einigen hundert Seiten.

Hätte ich dieses Vorhaben nicht auch schon in der Einleitung verwirklichen können? Nein. Als Einleitung würde eine neue Erzählung über das Universum bloß absonderlich wirken. Aber als Postskript zu einer Reihe möglichst strenger Argumentationen kann sie dazu dienen, das Gelesene zu ordnen und in einen übersichtlichen Zusammenhang zu bringen.

Womit also beginnen? Mit dem *Ursprung alles Seienden*? Das wäre der richtige Beginn, wenn es nicht schon eine Interpretation des Universums gäbe. Da es sie aber gibt, und weil sie ihren Platz als fundamentale Welterklärung erobert hat – auch wenn sie eigentlich gar nichts *Fundamentales* erklärt –, werde ich mich auch in dieser Zusammenfassung an die Reihenfolge des Haupttextes halten: *Zuerst* muss der Weg frei gemacht werden, der zum *Mechanismus des Universums* führt. Die Unvollständigkeiten, Irrtümer und, um es offen auszusprechen: die Verrücktheiten, die nun schon seit mehr als hundert Jahren die Gedanken aller Beteiligten verzerren und Anlass zu den wildesten Spekulationen bieten, müssen korrigiert werden; erst dann ist es möglich, zu jenem gedanklichen Abenteuer aufzubrechen, an dessen Ende das Verständnis dessen steht, was Seiendes wirklich ist.

Also beginnen wir wieder mit jenem Faktum, das die Undenkbarkeit dessen, was sich auf dem Grund der Dinge wirklich ereignet, zum Gesetz zu machen schien: mit den Zusammenhängen zwischen Messungen an räumlich getrennten quantenmechanischen Systemen.

Worum geht es dabei? Kurz gesagt um Folgendes:

Seien A und B zwei Objekte, die in der Vergangenheit in Wechselwirkung standen und daher durch eine gemeinsame Funktion  $\Psi$  beschrieben werden. Es soll nun durch eine Messung der Wert  $E(A)$  eines Attributs E von A ermittelt werden. Durch  $\Psi$  wird für den Messwert  $E(A)$  kein fester Wert vorausgesagt, sondern nur eine Wahrscheinlichkeitsverteilung, und dasselbe gilt für  $E(B)$ .  $\Psi$  enthält allerdings die Voraussage, dass  $E(A)$  und  $E(B)$  in jedem Fall eine Bedingung Z erfüllen (sie könnte etwa  $E(A) + E(B) = 0$  lauten), so dass nach der Messung an *einem* der Objekte immer auch der Messwert des *anderen* Objekts bekannt ist.

Nehmen wir jetzt eine Messung an A vor. Dann kennen wir  $E(A)$  und damit – wegen Z – auch  $E(B)$ . Es gibt nun zwei Möglichkeiten:

- (1) Der Messwert  $E(B)$  stand schon vor der Messung an A fest.
- (2) *Vor* der Messung war der Messwert  $E(B)$  nicht festgelegt, *nach* der Messung steht er fest. Die Messung an A hat den Zustand von B geändert.

Im ersten Fall ist die Wahrscheinlichkeit, die  $\Psi$  für  $E(B)$  angibt, eine *normale* Wahrscheinlichkeit, d.h.  $E(B)$  hat vor der Messung an A einen festen Wert; wir kennen ihn bloß nicht. Die Quantentheorie wäre demnach *unvollständig*.

Im zweiten Fall muss zwischen A und B eine *nichtlokale* Verbindung angenommen werden, d.h. ein Zusammenhang, der entweder durch überlichtschnelle Signale vermittelt wird oder überhaupt ohne jede Vermittlung existiert. Die Wahrscheinlichkeit, die  $\Psi$  für  $E(B)$  angibt, ist eine sogenannte *objektive* Wahrscheinlichkeit, d.h.  $E(B)$  *hat* vor der Messung an A keinen festen Wert.

Zunächst sieht es so aus, als wäre die Wahl ganz einfach: (1) erscheint vernünftig und selbstverständlich, (2) führt zur Annahme nichtlokaler Zusammenhänge und "objektiver" Wahrscheinlichkeiten.<sup>165</sup>

---

<sup>165</sup> Dem Begriff der Wahrscheinlichkeit wird durch die Annahme "objektiver" Wahrscheinlichkeiten die logische Grundlage entzogen. Bei "normalen" Wahrscheinlichkeiten hängt die Verteilung von den (unbekannten) Werten bestimmter Parameter ab. *Wovon* sollte sie bei einer "objektiven" Wahrscheinlichkeit abhängen? *Wie* sollte die

Also entscheiden wir uns – so wie Einstein, Podolski und Rosen in ihrem berühmten Artikel – für (1).

Nun tritt allerdings eine unerwartete Komplikation auf, die unsere vernünftigen Absichten zunichte zu machen scheint:

Unter der Voraussetzung, dass (1) gilt – dass also  $E(B)$  schon vor der Messung an A feststeht –, lassen sich Fälle konstruieren, die den quantenmechanischen Voraussagen widersprechen. Es kann experimentell überprüft werden, ob (1) zutrifft *oder* die Quantenmechanik. Die Experimente entscheiden klar für die Quantenmechanik.

Also muss (1) falsch sein und (2) richtig.

Ist das tatsächlich so? Ist damit die Existenz von Nichtlokalitäten und objektiven Wahrscheinlichkeiten bewiesen? Ist die Wirklichkeit wirklich so verrückt?

Zu unserem Glück ist die Antwort *nein*!

Die Konstruktion der Fälle, die der Quantenmechanik widersprechen – die sogenannte Bellsche Ungleichung – setzt nämlich nicht bloß voraus, dass  $E(B)$  schon vor der Messung an A feststeht, sondern sie enthält *noch eine weitere Voraussetzung*, die wegen ihrer scheinbaren Selbstverständlichkeit bisher der Aufmerksamkeit der Physiker entgangen ist – die Voraussetzung nämlich, dass der Messwert *ausschließlich* von dem Objekt abhängt, das sich vor der Messung auf dem Weg zum Messapparat befand.

Diese zusätzliche Voraussetzung wird deshalb benötigt, weil die Ungleichung auch Aussagen über *weitere Messungen an denselben Objekten* enthalten muss. Ohne solche Aussagen gäbe es nur die Resultate der Messungen, die wirklich durchgeführt wurden, und es könnten keine weiteren Schlüsse gezogen werden.

Wenn  $E(B)$  einfach dem Wert einer Eigenschaft von B entspräche, die B schon vor der Messung hatte, dann ließe sich natürlich voraussagen, zu welchen Resultaten *andere* Messungen an B führen *würden*.

Wenn  $E(B)$  aber *zusätzlich* auch vom zeitlich veränderlichen Zustand des Messapparats abhängt, sind solche Aussagen nicht mehr möglich, ohne dass dieser Zustand mit einbezogen wird.

---

Natur es bewerkstelligen, die vorausgesagte Verteilung einzuhalten, wenn solche Parameter überhaupt nicht existieren? Das wäre nur dann möglich, wenn sie sich an alle vergangenen Ereignisse "erinnerte"!

Das scheinbar unverrückbar feststehende logische Schema hat sich dadurch verändert: Die Fallunterscheidung in (1) und (2), die wir zuvor getroffen haben, ist unvollständig. Der Fall (1) muss weiter unterteilt werden, und zwar in

(1.1) Der Messwert  $E(B)$  stand schon vor der Messung an A fest *und* er hängt nur von B ab.

(1.2) Der Messwert  $E(B)$  stand schon vor der Messung an A fest *und* er hängt nicht nur von B ab, sondern auch vom zeitlich veränderlichen Zustand des Messapparats.

(1.1) führt wiederum zur Bellschen Ungleichung und kann dadurch experimentell widerlegt werden.

Die neue Alternative, vor der wir nun stehen, lautet somit:

*Entweder* gilt (2) – die Welt ist verrückt, sie ist nichtlokal und enthält objektive Wahrscheinlichkeiten – *oder* es gilt (1.2).

Was sollten das für Fälle sein, bei denen die Messung auch vom Zustand des Messapparats abhängt?

Zunächst ist festzustellen, dass es sich dabei keineswegs um irgendwelche exotischen oder abseitigen, sondern um ganz einfache Messereignisse handelt. Ich erinnere an das Beispiel aus 1.3 im ersten Teil: Hier werden Kugeln mit verschiedenem Gewicht in Behälter nach links und rechts verteilt. Der Wert 1 wird einer Messung zugeordnet, bei der das Gewicht in mindestens einem Behälter 5 Gramm oder ein Vielfaches von 5 Gramm erreicht oder übertrifft, ansonsten ist der Messwert 0.

In diesem einfachen Szenario steht das Messergebnis natürlich schon vor der Messung fest. Dennoch kann nichts darüber gesagt werden, wie eine *andere Messung an genau denselben Objekten* – denjenigen Kugeln, die verteilt worden sind – ausfallen würde, weil die Messung eben nicht nur von *diesen* Kugeln abhängt, sondern auch von den Kugeln, die sich schon *vorher* in den Behältern befanden.

Das Beispiel ist deshalb so instruktiv, weil es trotz seiner Einfachheit alles Wichtige enthält:

Das Szenario ist (selbstverständlich) vollständig *lokal*. Die Messergebnisse stehen schon vor den Messungen fest. Sie sind jedoch nicht nur von den Messobjekten abhängig, sondern auch vom zeitlich veränderlichen Zustand der Messapparate – und im Fall einer ganzen Serie von Messungen heißt das: vom spezifischen Verlauf der jeweiligen Serie – und das bedeutet: *Über weitere Messungen an denselben Objekten kann nichts ausgesagt werden.*

Außerdem lässt sich das Schema des Beispiels direkt auf das EPR-Szenario übertragen. Im Fall zweier verschränkter Photonen muss beispielsweise bloß angenommen werden, dass der Übergang, der gemessen wird, nicht durch ein "Photon" verursacht wird, sondern durch die Akkumulation von Wellenintensitäten – völlig analog zur Akkumulation der Kugeln des anschaulichen Beispiels.<sup>166</sup>

Allerdings muss dafür gesorgt werden, dass die Bedingung  $Z$ , die in  $\Psi$  enthalten ist, im Rahmen einer Mess-Serie in jedem Fall eingehalten wird. Das ist aber leicht zu erreichen. (Z.B. dadurch, dass die Wahrscheinlichkeit der Messergebnisse, wie im ersten Teil, in 3.11, gezeigt, als Funktion der Kovarianz der Wellenintensitäten ausgedrückt wird.)

Auf diese Weise gelingt es, das EPR-Szenario zunächst dem Zugriff der Bellschen Ungleichung zu entziehen und dann – nachdem der Weg für lokale Interpretationen freigemacht ist – die quantenmechanischen Voraussagen für die Messwerte auf vollständig lokale Weise zu rekonstruieren.

Es ist also keineswegs bewiesen, dass die Wirklichkeit verrückt ist; Vielmehr gibt es Grund zur Hoffnung, dass die Wirklichkeit vernünftig ist und nur einige ihrer Interpreten verrückt sind, und das ist – sofern man nicht selbst einer dieser Interpreten ist – gewiss eine äußerst erfreuliche Erkenntnis! Erheben wir unsere Gläser und trinken wir auf die vernünftige Wirklichkeit!

Nun tritt aber genau das ein, worauf ich am Anfang dieser Zusammenfassung hingewiesen habe:

Für sich mag der eben durchgeführte Gedankengang stimmig erscheinen, aber im gesamten Interpretationszusammenhang der Physik erscheint er vollkommen absurd. Es ist seit mehr als hundert Jahren erwiesen, dass Übergänge zwischen verschiedenen Elektronen-Zuständen durch *Photonen* ausgelöst werden und nicht durch Wellen. Das Wellenmodell ist für die Beschreibung der Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie ungeeignet. Es gibt keine "Akkumulation" von Wellen; Photonen sind *unteilbare* Ganze.

Diese und andere Gewissheiten scheinen zu beweisen, dass die lokale Alternative, die ich vorschlage, unmöglich zutreffen kann und einfach unsinnig ist – *es sei denn*, das gesamte physikalische Interpretationsnetz wäre in seinen Fundamenten fehlerhaft.

Wer würde schon ernsthaft in Erwägung ziehen, dass das der Fall sein könnte? Und doch ist es wahr; genau so verhält es sich: Das gesamte physikalische Interpretationsnetz muss umgestellt werden.

---

<sup>166</sup> Die quantenmechanische Formel für die Ereigniswahrscheinlichkeiten enthält ja *Wellenamplituden*. Sie werden bloß nicht als Amplituden existierender Wellen aufgefasst, sondern als Quadratwurzeln von Wahrscheinlichkeiten.

Halten wir fest:

**(A1)** *Eine notwendige Bedingung für die lokale Erklärung der Messresultate in einem EPR-Szenario ist die Annahme, dass die Mess-Ereignisse (die gemessenen Attribut-Werte) durch **Akkumulation von Wellenintensitäten** zustande kommen.*

*Die un stetigen Veränderungen, denen die Quantentheorie ihren Namen verdankt, müssen somit als Übergänge zwischen (kurzzeitig) stabilen lokalen Wellenzuständen aufgefasst werden. Unstetig bzw. "sprunghaft" sind also nur die beobachtbaren Übergänge zwischen den lokalen Wellenzuständen; der ursächliche Prozess ist jedoch stetig.*<sup>167</sup>

Bevor wir Schritt für Schritt die Umstellung vom Begriff "Teilchen" auf den Begriff "Übergang zwischen stabilen lokalen Wellenzuständen" durchführen, der durch Wellen-Akkumulation verursacht wird, wenden wir uns jedoch zunächst – wie im Haupttext – der Interpretation der speziellen Relativität zu.

Die Spezielle Relativitätstheorie ist im Gebäude der physikalischen Theorien der einfachste Baustein. Sie ist vieltausendfach bestätigt und ohne Zweifel korrekt. Was sollte dazu noch zu sagen sein?

Nur dies, dass sie *uninterpretiert* ist, und damit meine ich, dass die fundamentale Erkenntnis, aus der sich die Tatsache der speziellen Relativität *als Schlussfolgerung* ergibt, bis jetzt unentdeckt geblieben ist.

Um aufzuklären, um welche Erkenntnis es sich handelt, beginne ich mit einer Bemerkung Einsteins. In dem Buch "*Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*" legt er dem Leser die folgende Definition der Gleichzeitigkeit zweier Ereignisse in den Mund:<sup>168</sup>

"Die Verbindungsstrecke AB werde [...] ausgemessen und in die Mitte M der Strecke ein Beobachter gestellt, der mit einer Einrichtung versehen ist, [...] die ihm eine gleichzeitige optische Fixierung beider Orte A und B erlaubt. Nimmt dieser die beiden Blitzschläge [Anm. des Autors: die in A und B einschlagen] gleichzeitig wahr, so sind sie gleichzeitig."

---

<sup>167</sup> Eine anschauliche Analogie sind die Übergänge zwischen den stehenden Wellenzuständen der Luft in einem Blasinstrument: Hörbar (beobachtbar) ist nur eine diskrete Folge von Tönen, die sich sprunghaft ändern; der eigentliche, ursächliche Prozess verläuft stetig.

<sup>168</sup> A. Einstein, *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*, Friedrich Vieweg + Sohn, Braunschweig 1973, WTB Band 59, S 22.

Einstein wendet nun dem Leser gegenüber ein, dass man bei dieser Definition doch schon *voraussetzen* müsse, dass sich Licht von A nach M genauso schnell fortpflanze wie von B nach M. (Der Einwand zielt natürlich auf die Frage ab, inwiefern diese Definition der Gleichzeitigkeit auch für andere, relativ zum ersten Beobachter bewegte Beobachter gelten kann, für die doch anscheinend die Geschwindigkeit des Lichts in verschiedene Richtungen nicht mehr gleich ist.)

Einstein lässt dann den Leser die Diskussion siegreich beenden, indem er ihn sagen lässt:

"Dass das Licht zum Durchlaufen des Weges AM und zum Durchlaufen der Strecke BM dieselbe Zeit brauche, ist [...] keine *Voraussetzung oder Hypothese* über die physikalische Natur des Lichts, sondern eine *Festsetzung*, die ich nach freiem Ermessen treffen kann, um zu einer Definition der Gleichzeitigkeit zu gelangen."

Ist das wirklich so? Keineswegs! Diese "Festsetzung" hat nämlich *Folgen*, wie z.B. das langsamere Vergehen der Zeit in bewegten Systemen, und es fragt sich, ob die Natur bereit ist, sich daran zu halten. Ich habe in Teil I, 2.4 eine Zeitdefinition durch Schallsignale gegeben, die logisch konsistent und eindeutig ist, die aber dennoch unsinnig ist, weil die Natur sich nicht darum kümmert. Die mit annähernd Schallgeschwindigkeit bewegten Beobachter werden *nicht* in dem durch die Schallzeit vorgeschriebenen Maß langsamer altern. Und der Grund ist genau der, dass die Geschwindigkeit des Schalls eben *nicht* für alle gleichförmig bewegten Beobachter gleich *ist*, obwohl ich sie durch die Definition der Zeit über Schallsignale als gleich *festgelegt* habe. Der Natur ist diese Festlegung aber gleichgültig, und daher gilt die Definition nur für Schall und für sonst nichts.

Also kann ich die Zeit keineswegs nach meinem Ermessen festlegen. Ich könnte die Lichtgeschwindigkeit nicht für alle Beobachter gleich *machen* – ebenso wenig wie die Schallgeschwindigkeit – wenn sie nicht gleich *wäre*.

Damit erhebt sich aber die dringende Frage: **Warum** fügt sich die Natur den raumzeitlichen Verhältnissen, die durch Lichtsignale festgesetzt werden?

Um dies nochmals zu konkretisieren: zwei Ereignisse in A und B, die für einen ruhenden Beobachter X nach der obigen Definition gleichzeitig sind, sind für einen relativ zu X bewegten Beobachter Y nicht gleichzeitig. Sagen wir, das Ereignis in A beobachtet er eine Sekunde früher als X, das Ereignis in B eine Sekunde später. Das heißt: Wenn die beiden Ereignisse für X genau um 12:00:00 stattfinden, dann hat für Y das Ereignis in A um 11:59:59 stattgefunden, und das Ereignis in B wird um 12:00:01 stattfinden.

Das bedeutet aber, dass in A und B für Y eine andere *Zeit ist* als für X, und *dass sich alle überhaupt möglichen Prozesse, die im System von Y stattfinden, an diese veränderte Zeit halten müssen.*

*Alle* Paare von Signalen, die in A und B zur selben Zeit wie die Lichtsignale ausgesendet werden, müssen, wenn sie zum System von Y gehören (das könnte z.B. ein Raumschiff sein), bei Y im Abstand von 2 Sekunden eintreffen. Und genau das wird auch der Fall sein. Aber warum?

Warum, bei der heiligen Aufklärung – sollten sich die Signale an diese Vorschrift halten?

Oder: Personen, die mit Y reisen, müssen in dem durch die Lichtzeit vorgeschriebenen Maß langsamer altern. Und genau das wird eintreten. Doch die Frage ist abermals: Warum?

Warum hält sich die Wirklichkeit *nur* an die Lichtzeit und nicht an die Schallzeit oder irgendeine andere Zeit?

Natürlich kann man sagen, es ist einfach so – wie man das ja auch bisher getan hat. Damit erhebt man den relativistischen Formalismus zur Wirklichkeit. Aber die Wirklichkeit ist *offensichtlich* nicht vierdimensional – sie ist ein dreidimensionaler Raum, in dem sich Objekte bewegen. Und das Fatale an der Gleichsetzung von Formalismus und Wirklichkeit ist, dass sie die grundlegende Erkenntnis verhindert, die sich aus der Beantwortung all dieser Warum-Fragen ergibt.

Welche Erkenntnis ist das? Das ergibt sich aus folgendem Gedankengang:

Alles, was sich ereignet, jede Veränderung, ist *Ortsveränderung*, die mit einer bestimmten Geschwindigkeit erfolgt. Wenn die Zeit durch Lichtsignale festgelegt wird, dann müssen sich *alle Geschwindigkeiten* an diese Zeit-Definition anpassen. Gäbe es jedoch Prozesse, die keine Verbindung zur Lichtgeschwindigkeit hätten, dann gäbe es auch keinen Grund, warum diese Prozesse sich an die durch Licht festgelegte Zeit halten sollten.

Es muss also bei jedem Prozess eine Verbindung zur Lichtgeschwindigkeit geben. Welcher Art könnte diese "Verbindung" sein? Es ist klar, dass sie nur dann die Anpassung der Geschwindigkeit des jeweiligen Prozesses an die durch Licht definierte Zeit begründet, wenn der Prozess sich *letztlich* auf einen anderen, fundamentalen Prozess zurückführen lässt, der sich mit Lichtgeschwindigkeit fortpflanzt.

Also lässt sich behaupten (ich zitiere aus dem Haupttext):



*Es besteht zwischen Licht und Schall überhaupt kein Unterschied bezüglich des prinzipiellen Gültigkeitsbereichs des darauf beruhenden Maßsystems: dieses gilt in beiden Fällen nur für die jeweils daraus abgeleiteten Phänomene.*

Daher ist der einzig mögliche Grund, warum sich alle überhaupt existierenden Prozesse an die Zeit-Festlegung durch Licht halten, dieser:

*Die Natur gehorcht den Beziehungen für zeitliche und räumliche Maße, die durch Licht vorgegeben werden, weil es nur Lichtgeschwindigkeit und daraus abgeleitete Phänomene gibt.*

Daraus folgt wiederum:

**(A2)** *Alles, was existiert und was sich ereignet, ist ein **Interferenzphänomen**, ein Muster aus Superpositionen von Wellen mit Lichtgeschwindigkeit.*

In I, 2.6. habe ich gezeigt, dass diese Annahme in direkter Verbindung mit der quantenmechanischen Beschreibung materieller Objekte steht. Der Abschnitt I, 2.7 enthält den Beweis, dass sich aus ebendieser Annahme die relativistischen Raum-Zeit-Verhältnisse *direkt* ableiten lassen – ohne alle weiteren Voraussetzungen und, wie es einer dermaßen fundamentalen Behauptung zukommt, ohne jede Physik. Die relativistische Welt wird von Grund auf neu errichtet.

Wie sich aus (A1) und (A2) ablesen lässt, führt sowohl die Wiederherstellung der Lokalität der Welt als auch die Erklärung der speziellen Relativität auf *Wellen* als Grundlage dessen, was existiert und was sich ereignet.

Wenden wir uns nun wieder den quantenmechanischen Phänomenen zu.

Die Hypothese (A1) hat jetzt eine erste Bewährungsprobe zu überstehen. Ist es möglich, diejenigen Phänomene der Wechselwirkung zwischen Licht und Materie, die sich zu Beginn des 20. Jahrhunderts einer Erklärung durch das Wellenmodell des Lichts widersetzen – den Lichtelektrischen Effekt und den Compton-Effekt – durch ein reines Wellenmodell zu beschreiben?

Wie sich herausstellt, ist es nicht nur möglich, sondern sogar unerhört einfach. Abermals gelingt die Herleitung ohne jede Physik. Die einzige Voraussetzung ist die beim Neuaufbau der relativistischen raum-zeitlichen Zusammenhänge abgeleitete Lorentz-Transformation.

Da die gewünschten Resultate – entsprechend der Annahme, dass eine Überlagerung von Wellen stattfindet – *ausschließlich* aus den Frequenzen und Wellenlängen der Wechselwirkungspartner Licht

und Elektron folgen und alle anderen physikalischen Begriffe, auch der Teilchenbegriff, zunächst gänzlich überflüssig sind, können die Begriffe "Frequenz" und "Wellenlänge" hier als *fundamental* und die Begriffe "Energie" und "Impuls" als *abgeleitet* aufgefasst werden.

Allerdings enthalten die Definitionsgleichungen  $E = h\nu$  und  $p = h/\lambda$  die Größe  $h$ , die den Begriff "Masse" voraussetzt und die allgemein als genau diejenige Naturkonstante betrachtet wird, die die beiden Aspekte des Seienden – den Teilchenaspekt und den Wellenaspekt – miteinander verbindet. Um also tatsächlich behaupten zu können, Energie sei aus Frequenz und Impuls aus Wellenlänge *abgeleitet*, fehlt noch die Elimination des Begriffs "Masse", oder, um es genauer zuzusagen: die Verwandlung des Begriffs "Masse" von einem Grundbegriff in einen abgeleiteten Begriff. Das kann jedoch erst später, im Rahmen des Aufbaus eines rein metrisch-dynamischen Universums durchgeführt werden.

**(A3)** *Der Lichtelektrische Effekt und der Compton-Effekt lassen sich aus der Annahme ableiten, dass die Wechselwirkung zwischen Licht und Materie eine Wellenüberlagerung ist. Die Ableitung erfolgt allein aus dieser Annahme; es werden keine physikalischen Begriffe und Relationen benötigt.*

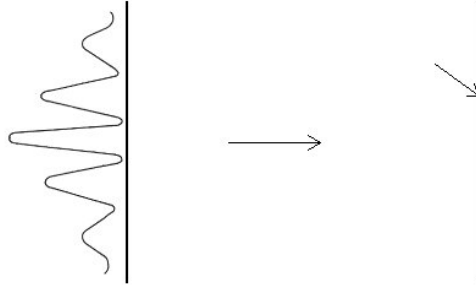
Die Kurzform von (A1), von (A2) und von (A3) lautet: *Es gibt nur Wellen.*

Mit dieser Annahme gerüstet treten wir nun vor das Allerheiligste der Quantentheorie: die *Reduktion der Wellenfunktion*.

Das Rätsel, vor das wir gestellt sind, gleicht den Rätseln, die aus Märchen und Sagen bekannt sind. Viele, die es zu lösen versuchten, haben den Verstand verloren. Ihre Symptome werden in unserer Kultur als Äußerungen des heiligen Geistes der Quantentheorie verehrt und gelten als alternative Deutungen. Ich nenne nur zwei davon: die Annahme, das Bewusstsein des Beobachters bewirke die Reduktion, und die Annahme, bei jeder Messung spalte sich das Universum in einige – oder auch unendlich viele – Kopien seiner selbst, die sich voneinander nur hinsichtlich des Messwerts der eben durchgeführten Messung unterscheiden.

Um der Quantentheorie ihr Geheimnis zu entreißen, treten wir vor den Altar, an dem viele Generationen von Studenten der Physik ihr Denkvermögen geopfert und ihr *credo quia absurdum* gesprochen haben, um in den Kreis der Eingeweihten aufgenommen zu werden: vor das *Doppelspaltexperiment*.

Die folgende Skizze zeigt das angeblich Unerklärbare:



Links im Bild die quantenmechanische Beschreibung irgendeines Teilchens im Augenblick des Auftreffens auf eine Detektorplatte: *eine ausgedehnte Welle*, die durch Beugung am Doppelspalt und nachfolgende Interferenz entstanden ist.

Rechts im Bild – an dem Ort, auf den der kleine Pfeil hinweist – dasselbe Teilchen im nächsten Augenblick: *ein mikroskopisch kleines Objekt*. Die ausgedehnte Welle ist verschwunden.

Da die Erklärung in I, 3,6 einfach und verständlich ist, kann ich mich hier ganz kurz fassen:

Die Annahme (A1), durch die die Nichtlokalität des EPR-Szenarios beseitigt werden konnte, enthält bereits die Antwort auf die Frage, was sich beim Doppelspaltexperiment *wirklich* ereignet:

(A1) besagt, dass materielle Objekte – stehenden Wellen vergleichbar – nur in bestimmten Zuständen existieren können, die durch Wellenlängen definiert sind. Auf solche Objekte auftreffende Wellen verursachen durch die Akkumulation ihrer Intensitäten *Übergänge* zwischen diesen Zuständen. Diese Übergänge erscheinen sprunghaft und werden von uns als *Teilchen* interpretiert.

Die Welle, die in der obigen Skizze links dargestellt ist, verschwindet also gar nicht. Vielmehr dringt sie *überall* in das materielle Wellenfeld – die Detektorplatte – ein, und die Wellenintensitäten werden überall dort, wo die Wellenamplitude nicht 0 ist, zu einem späteren Zeitpunkt zu Übergängen führen, falls weitere "Teilchen" nachfolgen. Und natürlich wird die Häufigkeit der Übergänge von der Größe derjenigen Variablen abhängen, die sie verursacht, also von der lokalen Intensität bzw. dem lokalen Amplitudenquadrat der Wellen, genau so, wie es der quantenmechanische Formalismus vorschreibt.

Das Teilchen, das rechts in der Skizze an dem durch den Pfeil bezeichneten Ort erscheint, ist daher *nicht* mit der Welle links in der Skizze identisch. Es enthält auch Anteile von Wellen, die *vorher* eingetroffen sind.

Und das ist auch schon alles. Damit ist die quantenmechanische Wahrscheinlichkeitsverteilung der Ereignisse beim Doppelspaltexperiment aufs Einfachste aufgeklärt. Alles ist lokal und objektiv, nichts verschwindet, es gibt keine objektiven Wahrscheinlichkeiten.

Das Geheimnis hat sich aufgelöst.

Die Wahl des Doppelspaltexperiments als Mittel zur Aufklärung, welches physikalische Geschehen hinter dem quantenmechanischen Formalismus steht, ist im Grunde willkürlich. Die quantenmechanischen Mess-Szenarien sind nämlich alle von gleicher Art: Das, was gemessen wird, ist immer eine Welle bzw. ein Wellenpaket, und nur die Art der Wellen, in die das Paket zerlegt wird, ändert sich. Sie hängt von dem Attribut ab, dessen Wert ermittelt werden soll.

Man könnte etwa statt einer Ortsmessung eine Impulsmessung analysieren. Der Impuls ist der Wellenlänge von Sinuswellen zugeordnet. Also muss das Wellenpaket, dessen "Impuls" gemessen werden soll, in Sinuswellen mit verschiedenen Wellenlängen zerlegt werden.

*Formal* erfolgt diese Zerlegung durch die Anwendung des Impulsoperators. Man erhält dann eine Verteilung der Amplituden von Sinuswellen mit verschiedenen Wellenlängen, die das Paket bilden. Das Amplitudenquadrat wird als Wahrscheinlichkeitsdichte der möglichen Ereignisse – d.h. der Messung von Impulswerten, die zu diesen Wellenlängen gehören – interpretiert

*Experimentell* könnte die Zerlegung durch Streuung an einer Kristalloberfläche durchgeführt werden. Dadurch wird das Wellenpaket *tatsächlich* zerlegt und in Sinuswellen mit verschiedenen Wellenlängen aufgespaltet, die nun in verschiedene Richtungen laufen. Offensichtlich muss die Verteilung der Amplituden dieser Wellen dieselbe sein wie *vor* der Zerlegung, als die Wellen noch ein Wellenpaket bildeten, und ebenso offensichtlich muss die Ereignis- bzw. Übergangswahrscheinlichkeit in einem Detektor, der in einen Strahlengang eingebracht wird, dem Quadrat der Amplituden der Wellen proportional sein, die in diesen Detektor gelangen.

Auf diese Weise ist die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Ereignisse bei einer Impulsmessung vollständig erklärt.

Dasselbe Schema kann auf alle quantenmechanischen Messungen übertragen werden:

Jedes Attribut entspricht einer bestimmten Art von Wellen. Die Berechnung der Wahrscheinlichkeit, mit der ein bestimmter Wert eines Attributs bei einer Messung auftritt, erfolgt immer durch die Zerlegung des Wellenpakets in die Teilwellen der Art, die zu diesem Attribut gehören, und durch die Bestimmung der Amplitude, mit welcher die genau diesem Wert entsprechende Welle im ganzen

Wellenpaket enthalten ist. Ihr Quadrat muss dann der Wahrscheinlichkeit einer Messung mit diesem Wert proportional sein.

Zusammenfassend kann also behauptet werden:

**(A4)** *In einer Welt, die nur aus Wellen besteht, müssen alle physikalischen Eigenschaften auf Eigenschaften von Wellen zurückgeführt werden. Der quantenmechanische Formalismus ist nichts anderes als eine Wellenanalyse, die der Ermittlung der Amplituden jener Wellen dient, deren Intensitäten durch ihre Akkumulation die Übergänge bewirken, die als Messereignisse beobachtet werden.*

*Das Schema ist immer dasselbe wie beim Doppelspaltexperiment: Keine Welle verschwindet, jede liefert einen Beitrag zu künftigen Messereignissen. Die sogenannte "Reduktion der Wellenfunktion" wird zu einem normalen physikalischen Vorgang.*

*Auch die sogenannte Unschärfe klärt sich auf: sie ist ein Faktum, das bei Wellenpaketen selbstverständlich ist.*

Wir sind also in einer lokalen, objektiven Welt angekommen. Der scheinbar undurchdringliche Nebel, der das, was tatsächlich geschieht, verbarg, hat sich gelichtet, und nun können wir endlich freien Sinnes darangehen, darüber nachzudenken, woraus die Welt *wirklich* besteht.

Diese fundamentale Frage hat sogar schon eine konkrete Form angenommen:

Wenn es nur Wellen gibt – *was* schwingt da eigentlich? Wie lautet das Gesetz dieser Schwingung?

Und außerdem:

*Formal* ist eine Schwingung die periodische Änderung des Werts einer Variablen. Um welche Variable handelt es sich? In welchem Zusammenhang ändert sie sich? Ist es tatsächlich möglich, die ganze Physik auf *einen* solchen Zusammenhang zurückzuführen?

Die bisherige Physik enthält keine Hinweise auf die gesuchten Antworten. In ihrem Rahmen gibt es nicht einmal ein Bewusstsein von deren Fehlen; – wie denn auch, wenn der Rückzug in die Mathematik, ins formale Schema so vollständig vollzogen ist, dass nicht mehr gefragt werden kann, was das, was existiert, eigentlich ist, und wenn dem, was mathematisch behandelt wird – den Wellen –, gar keine Existenz zuerkannt wird?

Also muss, um die "Warum" und "Was ist" Fragen zu beantworten, das Projekt *Erkenntnis der Natur* noch einmal von Grund auf neu begonnen werden – nicht, um alles bisher Errungene zu ändern, sondern um es auf eine neue Basis zu stellen.

Was also ist der Urgrund der Wirklichkeit?

Dieser Frage werde ich mich nun etwas ausführlicher widmen. Bei ihrer ersten Erwähnung im Haupttext (in II, 1.3) habe ich mich auf das Notwendigste beschränkt, um den Gedankengang nicht gleich an seinem Anfang metaphysisch zu überfrachten und stattdessen die Begriffe sich im Laufe der weiteren Schlussfolgerungen entfalten zu lassen. Jetzt aber, in der Wiederholung, werde ich versuchen, alles Wichtige schon zu Beginn zu sagen.

Fragen wir zunächst: Wie gelangt man gedanklich zu diesem Urgrund der Wirklichkeit?

Auf einem sehr kurzen Weg. Man beginnt bei irgendwelchen Objekten und fragt, woraus sie bestehen. Falls sie aus einfacheren Objekten zusammengesetzt sind, fragt man, woraus *diese* bestehen. So gelangt man schließlich zu Objekten, die nicht weiter zerlegt werden können.

Ist man dann ans Ende möglichen Fragens gelangt? Auf den ersten Blick mag es so scheinen. Man kann zwar die Eigenschaften eines unzerlegbaren, elementaren Objekts aufzählen, aber auf die Frage, woraus etwa ein *Elektron* oder auch ein *String* besteht, scheint es keine Antwort zu geben.

Es ist jedoch unmittelbar einsichtig, dass jedes Objekt aus irgendetwas bestehen *muss*; die Annahme, es bestünde aus Nichts, wäre offensichtlich absurd.

Woraus besteht es also? Beginnen wir zunächst mit einer Definition. Nennen wir die Eigenschaften eines Objekts seine *Akzidenzien*, und das, woraus es besteht, seine *Substanz*. Die Substanz ist dann auch das, was übrig bleibt, wenn man vom Objekt gedanklich alle Eigenschaften entfernt.

Wir haben gerade eben festgestellt, dass die Substanz nicht *Nichts* sein kann: ein Objekt kann nicht aus Nichts bestehen.

Zugleich ist aber klar, dass die Substanz auch nicht das Kriterium für *Existenz* erfüllt: Etwas, was *keine Eigenschaften* hat, existiert nicht. Keine Eigenschaften zu haben bedeutet, mit nichts anderem in Wechselwirkung treten zu können, und einer Entität, die mit nichts wechselwirkt, kann keine Existenz zuerkannt werden.

Deshalb kann die Substanz auch nicht *Etwas* sein. Sie ist somit weder Nichts noch Etwas. Weder existiert sie, noch existiert sie nicht.

*Vor* aller Existenz gibt es daher nicht etwa die Alternative *Etwas oder Nichts*, sondern es gibt dasjenige, was *weder Etwas noch Nichts* ist.

Was aber weder existiert noch nicht existiert, das ist *notwendig*, weil es für seine Art des "Vorhanden-Seins" keine Alternative gibt: Würde man es gedanklich entfernen, wäre es ja Nichts.

Alles, was existiert, kann auch nicht existieren; alles Seiende steht in der Alternative *sein oder nicht-sein*. Aber das, was weder existiert noch nicht existiert, zu dem gibt es keine Alternative – es kann nicht nicht-sein, es ist notwendig.

Damit haben wir den ontologischen Status der Substanz bestimmt: Nicht als Existenz, nicht als Nicht-Existenz, sondern als ***Notwendigkeit***.

Zugleich ist dadurch die *erste und fundamentale Frage* beantwortet: *Warum ist Etwas und nicht Nichts?*

Die Antwort ist: *Es kann nicht Nichts sein, denn vor aller Existenz ist nicht Nichts, sondern das, was notwendig ist.*

Zur weiteren Bestimmung dessen, was die Substanz ist, dient der Unterschied zwischen wirklich existierenden Dingen und Dingen, die Elemente einer Beschreibung der Wirklichkeit sind.

Wirklich existierende Dinge sind stets *aktiv*: Die Erde übt immer Gravitation aus, das Elektron trägt immer elektrische Ladung.

Die Dinge in einer Beschreibung sind jedoch *passiv*. Ich kann der Erde Gravitation und dem Elektron Ladung zuschreiben, aber ohne mein Zutun werden diese Akzidenzien nicht aktiv; von selbst geschieht in der Beschreibung nichts.

Im Gegensatz zu einem wirklich existierenden Ding besteht ein Ding in einer Beschreibung nicht aus *Substanz und Akzidenzien*, sondern *nur aus Akzidenzien*: Es ist durch seine Akzidenzien *definiert*, und es ist *nichts als* diese Definition. Ohne seine Definition verschwindet das Ding in der Beschreibung. Es gibt nichts, *woraus* es besteht, es übt keine Wirkungen aus, die *von etwas* ausgehen müssen. Das Ding in der Beschreibung hat keine Substanz.

Substanz ist also dasjenige, was wirklichen Dingen *Aktivität* verleiht; es ist dasjenige, was ihre Akzidenzien *aktiv* macht.

Daher ist dies die metaphysische Qualität der Substanz: ***Aktivität***.

Es könnte die Frage auftauchen, ob der Begriff "Substanz" tatsächlich eine *ontologische Voraussetzung* von Seiendem bezeichnet und nicht bloß eine *logische Voraussetzung*.

Was einem Objekt "logisch vorausgesetzt" ist, stellt eine Bedingung seiner Existenz dar, was ihm aber "ontologisch vorausgesetzt" ist, aus dem ist es *tatsächlich hervorgegangen*. Nun gilt aber allgemein, dass das jeweils Einfachere, aus dem ein Objekt gebildet ist, immer die ontologische Voraussetzung dieses Objekts ist. Um dieses Prinzip auch auf jenes Einfachste und Allgemeinste anwenden zu können, auf das wir durch unseren Gedankengang geführt worden sind – auf die Substanz –, muss nur anerkannt werden, dass *alles Seiende entstanden* ist.

Diese Erkenntnis ist jedoch selbstverständlich. Nicht entstandenes Seiendes anzunehmen heißt, dieses Seiende absolut zu setzen und ihm einen ontologischen Rang zuzuschreiben, der ihm nicht zukommt.<sup>169</sup>

Nehmen wir also an, dass die Substanz eines Seienden nicht nur die logische, sondern auch die ontologische Voraussetzung dieses Seienden ist, dass also das Seiende daraus entstanden ist.

Definitionsgemäß ist die Substanz das, was keine Eigenschaften hat, also *ununterscheidbar* ist, und das bedeutet, dass sie nicht nur die Voraussetzung *eines* Seienden, sondern *jedes* Seienden ist.

Daher gilt: *Die Substanz ist der **Ursprung** alles Seienden*. Ich nenne ihn **AGENS**.

Warum entfaltet sich der *Ursprung des Seienden* zum Seienden? Warum bleibt er nicht einfach, was er "ist"?

---

<sup>169</sup> Außerdem entstehen infolge dieser Annahme *unlösbar* Probleme: zugleich mit den absoluten Entitäten treten Naturkonstanten auf, deren Größen somit *definitionsgemäß* unerklärbar sind. Daraus folgt dann das Problem des sogenannten "Feintunings", d.h. der Frage, warum die Naturkonstanten so abgestimmt sind, dass daraus ein Universum entsteht, das Leben und schließlich Geist hervorbringt. Diese Frage führt wiederum zum sogenannten "anthropischen Prinzip" usw. Man sieht, wie ein grundsätzlicher Irrtum fortwährend weiteren Unsinn zeugt.

Das wirklich fundamentale Problem der Annahme von nicht entstandenem Seienden besteht aber darin, dass dadurch alle "Warum-" und "Was ist-" Fragen als *unbeantwortbar* festgeschrieben werden.



Weil seine metaphysische Qualität *Aktivität* ist. Sich selbst gleich zu bleiben wäre jedoch *Inaktivität*. Einen Unterschied zu machen heißt aber nichts anderes als zur Existenz aufzusteigen.

Die Frage ist nun: *Wie* entsteht Seiendes aus dem *Ursprung des Seienden*?<sup>170</sup>

Als das, was er *an sich* ist, kann er nicht gedacht werden. Um ihn denken zu können, müssen wir ihm ein Prädikat zuschreiben.

Seine metaphysische Qualität ist *Aktivität*. Also ist dies das erste Akzidens: "Aktivität". Es ist aber zu beachten, dass der Begriff der *Aktivität* als metaphysischer Qualität *mehr* ist als der Begriff der "Aktivität" als Akzidens. Dieses "mehr" verbleibt im Begriff der Substanz.

Der Substanzbegriff hat sich durch diese in Gedanken vollzogene Teilung verändert. Die Substanz, die mit dem Akzidens Aktivität verbunden ist, ist nicht mehr mit dem *Ursprung des Seienden an sich* identisch. Dieser ist ungeteilt, er ist *reine Substanz* und zugleich *reine Aktivität*.

Dieser erste gedankliche Schritt – die Teilung dessen, was *an sich* ungeteilt ist – ist genau der Akt, wo sich *an sich* und *für uns* trennt. Er betrifft jedoch nicht nur den *Ursprung des Seienden*, sondern auch alles Seiende. Auch am Seienden selbst sind Substanz und Akzidenzien *an sich* stets *untrennbar verbunden*, und nur *für uns* erscheinen sie getrennt. Diese Einheit von Substanz und Akzidenzien ist das *Wesen* des Seienden.

Betrachten wir etwa die Erde: sie ist mit ihrem Akzidens Gravitation untrennbar verbunden: die *wirkliche* Erde bestimmt unaufhörlich die Bahn des Mondes. Für die *gedachte* Erde gilt das aber nicht: in Gedanken kann der Mond jederzeit angehalten werden.

Es ist auch leicht einzusehen, warum das so ist: Die Dinge der Wirklichkeit treten ja nicht "als sie selbst" in unseren Wahrnehmungen und Gedanken auf, sondern in der Gestalt von Repräsentationen, die auf den Einfluss zurückgehen, den die Dinge auf ihre Umgebung ausüben, also auf ihre Eigenschaften bzw. Wechselwirkungen.

Deshalb erfahren wir von dem, was Existenz *an sich* ist, immer nur jenen Teil, der uns über unsere Sinne – entweder direkt oder durch Geräte vermittelt – erreichen kann, und diesen Teil nennen wir *Akzidenzien*. Von dem, was Existenz *außerdem* ist, erfahren wir nichts. Dieser Teil der Existenz ist undenkbar. Wir wissen bloß, dass er da ist, und nennen ihn *Substanz*.

---

<sup>170</sup> Das ist nicht zeitlich, sondern ontologisch zu verstehen. Es ist nicht etwa *irgendwann* geschehen, es ist *immer schon* der Fall. Der *Ursprung des Seienden* ist *das sich zum Seienden Entfaltende*.

Bei Seiendem sind wir in einem solchen Maß daran gewöhnt, die Substanz vorauszusetzen, dass uns dieses fundamentale Defizit nicht mehr auffällt. Beim *Ursprung des Seienden* jedoch bricht das Schema von Substanz und Akzidens zusammen, und die *metaphysische Differenz* zwischen dem, was *ist*, und dem, als was wir es wahrnehmen und denken, wird offenbar. Sie zeigt sich dadurch, dass dasjenige, woraus alles Seiende besteht, verschwindet, wenn man es zu denken versucht.

*An sich* ist der *Ursprung des Seienden* ungeteilt. Er ist *reine Substanz* und zugleich *reine Aktivität*.

*Für uns* zerfällt der *Ursprung des Seienden* in Substanz und Akzidens. Er ist Aktivität *von* AGENS.

AGENS ist die *erste Substanz*, Aktivität ist das *erste Akzidens*.

Aktivität bedeutet Veränderung. Was ändert sich? AGENS.

Die untrennbare Einheit von *Substanz* und *Aktivität* äußert sich *für uns* darin, dass AGENS nur *als sich Veränderndes* existiert. Ohne das Akzidens Veränderung wäre Nichts.

Bleibe die Veränderung von AGENS ohne Folge, dann wäre wieder einfach Nichts – im Widerspruch zur Notwendigkeit des *Ursprungs des Seienden*. Aus der Veränderung muss also etwas folgen, und diese Folge muss wieder eine Veränderung von AGENS sein. Es muss daher zwei verschiedene Veränderungen geben.

Da wir zuvor abgeleitet haben, dass der *Ursprung des Seienden* notwendig ist und dass er sich zur Existenz entfalten *muss*, kann Existenz vorausgesetzt werden, und wir können zur Bestimmung dieser Veränderungen auf die notwendigen Voraussetzungen von Existenz zurückgreifen: Raum und Bewegung (alternativ: Raum und Zeit). Die erste Substanz AGENS wird dadurch zur RAUMZEIT.

Damit sind wir zu unserem ersten Satz gelangt: *Die Änderung des Raumes bewirkt die Änderung der Bewegung*.

Aber nur dann, wenn auch das Umgekehrte gilt, entsteht die unaufhörliche Kette von Veränderungen, die notwendig ist, um zu verhindern, dass wiederum Nichts wäre. Also muss auch gelten: *Die Änderung der Bewegung bewirkt die Änderung des Raumes*, und daraus folgt:

*Die Änderung des Raumes ist gleich der Änderung der Bewegung*.

Ich kürze den Rest des Gedankengangs ab, der zur ersten Gleichung führt:

Es gibt kein Gedächtnis. Das bedeutet, dass sich Änderungen nur von Augenblick zu Augenblick vollziehen können. Sie müssen also die Gestalt von Differenzialquotienten haben. Außerdem folgt daraus, dass es keine feste Größe gibt, auf die sich die Änderungen beziehen können. Es muss sich also um relative Änderungen handeln. Diese Annahmen führen zur Gleichung (1):

$$\frac{d\sigma}{dr} = \pm \frac{1}{c^2} \frac{dv}{dt} \quad (1)$$

wo  $\sigma$  die metrische Dichte der Länge (oder des Winkels) ist und  $v$  die Geschwindigkeit des longitudinalen (oder des transversalen) metrischen Flusses.  $c$  ist die (spätere) Lichtgeschwindigkeit.

Damit haben wir die Basis der physikalischen Welt erreicht. Der metaphysische Gedankengang, der zur Gleichung (1) geführt hat, muss sich nun dadurch bewähren, dass sich aus dieser Gleichung bekannte physikalische Tatsachen und Theorien und möglichst auch neue physikalische Erkenntnisse ableiten lassen.

Sollte das in einem ausreichenden Maß gelingen, dann bedeutet Gleichung (1), dass *alles, was existiert, ein Muster aus Änderungen der metrischen Dichte und der Geschwindigkeit des metrischen Flusses* ist.

Dies ist der richtige Moment, um einen Augenblick innezuhalten. Zwar mag schon die Neuinterpretation der Relativitäts- und der Quantentheorie äußerst seltsam erschienen sein, und das mühsame Fortkommen im unwegsamen metaphysischen Gelände mag Befremden erregt haben – aber nirgends ist der Unterschied zwischen meinen Aussagen und denen der Standardphysik größer als hier.

Die Standardphysik kommt nach ihrem eigenen Dafürhalten dem Ursprung des Seienden in der sogenannten M-Theorie am nächsten, die eine Vereinheitlichung der verschiedenen Stringtheorien ist. Demnach soll das Fundament des Universums 11-dimensional sein. Die zugehörige Mathematik ist so komplex, dass daraus bisher keine überprüfbaren Voraussagen abgeleitet werden konnten.

Mag sein, dass dies die notwendige Bedingung für ein Universum ist. Ich halte es jedoch für viel wahrscheinlicher, dass solche Annahmen bloß der Ausdruck dafür sind, dass das Paradigma, innerhalb dessen der physikalische Fortschritt stattfindet, erschöpft und nicht länger fruchtbar ist.

Die Physik hat mit der Beobachtung von materiellen Objekten begonnen, und sie hat sich von den Begriffen, die zu diesen Objekten gehören, nie gelöst. Sie bestehen als Altlasten weiter und führen dort, wo sich die Physik den elementaren Sachverhalten nähert, zu absurden Schlussfolgerungen – ich erinnere an die Reduktion der Wellenfunktion. Die Annahmen der Stringtheoretiker erscheinen in

diesem Zusammenhang als das letzte Glied in einer Kette von irregeleiteten Interpretationen, die, solange die mit ihnen verknüpfte Mathematik konkrete Vorhersagen ermöglichte, mit der Wirklichkeit noch in Verbindung standen, die aber mit der Preisgabe dieses Kriteriums vollends ins Abseits geraten sind.

Die Gleichung, die in dieser Arbeit den *Ursprung des Seienden* darstellt, ist nicht die letzte Folge von Beobachtungen an existierenden Objekten, sondern die erste Folge von als notwendig erkannten Aussagen über ebendiesen Ursprung. Sie ist deren *einfachst-möglicher* Ausdruck.

Gerade durch ihre Einfachheit ermöglicht sie den größten strukturellen Reichtum, und ihre rein differenzielle Form wird sich als notwendige Bedingung für die Existenz der Freiheit herausstellen.

Das bringt mich zu einem weiteren wichtigen Punkt, auf den schon an dieser Stelle hingewiesen werden sollte: Alle Begriffe, die zu der soeben durchgeführten metaphysischen Ableitung gehören, erweisen sich nicht nur als geeignet für den Aufbau der physikalischen Welt, sie bilden auch die Grundlage für die Integration des Geistes in die auf diesen Begriffen errichtete Wirklichkeit.

Zurück zu der Physik, die sich aus Gleichung (1) folgern lässt.

Das erste Resultat ist, dass *im metrischen Fluss Wellen mit Lichtgeschwindigkeit* auftreten: Longitudinalwellen (sie werden später der Gravitation zugeordnet) und Transversalwellen (sie gehören zum Elektromagnetismus). Beide Wellenformen können auf zwei Arten erscheinen: Bei der einen Art ist die periodisch veränderliche Größe die metrische Dichte (der Länge bei den Longitudinalwellen bzw. des Winkels bei den Transversalwellen), bei der anderen Art ist es die Geschwindigkeit des metrischen Flusses (parallel zur Richtung des Flusses, in dem die Wellen auftreten, oder normal dazu).

Damit ist die grundlegende Schlussfolgerung bestätigt, die den Kernpunkt der Neuinterpretation der speziellen Relativität bildete: *Es gibt nur Wellen mit Lichtgeschwindigkeit. Alles, was existiert und was sich ereignet, ist ein Interferenzphänomen, ein Muster aus Superpositionen dieser Wellen.*

Nun ist die Erkenntnis hinzugekommen, dass die Wellen *im metrischen Fluss* existieren.

Daraus folgt, dass es in diesem Universum nur zwei Grundgrößen gibt: metrische Dichte und metrischer Fluss. Alle anderen Größen sind abgeleitet. Das fundamentale Einheitensystem besteht nur aus einer Längen- und einer Zeiteinheit. Es ist **ein metrisch-dynamisches Universum**.

Das zweite Resultat ist die Ableitung der **Gravitation einer zentralen Masse** aus Gleichung (1), und zwar in der Newtonschen *und* in der Einsteinschen Form.

Dafür ist die folgende metrische Annahme erforderlich:

Sei  $R^3$  ein leeres, glattes Kontinuum.  $r$  sei die Entfernung eines beliebigen Punktes  $P$  von einem gegebenen Punkt  $O$ . Wenn sich nun in  $O$  eine geometrische Masse  $m$  befindet ( $m = MG/c^2$ ), dann beträgt die Entfernung  $PO$  nur noch  $r - m$ .

Jeder Punkt liegt also um  $m$  Einheiten näher am Zentrum  $O$  als vorher. *Dem Kontinuum fehlen in jede Richtung  $m$  Einheiten.* Für die metrische Dichte  $\sigma$  gilt dann  $\sigma(r) = (r - m)/r$ .

In Gleichung (1) eingesetzt ergibt das die Newtonsche Gravitationsbeschleunigung  $dv/dt = -MG/r^2$ .

Bevor ich mit der Darstellung der Gravitation fortfahre, möchte ich darauf hinweisen, dass aus metrisch-dynamischer Sicht der Elektromagnetismus auf einer metrischen Deformation beruht, die analog zur metrischen Deformation bei der Gravitation ist:

Bei der Gravitation sind – im Vergleich zu einem euklidischen Kontinuum – alle Distanzen zu einer zentralen (geometrischen) Masse  $m$  um  $m$  Einheiten kleiner. Dadurch entsteht ein radialer, zum Zentrum hin beschleunigter metrischer Fluss.

Beim Elektromagnetismus sind die Umfänge aller Kreise, in deren Mittelpunkt sich eine elektrische Ladung  $\mu$  befindet, um  $2\pi\mu$  Einheiten kleiner (wobei  $\mu$  die geometrische Ladung ist). Dadurch entsteht ein metrischer Fluss, der um den Mittelpunkt rotiert.

Das ist ein geradezu wunderbarer Zusammenhang! Beide Wechselwirkungen werden auf eine Weise erklärt, die den zugrunde liegenden Mechanismus aufdeckt, und sie erweisen sich als direkte Folgen aus den beiden Interpretationen des fundamentalen Gesetzes mit  $\sigma$  als metrischer Dichte der Länge oder des Winkels – als Folgen eines Gesetzes also, das seinerseits nur der mathematische Ausdruck für dasjenige ist, was *für uns* der *Ursprung des Seienden* ist und das auf rein metaphysische Weise und keineswegs im Hinblick auf seine mögliche physikalische Nützlichkeit abgeleitet wurde!

Zurück zur Gravitation. Wir waren bei der Newtonschen Näherung.

Von dem hier eingenommenen Standpunkt aus führt die Anwendung der Gleichung  $dv/dt = -MG/r^2$  deshalb nur zu annähernd korrekten Ergebnissen, weil dabei die Tatsache nicht berücksichtigt wird, dass die Beschleunigung nicht auf Objekte wirkt, sondern dass es sich um einen *beschleunigten metrischen Fluss* handelt.

Exakte Resultate erhält man durch folgende Modellannahmen:

Gravitation einer zentralen Masse ist ein stationärer, zum Zentrum O hin beschleunigter metrischer Fluss; *Das Kontinuum selbst* fließt ins Zentrum. Im Fluss existieren Wellen mit Lichtgeschwindigkeit. Objekte sind Interferenzphänomene, Muster aus Superpositionen dieser Wellen.

Unter diesen Voraussetzungen kann nun z.B. die Lichtablenkung oder die Größe der Periheldrehung ermittelt werden. Wer die Ableitung der Periheldrehung aus der Allgemeinen Relativitätstheorie kennt, wird darüber erstaunt sein, dass sie hier nur wenige Zeilen lang ist.

Ebenso erstaunlich ist, dass die Darstellung nicht-relativistisch ist. Es scheint, als würde sich die Einfachheit des Mechanismus des Universums nur dem absoluten Blick von außen offenbaren!

Auch der Übergang auf die relativistische Sicht ist einfach. Da die Geschwindigkeit des metrischen Flusses und sein differenzielles Längenmaß bekannt ist, kann in jedem Punkt auf ein lokales relativistisches System transformiert werden. Die Gesamtheit dieser lokalen Systeme ergibt die Schwarzschild-Metrik.

Bei dieser Definition der Gravitation bleibt zunächst die Frage offen, *wodurch* der kugelsymmetrische metrische Defekt hervorgerufen wird. Ich vermute, dass die Superpositionen von Wellen, aus denen materielle Objekte bestehen, zu einer metrischen Verdichtung führen, so dass im Außenraum die metrische Dichte geringer wird.<sup>171</sup>

Die Vorstellung, dass ein gravitierendes materielles Objekt einem metrischen Defekt entspricht, führt zur Annahme, dass ein gravitierendes Objekt, das aus **Antimaterie** besteht, dem *umgekehrten* metrischen Defekt entspricht. Dadurch wäre unmittelbar klar, warum Materie und Antimaterie sich gegenseitig auslöschen.

Wenn also bei Materie dem Kontinuum in jeder Richtung  $m$  Einheiten fehlen, dann müssen bei Antimaterie in jeder Richtung  $m$  Einheiten zuviel sein. Die metrische Dichte  $\sigma$  ist dann nicht kleiner, sondern größer als im euklidischen Kontinuum, und es gilt  $\sigma(r) = (r + m)/r$  bzw.  $\sigma(r) = (r - (-m))/r$ .

Die geometrische Masse – und damit auch die "normale" Masse – hat also bei Antimaterie das umgekehrte Vorzeichen: sie ist negativ.

---

<sup>171</sup> Das wäre ein *nichtlinearer* Welleneffekt.

Das heißt: Befindet sich in O eine Masse der Größe  $-m$ , dann ist jeder Punkt um  $m$  Einheiten weiter von O entfernt als im glatten Kontinuum.

Der dadurch entstehende metrische Fluss ist imaginär.<sup>172</sup> Die Newtonsche Näherung bleibt gleich, aber in der exakten Beschreibung wird die Gravitation nicht größer als in der Newtonschen Näherung (wie es bei Materie der Fall ist), sondern kleiner; die Periheldrehung erfolgt in der umgekehrten Richtung, entgegen der Umlaufrichtung des Objekts.

Die Zeit vergeht in der Umgebung von Antimaterie nicht langsamer, sondern schneller als im euklidischen Kontinuum. Trotzdem erfolgt die Beschleunigung zum Zentrum hin.

Die Metrik der Raumzeit ist im Fall von Antimaterie nicht die Schwarzschild-Metrik. Statt des Korrekturfaktors  $(1 - 2m/r)$  tritt der Faktor  $(1 + 2m/r)$  auf.

Ein wichtiger Unterschied zwischen Materie und Antimaterie ist, dass im Gravitationsfeld von Antimaterie, d.h. im beschleunigten Fluss, keine longitudinalen, zur Gravitation gehörenden Wellen existieren, oder genauer, dass diese Wellen dort nach kurzer Zeit verschwinden.

Um weitere physikalische Zusammenhänge abzuleiten ist die folgende Annahme erforderlich:

*Die Wellen mit Lichtgeschwindigkeit, die in den metrischen Flüssen auftreten, bilden stehende Wellen, deren Wellenlänge gleich der Planck-Länge ist.*

Wie in einem Universum zu erwarten, in dem es nur Wellen gibt, ist hier die fundamentale Länge eine Wellenlänge.

Daraus lässt sich nun Folgendes ableiten:

Es befinde sich in O eine (geometrische) Masse  $m$ . Sie erzeugt einen kugelsymmetrischen, stationären metrischen Fluss in Richtung O. Im Fluss gibt es stehende Wellen von Planck-Länge.

Für einen relativ zu O ruhenden Beobachter ist wegen der relativistischen Zeitverschiebung die Phasenübereinstimmung der gegenlaufenden Planck-Wellen aufgehoben. Er sieht also keine stehenden Wellen, sondern Phasenwellen, und es gilt:

---

<sup>172</sup> Da die Energie des Feldes das Quadrat der Geschwindigkeit  $v$  des metrischen Flusses enthält, wird auch die Energie negativ, wenn  $v$  imaginär wird.

*Die Wellenlänge der Phasenwelle ist gleich der Compton-Wellenlänge  $\lambda_C$  eines Teilchens mit der Masse  $m$ . Auf einer Kugelfläche mit  $O$  als Mittelpunkt und mit diesem Radius existiert eine gleichphasige Schwingung mit der Frequenz des Teilchens.*

Der Zusammenhang zwischen der geometrischen Masse  $m$ , der zugehörigen Wellenlänge  $\lambda_C$  und der Planck-(Wellen)-Länge  $\lambda_{Pl}$ , der sich aus dieser metrisch-dynamischen Struktur ergibt, ist

$$m \lambda_C = \lambda_{Pl}^2$$

Die Planck-Länge ist also das geometrische Mittel von geometrischer Masse  $m$  und zugehöriger Wellenlänge  $\lambda_C$ . Das heißt, es gibt ein  $Z_m$ , so dass

$$m Z_m = \lambda_{Pl} \text{ und } \lambda_{Pl} Z_m = \lambda_C .$$

(Z.B. ist im Fall eines Elektrons  $Z_m = 5.990 \cdot 10^{22}$ )

Die Gleichung  $m \lambda_C = \lambda_{Pl}^2$  überbrückt mehr als 40 Größenordnungen und liefert eine metrisch-dynamische Begründung des Zusammenhangs zwischen diesen fundamentalen Größen. Außerdem ist sie – wie sich später herausstellen wird – das gravitative Analogon zu der aus dem Atomaufbau bekannten Gleichung:

$$r_e r_B = \tilde{\lambda}_{Ce}^2$$

wo  $r_e$  der klassische Elektronenradius ist,  $r_B$  der Bohr-Radius und  $\tilde{\lambda}_{Ce}$  die Compton-Wellenlänge des Elektrons. Hier ist  $\tilde{\lambda}_{Ce}$  das geometrische Mittel von  $r_e$  und  $r_B$ , und der Faktor, um den sich die Größen unterscheiden, ist die Feinstrukturkonstante  $1/\alpha$ :

$$r_e 1/\alpha = \tilde{\lambda}_{Ce} \text{ und } \tilde{\lambda}_{Ce} 1/\alpha = r_B \text{ (mit } 1/\alpha = 137.036)$$

Auch dieser Zusammenhang wird im Folgenden metrisch-dynamisch begründet.

Betrachten wir nochmals die Gleichung

$$m \lambda_C = \lambda_{Pl}^2$$



Da die Compton-Wellenlänge  $\lambda_C$  multipliziert mit der Teilchenfrequenz  $\nu_m$  gleich der Lichtgeschwindigkeit  $c$  ist, also  $\lambda_C \nu_m = c$ , folgt daraus

$$m c = \lambda_{pl}^2 \nu_m$$

Diese Gleichung ist das metrisch-dynamische Äquivalent zu  $M c^2 = h \nu$  bzw.  $E = h \nu$  und  $E = M c^2$ .

Ich fasse den grundlegenden metrisch-dynamischen Sachverhalt zusammen (ich nenne die folgende Aussage P1, um mich später darauf beziehen zu können):

**(P1)** Im metrischen Fluss, der durch eine zentrale Masse  $m$  verursacht wird, existieren stehende Wellen von Planck-Länge. Im System eines relativ zur Masse  $m$  ruhenden Beobachters treten Phasenwellen auf. Dadurch entsteht in diesem System auf einer Kugelfläche im Abstand einer Compton-Wellenlänge vom Zentrum eine gleichphasige Schwingung mit der zu  $m$  gehörenden Frequenz.

Das ist natürlich noch kein Modell der metrischen Struktur eines Teilchens; aber es ist ein Hinweis auf eine solche Struktur. Und es ist der erste Schritt zum metrisch-dynamischen Atomaufbau.

Zuvor muss aber der **Elektromagnetismus** aus metrisch-dynamischer Sicht definiert werden.

Wie die Gravitation ist auch der Elektromagnetismus ein metrischer Defekt. Gravitation ist eine Änderung des Längenmaßes, Elektromagnetismus ist eine Änderung des Winkelmaßes: Die metrische Dichte des Winkels ist im Vergleich mit einem euklidischen Kontinuum verändert.<sup>173</sup>

Die elektrische Ladung wird dadurch auf analoge Weise geometrisiert wie die Masse. Die geometrische Ladung  $\mu$  hat die Dimension einer Länge. Sie ist dadurch definiert, dass sich die Umfänge von Kreisen, in deren Mittelpunkt sich die Ladung  $\mu$  befindet, um  $2\pi\mu$  Einheiten von denen des euklidischen Kontinuums unterscheiden. Sie betragen also  $2\pi(r - \mu)$ .

Bei positiver Ladung ist  $\mu > 0$  (im Abstand  $\mu$  wird der Kreisumfang 0), bei negativer Ladung ist  $\mu < 0$  (im Abstand  $\mu$  wird der Kreisumfang  $4\pi\mu$ ).

---

<sup>173</sup> Diese metrische "Koexistenz" von Gravitation und Elektromagnetismus ist nur im *Flussbild* der beiden Wechselwirkungen erkennbar, da nur in dieser Sicht Gravitation sich ausschließlich durch Änderungen der Längendifferenziale in Flussrichtung äußert. Das Universum besteht hier also aus *Flusslinien*.

Durch die Änderung der Umfangslängen entsteht ein metrischer Fluss. Bei der Gravitation ist der Fluss radial, beim Elektromagnetismus ist er tangential; er rotiert also um das Zentrum. Beide Drehrichtungen sind möglich. Die Geschwindigkeit des Flusses hängt vom Ausmaß der Änderung des Bogendifferenzials in derselben Weise ab wie bei der Gravitation von der Änderung des radialen Längendifferenzials.

Im Fall von positiver Ladung ist der Fluss reell, im Fall von negativer Ladung ist er imaginär.

*Positive und negative elektrische Ladung stehen zueinander also im selben Verhältnis wie die gravitativen "Ladungen" von Materie und Antimaterie.*

In derselben Weise wie durch eine Masse  $m$  wird auch durch eine Ladung  $\mu$  die Zeit verändert: bei positiver Ladung vergeht sie langsamer, bei negativer schneller.

Wie bei der Gravitation liegt dieses metrisch-dynamische Szenario zunächst in nicht-relativistischer Form vor. Aber es ist hier auf dieselbe Weise möglich, auf die relativistische Sicht überzuwechseln.

Was sofort auffällt, ist, dass die metrischen Änderungen *in jeder Ebene* durch das Zentrum auftreten. In jeder Ebene fehlt den Kreisumfängen  $2\pi\mu$ , und in jeder Ebene existiert ein rotierender metrischer Fluss in beide Richtungen. Das sind genau die Fakten, die den quantenmechanischen *Spin* charakterisieren und die ihn so erscheinen lassen, als sei er nicht auf realistische Weise interpretierbar.

Das gilt aber nur, solange er als Eigenschaft eines *Objekts* aufgefasst wird. Im metrisch-dynamischen Bild erscheint er jedoch als Eigenschaft des *Kontinuums*, und als solche ist er geometrisch einsichtig, denn es ist zweifellos möglich, das Kontinuum aus Ebenen zusammensetzen und diesen Ebenen Eigenschaften zuzuschreiben wie etwa Rotation. Dass dadurch einem Punkt in *jeder* Richtung auf einer Ebene (die tangential auf einer Kugel um das Zentrum liegt) dieselbe Geschwindigkeit (des rotierenden metrischen Flusses) zugeschrieben werden muss, ist kein Widerspruch. Bei einem *Objekt* wäre es widersprüchlich, anzunehmen, es bewege sich in mehr als einer Richtung, einem Punkt des Kontinuums eine Geschwindigkeit in mehr als einer Richtung zuzuschreiben, ist jedoch nicht widersprüchlich – es bewegt sich ja nichts. Der Punkt ist nur ein Ort und keine Abstraktion von Seiendem.

Aus diesem metrisch-dynamischen Modell des Elektromagnetismus lässt sich nun der quantenmechanische **Aufbau der Atomhülle** ableiten. Folgendermaßen:

Nehmen wir an, in einem Punkt O befinde sich die geometrische Ladung  $\mu > 0$  ( $\mu$  hat die Dimension *Länge*). Sie erzeugt einen rotierenden metrischen Fluss in jeder Ebene durch O.

Nun denken wir uns in dieses rotierende Kontinuum ein *Elektron* versetzt.

Gemäß den Ausführungen des ersten Teils ist das Elektron jedoch kein *Teilchen*, sondern ein *Schwingungszustand des Kontinuums*. Nach (P1) existiert durch diesen "Elektron" genannten Schwingungszustand eine gleichphasige Schwingung auf einer Kugelfläche um O mit Radius  $\lambda_c$ .

In bezug auf eine *mit dem Fluss rotierende Ebene* durch O ist die Gleichphasigkeit der Schwingung aufgehoben, und es entsteht eine Phasenwelle. (Man beachte, dass das nur in Bezug auf die rotierende Ebene gilt. Im nicht-rotierenden System schwingt nach wie vor eine Kugelfläche phasengleich.)

Die Eigenschaften des Grundzustands des Wasserstoffatoms können nun aus der Bedingung abgeleitet werden, dass die Phasenwellenlänge gleich dem Kreisumfang sein muss. Daraus folgt zunächst der Bohr-Radius, und daraus kann dann die Frequenz mittels der Änderung des Zeitvergehens ermittelt werden.

Die aus dem metrisch-dynamischen Modell errechneten Werte stimmen genau dann mit den bekannten Werten überein, wenn die geometrische Ladung  $\mu$  gleich dem klassischen Elektronenradius  $r_e$  gesetzt wird. Dann hat die Rotation diejenige Geschwindigkeit, die dazu führt, dass die obige Bedingung im Abstand des Bohr-Radius erfüllt ist.  $\mu$  wird damit zur *geometrischen Elementarladung*.

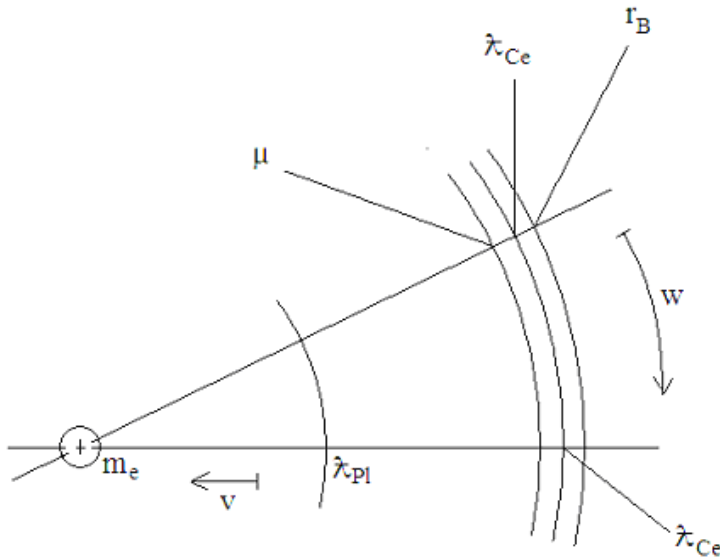
Aus  $r_e r_B = \lambda_{ce}^2$  wird also  $\mu r_B = \lambda_{ce}^2$

Es ist dann  $\mu / \alpha = \lambda_{ce}$  und  $\lambda_{ce} / \alpha = r_B$ .

Dadurch erfährt auch dieser bekannte Zusammenhang eine metrisch-dynamische Erklärung.

Zur besseren Übersicht über das ganze Szenario, das sich aus der Bedingung stehender Phasenwellen im radialen Fluss  $v(r)$  und im rotierenden Fluss  $w(r)$  zusammensetzt, hier nochmals die Skizze (S21) aus II, 5.8.

(Die Größenverhältnisse sind trotz der logarithmischen Skalierung nicht korrekt wiedergegeben. Die wirklichen Größen unterscheiden sich um 47 Größenordnungen:  $m_e = 6.763 \cdot 10^{-58}$  Meter,  $r_B = 5.2918 \cdot 10^{-11}$  Meter.)



Ebenso wie der Grundzustand können auch die anderen Zustände abgeleitet werden. Es ist tatsächlich möglich, aus den zuvor beschriebenen einfachen metrischen Annahmen alle Orbitale der quantenmechanischen Darstellung nicht nur des Wasserstoffatoms, sondern auch aller anderen Atome zu rekonstruieren – auch die Orbitale mit einer Rotation  $\neq 0$  –, indem sie als *Schwingungszustände des Kontinuums* aufgefasst werden.<sup>174</sup>

Genau diese Annahme war für eine lokale und objektive Interpretation der Quantentheorie erforderlich. Sie hat sich nun bestätigt. Elektronen sind keine "Teilchen"; Ein zusätzliches Elektron bedeutet einfach eine zusätzliche Knotenfläche im Gesamtschwingungszustand.

Soviel zur Rekonstruktion des Atomaufbaus.

Es sind nun hinreichend viele bekannte und unbekannte Zusammenhänge auf einfache und einsichtige Weise abgeleitet worden, um der metrisch-dynamischen Sicht den Status einer plausiblen Alternative zu den üblichen Interpretationen zu verschaffen.

<sup>174</sup> Dass sie im Haupttext nur als Näherungen erscheinen, ist dadurch begründet, dass ich die Berechnungen nur in Bezug auf ebene Schnitte durch die räumlichen Schwingungszustände durchgeführt habe. Deshalb entsprechen die Resultate denen der "alten" Quantenmechanik, die von Teilchen ausging, die in einer Ebene rotieren.

Ihre Attraktivität verdankt sie vor allem der Tatsache, dass sie Gravitation und Elektromagnetismus, Materie und Antimaterie, positive und negative Ladung und einige weitere Hypothesen in einem einzigen geometrischen Bild vereinigt.

Überdies stehen alle Resultate in Übereinstimmung mit den neuen Interpretationen von Relativitätstheorie und Quantentheorie, die im ersten Teil abgeleitet wurden.

(Es ist klar, dass an eine fundamentale neue Sichtweise nicht die Forderung der Vollständigkeit gestellt werden kann. Ich will aber dennoch einiges zum Fehlen der beiden anderen Wechselwirkungen bemerken:

Das sogenannte Schalenmodell des Atomkerns kann dadurch rekonstruiert werden, dass man das Verfahren, aus der Geschwindigkeit der Rotation die Radien abzuleiten, wo stehende Phasenwellen der Compton-Welle des Elektrons existieren, auf die Compton-Welle des Protons anwendet. Da die Compton-Wellenlänge des Protons kleiner ist als die geometrische Ladung, führt diese Methode nach innen, in einen Bereich, wo die Flussgeschwindigkeit größer als die Lichtgeschwindigkeit ist bzw. – in der relativistischen Darstellung – die Metrik komplex wird. Möglicherweise kann also die schwache Wechselwirkung weitgehend analog zur elektromagnetischen Wechselwirkung definiert werden, mit dem Unterschied, dass – von der geometrischen Ladung  $Z\mu$  ( $Z$  Kernladungszahl) aus gesehen – die eine *nach innen* und die andere *nach außen* gerichtet ist.

Zur starken Wechselwirkung lässt sich Folgendes feststellen: Wenn es sich, wie im metrisch-dynamischen Modell angenommen wird, bei den Wellen der Quantentheorie um wirklich existierende Wellen handelt, dann muss irgendwo – d.h. bei einer bestimmten Größenordnung – eine Grenze der Linearität erreicht sein. Vermutlich ist das bei der Größenordnung der Atomkerne der Fall. Wenn das zutrifft, dann muss die starke Wechselwirkung als nichtlineares Phänomen verstanden werden, das aus Gleichung (1) mit  $\sigma$  als Winkeldichte-Parameter hervorgeht.)

Im metrisch-dynamischen Universum gibt es, wie erwähnt, nur die Grundgrößen metrische Dichte und metrischer Fluss. Alle anderen Größen sind abgeleitet.

Also kann – oder genauer: *muss* die Grundgröße "Masse" eliminiert werden, indem man sie durch die Größe "geometrische Masse" *ersetzt*, und zwar überall dort, wo sie auftritt, also *in allen physikalischen Größen, die die Einheit kg enthalten, und in allen Gleichungen, die solche Größen enthalten*.

Masse hat dann die Dimension einer Länge, und entsprechend ändern sich die Dimensionen aller Größen, in denen die Einheit kg enthalten ist. Die Dimension der Kraft  $F$  ändert sich dadurch von

$\text{kg m s}^{-2}$  zu  $\text{m}^2 \text{s}^{-2}$ , und dieselbe Veränderung – Division durch [kg] und Multiplikation mit [Meter] – ist für alle massebehafteten Größen durchzuführen.

Damit ist der Übergang auf ein rein geometrisches Universum vollzogen, und jetzt kann mit Recht – wie beim Lichtelektrischen Effekt angekündigt – behauptet werden, dass die Größen Energie und Impuls aus den Größen Frequenz und Wellenlänge abgeleitet sind.

Die Gravitationskonstante  $G$  verliert ihre Bedeutung als eigenständige Naturkonstante. Aus

$$F = G \frac{M_1 M_2}{r^2} \quad \text{wird} \quad F^* = c^2 \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Analog dazu geht das Coulombsche Gesetz, das die Kraft zwischen zwei Ladungen  $Q_1$  und  $Q_2$  im Abstand  $r$  beschreibt ( $\beta$  ist eine dimensionslose Konstante)

$$F_E = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad \text{über in} \quad F_E^* = \beta c^2 \frac{Z_1 \mu Z_2 \mu}{r^2} \quad (\mu > 0, Z_1, Z_2 \in \mathbb{Z}, \beta \in \mathbb{R})$$

Zuletzt, wie im Haupttext, einige Bemerkungen über Kosmologie.

Es ist bekannt, wie die Vorstellung, dass sich das Universum ausdehnt, entstanden ist. An kosmischen Objekten wurde eine Rotverschiebung beobachtet, die mit der Entfernung zunimmt. Daraus wurde geschlossen, dass sich die Objekte von uns – und damit auch von einander – entfernen.

Es gibt jedoch auch eine andere Erklärung für die Rotverschiebung: Nicht die Objekte entfernen sich voneinander, sondern die Maßstäbe, mit denen wir messen, werden mit der Zeit kürzer. Da das Längenmaß durch eine Wellenlänge definiert ist, und weil wir ja jede Welle als Maßstab verwenden könnten, bedeutet das, dass alle materiellen Wellenlängen im Lauf der Zeit im selben Maß abnehmen.

Mit anderen Worten: Nicht das Universum dehnt sich aus, sondern wir selbst – und alle anderen materiellen Objekte – werden kleiner.

Im ersten Augenblick erscheint diese Hypothese natürlich verrückt – aber nur unter den gegenwärtig als selbstverständlich akzeptierten Voraussetzungen. Die Rotverschiebung selbst erlaubt keine Entscheidung zwischen den beiden Hypothesen – beide sind zu ihrer Erklärung geeignet. Also hängt

die Entscheidung ausschließlich von der Sicht des Universums ab, die man hat, *bevor* man sich für eine der beiden Hypothesen entscheidet.

In einem Universum, das aus elementaren Teilchen und damit verbundenen Naturkonstanten besteht, wird man sich selbstverständlich für die Expansionshypothese entscheiden. Eigentlich ist diese Aussage aber nicht korrekt, denn es gab gar keine Entscheidung; über die Alternative ist niemals nachgedacht worden.

Wenn es aber keine Teilchen gibt, sondern nur *metrische Änderungen* und sonst nichts, dann ist es näher liegend, eine Verringerung der Wellenlängen anzunehmen.

Im Rahmen der Standardphysik wird angenommen, dass die Verhältnisse zwischen den physikalischen Größen konstant bleiben *und* dass diese Größen selbst konstant sind. Im Alternativmodell genügt die Annahme konstanter Verhältnisse. Die Standardinterpretation benötigt also *mehr* Voraussetzungen.

Was ist mit den zahlreichen Zusammenhängen zwischen physikalischen Größen? Ist es nicht absurd, anzunehmen, dass sie bei einer solchen Schrumpfung erhalten bleiben?

Nein. Durch die bisherigen Schlussfolgerungen ist klar geworden, warum eine Verkleinerung von Wellenlängen *alle* Wellen betrifft: Alle Wellenlängen hängen miteinander zusammen. Die gerade eben durchgeführte Geometrisierung des Atomaufbaus demonstriert das auf eindruckliche Weise.

Noch ein weiterer Grund spricht für die Alternativannahme: Größe ist ein relativer Begriff. Er kann auf alles angewendet werden, was existiert. Das Universum im Ganzen existiert aber nicht; Das Kriterium für Existenz ist Wechselwirkung. Womit sollte das Universum wechselwirken?

Das Universum im Ganzen ist *nicht relational*. Wenn es eine Gleichung gibt, die die Größe des Universums zur Größe eines existierenden Objekts ins Verhältnis setzt, dann muss eine Änderung dieses Verhältnisses immer zu Lasten der Objektgröße gehen.

Kurz gesagt: Es gibt nur Größenverhältnisse. Die *zusätzliche* Annahme einer absoluten Größe ist ein logischer Luxus, der Ockhams Messer zum Opfer fällt.

Mit der Annahme, dass nicht das Universum sich ausdehnt, sondern die Wellenlängen sich verringern, verschwindet auch sofort das leidige Problem – um nicht zu sagen: der lästige Unfug – der sogenannten *dunklen Energie*: Wenn es keine Expansion gibt, dann gibt es auch keine "dunkle Energie".

Auch die ontologische Unsinnigkeit der Annahme eines *Urknalls* ist dann endlich beseitigt.

Schließlich erübrigt sich auch die Annahme *dunkler Materie*, und zwar aus folgendem Grund:

In der Newtonschen und der Einsteinschen Sicht der Gravitation erscheint die gravitative Wirkung von Galaxien zu groß, um ausschließlich durch die bekannte (sichtbare) Materie verursacht zu sein. Man ist also zur Annahme zusätzlicher (dunkler) Materie bzw. zu einer Änderung des Gravitationsgesetzes gezwungen. In meiner Sicht der Gravitation folgt diese scheinbar "zusätzliche" Kraft hingegen direkt aus der Theorie: Gravitation wird hier als *metrischer Fluss* verstanden, der durch Masse verursacht wird. Der Raum selbst "fließt" auf die Massen zu, er "folgt" ihnen gewissermaßen. Das bedeutet: Wenn ein Großteil der gravitierenden Massen rotiert, dann rotiert auch der Raum. Sterne, die in diesem rotierenden Raum *ruhen* würden, erschienen einem äußeren Beobachter daher als *bewegt*. Somit muss diese Raumrotation bei der Berechnung der Rotationsgeschwindigkeit aufgrund der zum Zentrum der Galaxie gerichteten Gravitation *addiert* werden.

Wie verläuft die Entwicklung in diesem alternativen Universum? Grundsätzlich genauso wie im Standarduniversum – mit einer wesentlichen Ausnahme: das Alternativuniversum ist *geschlossen*, und *eine* Form der Selbstorganisation ist daher die Bildung stehender Wellen. Die riesigen kosmischen Leerräume sind vermutlich solche Wellen, und die Galaxienhaufen sind die "Knotenflächen".

Damit ist die Kurzvorstellung des metrisch-dynamischen physikalischen Universums abgeschlossen.

Seine Basis sind nicht Beobachtungstatsachen, sondern metaphysische Überlegungen, deren Folgen sich jedoch an Beobachtungstatsachen bewähren müssen. Alle physikalischen Aussagen folgen aus der fundamentalen Gleichung und einigen metrischen Zusatzannahmen. Es gibt nur zwei Grundgrößen: metrische Dichte und metrischer Fluss, und somit auch nur zwei fundamentale Einheiten. Meter und Sekunde.

*Die Wirklichkeit ist ein differenzielles Gewebe aus Raum- und Zeitänderungen.*

Als ich das metaphysische Szenario erstellte, das die Basis meiner physikalischen Hypothesen bildet, habe ich nicht im Geringsten damit gerechnet, dass mich die Begriffe und Konzepte, aus denen es besteht, so weit tragen könnten. Nicht weniger groß war mein Erstaunen, als sich anschließend herausstellte, dass in der Wirklichkeit, die sich daraus entfaltet – im Gegensatz zur gegenwärtigen naturwissenschaftlichen Wirklichkeit – auch die Existenz von Geist und Willensfreiheit begründet werden kann.

Beobachtungstatsachen, die in großer Zahl vorliegen, lassen nur einen Schluss zu: *Geist wird von neuronalen Netzen hinreichender Komplexität hervorgebracht*. Ihn von neuronalen Netzen zu trennen und ihm eine davon unabhängige Existenz zuzuerkennen, entbehrt jeder Rechtfertigung. Anlass für



Phantastereien dieser Art bietet einzig die Tatsache, dass der Versuch, Geist in das naturwissenschaftliche Weltbild zu integrieren, bisher an zwei Widersprüchen gescheitert ist:

1. Die Annahme der Willensfreiheit widerspricht der universellen, lückenlosen Gesetzmäßigkeit der Natur.

2. Geistige Zustände sind *Qualia*: Sie sind nicht nur *Information*, sondern auch *Empfindung*. Es ist aber auszuschließen, dass ein physikalischer Zustand zur Empfindung werden kann.

Das, was in einem neuronalen Netz beobachtet werden kann, ist ein neuronales Erregungsmuster. Es kann als Repräsentation innerer oder äußerer Gegebenheiten beschrieben und verstanden werden. Die Empfindung, die damit verbunden ist, ist jedoch in dieser Beschreibung nicht enthalten. Das, was dieses Muster *ist* – das Quale, die Einheit von Information und Empfindung – scheint das, was beobachtet wird, auf unerklärliche Weise zu transzendieren.

Ich beginne mit dem Widerspruch zwischen Naturkausalität und Willensfreiheit.

Wie äußert sich die Kausalität der Natur in der Beschreibung? Durch Naturgesetze und Anfangsbedingungen. Gesetze sind quantitative Beziehungen zwischen Variablen, also Gleichungen, Anfangsbedingungen sind die Werte der Variablen zu einem bestimmten Zeitpunkt.

Es gibt zwei Typen von Systemen: solche, bei denen die dynamischen Gleichungen der Elemente des Systems lösbar sind und eine genaue Voraussage über die Zukunft ermöglichen, und solche, wo diese Gleichungen unlösbar sind und die Zukunft auf der Basis dieser Gleichungen entweder überhaupt nicht oder nur befristet und näherungsweise berechnet werden kann.

Ein Beispiel für den ersten Typ wäre etwa ein System von zwei gravitativ aneinander gebundenen Körpern, die vom Rest des Universums isoliert sind, ein Beispiel für Typ zwei wäre ein System von tausenden solcher Körper.

Der Typ zwei muss jedoch abermals unterteilt werden: es gibt auch Systeme mit einer großen Zahl von Elementen, bei denen die Bewegungsgleichungen nicht lösbar sind, wo aber eine Voraussage für die zeitliche Entwicklung des Systems dennoch möglich ist, weil hier zusätzlich zu den Naturgesetzen ein weiteres Gesetz auftritt, das seine Existenz der Form bzw. der Struktur des Systems verdankt.

Ein einfaches Beispiel für ein solches Gesetz ist das *Schwingungsgesetz eines Gefäßes*. Dieses Gesetz kann unabhängig vom physikalischen Aufbau des Gefäßes formuliert werden. Es ist ein Gesetz, das nicht aus den Naturgesetzen ableitbar ist und daher zu den Naturgesetzen hinzugefügt werden muss,

um die Dynamik des Gefäßes beschreiben zu können.<sup>175</sup> Dieses *Strukturgesetz* ist das dominante Gesetz: es bestimmt die globale *und* lokale Dynamik, d.h. die Bewegung der einzelnen Elemente.

Die Form bzw. Struktur des Objekts, seine globalen Eigenschaften, bestimmen also die Dynamik der Bestandteile und nicht umgekehrt. Das Konzept der *Kausalität von unten* muss durch das Konzept der *Kausalität von oben* ergänzt werden.

Ein weiteres Beispiel ist das *neuronale Input-Output-Gesetz*. Durch die Form und Struktur eines Neurons ist festgelegt, wie die elektrische Erregung erzeugt, weitergeleitet, aufsummiert und schließlich abgegeben wird. Auch dieses Gesetz ist unabhängig von seiner physikalischen Realisierung. Nur deshalb ist es möglich, die neuronale Dynamik durch Computersimulationen nachzubilden.

Das neuronale Input-Output-Gesetz bestimmt außerdem die Dynamik des neuronalen Netzes. Das Netz bildet also eine eigene Schicht der Wirklichkeit, die als solche beschrieben werden muss. Es ist aus dieser Sicht ein kybernetisches System, dessen Elemente Neuronen sind, deren Interaktion dem neuronalen Input-Output-Gesetz gehorcht. Dieses Gesetz ist ein Strukturgesetz, und es kann als Wechselwirkungsgesetz der Neurone aufgefasst werden.

Wie beim Gravitationsszenario mit tausenden von Körpern sehen wir uns hier einer so großen Zahl von Neuronen gegenüber, die entweder direkt oder über eine geringe Zahl von Zwischenschritten miteinander wechselwirken, dass es unmöglich ist, die zeitliche Entwicklung des Netzes vorherzusagen, *es sei denn*, die Verhältnisse wären nicht wie beim Gravitationsszenario, sondern wie beim Gefäß, wo durch das Auftreten eines weiteren Gesetzes die Bewegung einer ungeheuren Zahl von Teilchen auf einfache Weise organisiert wird.

Gibt es im neuronalen Netz solch ein zusätzliches Gesetz? Die Antwort ist *ja*. Folgendermaßen:

Das neuronale Input-Output-Gesetz bestimmt die Dynamik eines Netzes nur solange, als dieses Netz nicht mit der Außenwelt verbunden ist. Sobald jedoch eine solche Verbindung besteht, hängen die neuronalen Erregungsmuster von äußeren Gegebenheiten ab. Sie werden dann durch Information, die über die Sinnesorgane ins Netz gelangt, verursacht und *repräsentieren* etwas.

Falls ein Muster über eine gewisse Zeit existiert, werden die neuronalen Verbindungen, die dabei aktiv sind, verstärkt. Das Muster wird dadurch zum *Attraktor* im Phasenraum des neuronalen Netzes. Die

---

<sup>175</sup> Falls man annähme, dass aus einem Zustand des Universums alle späteren Zustände folgen, könnte man dennoch behaupten, das Schwingungsgesetz sei abgeleitet. Diese Annahme wird gleich anschließend widerlegt.

Abfolge solcher Muster wird zunächst durch die Abfolge der Ereignisse festgelegt, deren Elemente sie repräsentieren. Da die Muster aber Attraktoren der neuronalen Dynamik selbst sind, besteht die Tendenz, dass das Netz sie auch *unabhängig von äußeren Umständen* herstellt und dass auch ihre Abfolge intern, durch verstärkte neuronale Verbindungen, d.h. *assoziativ*, geregelt wird.<sup>176</sup>

Der Phasenraum des Gefäßes, das uns zuvor als Beispiel diente, ist durch einige Attraktoren – die möglichen Schwingungszustände des Gefäßes – strukturiert. Die Kausalität wirkt von oben nach unten: die globalen Bedingungen sind die Ursache der Bewegungen der Teilchen.

Im neuronalen Netz sind die Verhältnisse analog: Hier existiert eine große Zahl von Attraktoren im Phasenraum. Die gesamte Dynamik des Netzes verläuft von Attraktor zu Attraktor. Auch hier wirkt die Kausalität von oben nach unten. Globale Bedingungen – die Struktur des Phasenraums, also die Attraktoren selbst und die Übergänge zwischen ihnen – bestimmen die zeitliche Entwicklung des Netzes und damit auch die lokalen neuronalen Prozesse.

Nun identifizieren wir *geistige Prozesse* mit der eben dargestellten Dynamik; damit haben wir *Geist* als eigenständige Schicht der Wirklichkeit abgeleitet. Er ist im neuronalen Netz *dominant*, er ist also *Ursache* dessen, was geschieht.

Es ist daher falsch, Geist als *neuronales Phänomen* aufzufassen. Geist ist eine Schicht der Wirklichkeit, die *über* der neuronalen Schicht liegt, ebenso wie diese über der molekularen Schicht. So, wie Moleküle Elemente von Neuronen sind, sind Neurone Elemente von geistigen Zuständen, und genauso, wie die aus dem neuronalen Input-Output-Gesetz hervorgehende neuronale Dynamik eine eigenständige Schicht der Wirklichkeit ist, die nicht aus der molekularen Dynamik abgeleitet werden kann, ist auch die geistige Dynamik eine eigenständige Schicht der Wirklichkeit, die nicht aus der neuronalen Dynamik abgeleitet werden kann.

Zum Beweis der Willensfreiheit ist noch ein weiterer Schritt notwendig.

Es besteht kein Zweifel, dass geistige Prozesse Regeln unterworfen sind. Haben wir damit also nur die physikalische Kausalität gegen eine andere eingetauscht?

Nein. Der Unterschied zwischen den Gesetzen, denen physikalische Systeme unterworfen sind, und den Gesetzen, denen geistige Prozesse folgen, besteht darin, dass bei physikalischen Systemen zwar

---

<sup>176</sup> Das wird allerdings nur dann der Fall sein, wenn das Netz *funktionell ungebundene Bereiche* enthält, in denen sich solche internen, rückkoppelnden Prozesse entwickeln können. Ansonsten würde die Abfolge der Attraktoren bzw. Repräsentationen von der Architektur des Netzes und von äußeren Gegebenheiten abhängig bleiben.

neue Zustände auftreten können, aber die Gesetze immer gleich bleiben, wogegen geistige Prozesse ihre eigenen Gesetze ändern können, während sie stattfinden.

Die physiologische Grundlage dieser Tatsache ist das Hebbsche Gesetz, das besagt, dass benachbarte Neurone, die gleichzeitig aktiv sind, ihre gegenseitige Stimulation verstärken. Umgekehrt werden nicht benutzte Verbindungen abgebaut. Die neuronale Codierung geistiger Inhalte wird modifiziert.

Auch die Änderung der Struktur des Phasenraums des Netzes, die durch diese Rückkopplung erfolgt, muss aber wieder der dominanten Schicht der Wirklichkeit zugeschrieben werden, d.h. auch sie ist ein geistiges und kein neuronales Phänomen. Das Hebbsche Gesetz stellt nur die notwendige Bedingung dafür dar, dass der Geist seine eigenen Gesetze verändern und damit zugleich bestimmen kann.

Es existiert also kein System vorgegebener Gesetze und Anfangsbedingungen, in dem geistige Prozesse und Willensentscheidungen vollständig enthalten sind. Auf die Frage, warum eine Person so und nicht anders entschieden hat, gibt es nur eine einzige zulässige Antwort: *Weil sie es so wollte.*

Wir sind zu dem Schluss gelangt: *Es gibt Willensfreiheit.*

Unsere Schlussfolgerung ist aber noch unvollständig. Wir haben globale Entitäten und *Kausalität von oben* als eigenständige Phänomene angenommen. Es ist also notwendig, zu zeigen, dass die *globalen Bedingungen* nicht aus früheren Zuständen abgeleitet werden können. (Wären sie ableitbar, dann wären sie kein selbständiges Element der Wirklichkeit und ihrer Beschreibung.)

Fragen wir uns also: *Existiert ein Verfahren, durch das die Zukunft aus der Gegenwart in endlich vielen Schritten berechnet werden kann?*

In diesem Fall wäre die Zukunft *vollständig* in der Gegenwart enthalten – mit allen Phänomenen einschließlich geistiger Prozesse und Willensakte; Die Behauptung der Kausalität von oben wäre nicht möglich, und Freiheit wäre eine Illusion.

Wichtig ist, dass es dabei nur um die *Existenz* eines solchen Algorithmus geht und nicht darum, ob wir ihn kennen oder ob wir dazu in der Lage wären, ihn auszuführen, falls er uns bekannt wäre. (Beides ist mit Sicherheit auszuschließen.) Allein schon durch seine Existenz wäre die Annahme der Freiheit widerlegt.

Also ist zu fragen, ob in derjenigen Wirklichkeit, die hier in ihren Grundzügen vorgestellt wurde, ein solcher Algorithmus existiert.

Als Ausgangspunkt dient wieder der Unterschied zwischen Wirklichkeit und Beschreibung: Die Wirklichkeit hat die metaphysische Qualität *Aktivität*; Beschreibungen der Wirklichkeit – wie auch Modellen oder Simulationen – fehlt hingegen diese Qualität: *von sich aus* sind sie *passiv*.

Dass die Wirklichkeit *aktiv* ist bedeutet, dass sie an jedem Ort und zu jedem Zeitpunkt das fundamentale, rein differenzielle Gesetz *vollzieht* – und dieser Vollzug ist notwendig *und* hinreichend dafür, dass aus der Gegenwart die Zukunft entsteht. Aufgrund ihrer *Aktivität* ist es für die Wirklichkeit nicht erforderlich, aus dem unendlich Kleinen herauszutreten und die überabzählbar unendlich vielen Beziehungen zwischen den Punkten des Kontinuums zu "kennen", die voneinander distanziert liegen. Es genügt, dass sie an jedem Ort und zu jeder Zeit den differenziell benachbarten raumzeitlichen Änderungen folgt.

Die Weise, wie die Wirklichkeit die Zukunft aus der Gegenwart erzeugt, kann jedoch in Beschreibungen nicht nachgeahmt werden. Beschreibungen sind *passiv* – *von selbst* geschieht nichts, das Gesetz vollzieht sich nicht. Deshalb ist es für uns unumgänglich, die Beziehungen zwischen räumlich oder zeitlich getrennten Punkten des Kontinuums *schon jetzt* zu kennen, wenn wir die Zukunft aus der Gegenwart ableiten wollen. Das heißt, wir benötigen ein Verfahren, das uns ermöglicht, aus dem unendlich Kleinen herauszutreten und Aussagen über endliche Bereiche zu machen. Wir müssen also *integrieren*.

Ein Blick auf Gleichung (1) genügt, um zu sehen, dass das nicht möglich ist. Um integrieren zu können, wird *weitere Information* benötigt. Zudem kann im allgemeinen Fall nicht vorausgesetzt werden, dass die metrische Dichte und die Flussgeschwindigkeit *berechenbare* Funktionen sind. Es ist also notwendig, dass der Bereich, über den etwas ausgesagt werden soll, *mehr an Ordnung* enthält als durch das Gesetz allein schon vorgegeben ist.

Das bedeutet: *Im allgemeinen Fall existiert kein Algorithmus, um die Zukunft aus der Gegenwart zu berechnen. Die Zukunft ist in der Gegenwart nicht enthalten. Sie folgt nicht aus dieser.*

Die einzige Möglichkeit, die Zukunft zu kennen, ist, zu warten, bis sie eintritt.

Ist die Wirklichkeit determiniert oder nicht?

Aus formaler Sicht ist das eine *unentscheidbare* Frage. Aus ontologischer Sicht aber gilt, dass die Wirklichkeit *weder determiniert noch nicht determiniert ist*. Diese Alternative ist nur für Beschreibungen der Wirklichkeit gültig. Auf die Wirklichkeit selbst ist sie nicht anwendbar. Man könnte vereinfacht sagen, die Wirklichkeit sei irgendetwas "dazwischen", aber damit würde man nur

verschleiern, dass uns das Wesen der Wirklichkeit als Einheit von *Substanz und Akzidenzien* auch in dieser Hinsicht gedanklich nicht zugänglich ist.

Der oben dargestellte Sachverhalt kann auch so ausgedrückt werden: In einer Beschreibung müssen die Beziehungen zwischen räumlich oder zeitlich getrennten Punkten des Kontinuums *explizit* vorhanden sein oder durch einen Algorithmus explizit gemacht werden. In der Wirklichkeit bleiben sie *implizit*; explizit werden sie erst durch die Entfaltung der Zukunft und die dabei entstehende Ordnung.

Was ist diese "entstehende Ordnung"? Es ist Seiendes und dessen Gesetzmäßigkeiten. Durch Selbstorganisation entfaltet sich der *Ursprung des Seienden* zu Seiendem, zu *Objekten*, und diese Objekte bilden dann die erste Ebene der Existenz. Zu dieser Ebene gehören die Gesetze, die in der gegenwärtigen Physik als fundamentale Wechselwirkungsgesetze gelten.

Ein Beispiel dafür ist die Gravitation einer zentralen Masse, die in der metrisch-dynamischen Darstellung aus Gleichung (1) und einer zusätzlichen Annahme über die metrische Dichte folgt.

Aber auch auf dieser Ebene der Existenz ist die Zukunft nur in vereinfachten, idealisierten Fällen berechenbar, wie etwa im Fall von zwei Körpern, die vom Rest des Universums isoliert sind. Im Fall von 1000 Körpern verschwindet die Illusion der Berechenbarkeit vollständig.

Falls sich dieses evolutionäre Spiel wiederholt, d.h. falls sich aus den einfachen Objekten und ihren Wechselwirkungen nun komplexere Objekte mit den zu ihnen gehörenden neuen Strukturgesetzen bilden, dann gilt wiederum dasselbe: nur unter vereinfachten, in der Wirklichkeit niemals vollständig realisierten Bedingungen liefern die Gesetze auch einen Algorithmus zur Berechnung der Zukunft.

Die Wirklichkeit nähert sich infolge der Bildung von Ordnung durch Selbstorganisation im Laufe ihrer evolutionären Entfaltung zu Objekten und Strukturen von zunehmender Komplexität immer wieder algorithmischer Beschreibbarkeit an, ohne sie jedoch jemals ganz zu erreichen.

Damit löst sich die Vorstellung auf, dass die Wirklichkeit durch *Kausalität von unten*, von einer elementaren Schicht des Seienden her determiniert ist. Im allgemeinen Fall lässt diese Art der Beschreibung entweder überhaupt keine oder nur eine angenähert korrekte Prognose der Zukunft zu – und ich betone nochmals: diese Einschränkung der Vorhersagbarkeit besteht nicht etwa deshalb, weil wir den zur Berechnung der Zukunft geeigneten Algorithmus nicht kennen, sondern *weil keiner existiert*.

Dadurch ist Freiraum geschaffen für *Kausalität von oben*, d.h. dafür, dass *die globalen Bedingungen* als Ursache lokaler Veränderungen aufgefasst werden können.

Kausalität von oben wird durch Gesetze beschrieben, die *globale* Parameter beinhalten, Kausalität von unten durch Gesetze mit *lokalen* Parametern. Keine der beiden Beschreibungen ist aus der anderen ableitbar. Beide Arten sind für das Verständnis von Systemen erforderlich. Aber sie ergänzen sich *nicht* zu einer deterministischen Darstellung.

Damit ist der erste Teil der Aufgabe erledigt, Geist und Materie unter einen Begriff zu bringen. Geist ist ein eigenständiger Bereich der Wirklichkeit, und er ist frei.

Um zu diesem Resultat zu gelangen, war es ausreichend, geistige Vorgänge als *informationsverarbeitende Prozesse* aufzufassen. Es war nicht notwendig, die Tatsache einzubeziehen, dass alle geistigen Zustände *Qualia* sind, also eine untrennbare Einheit von Information und Empfindung bilden.

Jetzt aber rückt genau diese Tatsache in den Mittelpunkt, denn der zweite Teil der Aufgabe, Geist und Materie unter einen Begriff zu bringen, besteht in der Aufklärung der Frage:

*Wie ist es möglich, dass ein neuronales Muster zur Empfindung wird? Warum verwandelt sich ein physikalisches Seiendes in ein Quale?*

Auch hier beginnt die Erklärung wieder mit der unaufhebbaren *metaphysischen Differenz* zwischen Seiendem und dem, als was wir es wahrnehmen, denken und beschreiben:

Wirklich existierende Objekte bestehen aus *Substanz und Akzidenzien*, Objekte in einer Beschreibung bestehen hingegen *nur aus Akzidenzien*.

Die Substanz ist dadurch als dasjenige bestimmt, was unseren Beschreibungen der Wirklichkeit fehlt. Dieses Fehlende – das, was das existierende Ding *mehr* ist als das Ding in der Beschreibung – kann nicht gedacht werden. Es ist aber notwendig, diese Differenz in unser Verständnis der Wirklichkeit stets mit einzubeziehen.

Wenn wir also fragen: *Wie kann physikalisches Seiendes zu einem Quale werden und eine Empfindung beinhalten?* – dann ist zu bedenken, dass dieses physikalische Seiende – das neuronale Erregungsmuster – als *Existierendes* jedenfalls *mehr* ist als unser Begriff davon; Unser Begriff enthält bloß die Akzidenzien und nicht die Substanz dieses Seienden.

Aufgrund dieser Tatsache kann nun zunächst bestimmt werden, was die Substanz und das Akzidens des Quale sind: sein Akzidens ist dasjenige, was wir erfassen und beschreiben können: *Bedeutung*, seine Substanz ist dasjenige, was sich unserem Denken und unseren Beschreibungen entzieht: **EMPFINDUNG**.

EMPFINDUNG ist also die Substanz des geistigen Seienden. Ich nenne sie *zweite Substanz*. Sie ist aber nicht unabhängig von der ersten Substanz RAUMZEIT oder ihr gegenübergestellt; sondern geht aus ihr hervor.

Die Frage ist nun: Warum verwandelt sich die erste Substanz RAUMZEIT in die zweite Substanz EMPFINDUNG?

Es ist zu beachten, dass hier der Begriff RAUMZEIT ein *metaphysischer* Begriff und nicht mit dem physikalischen Begriff identisch ist. Der physikalische Begriff "Raumzeit" besteht aus nichts als seiner Definition – er ist ebenso substanzlos wie der Begriff "neuronales Muster" –, während der metaphysische Begriff RAUMZEIT ein *Substanzbegriff* ist. RAUMZEIT hat die metaphysische Qualität *Aktivität*, die sich *für uns* dadurch äußert, dass die physikalische Raumzeit nur als sich verändernde existiert; ohne ihr Akzidens "Veränderung" ist sie Nichts. RAUMZEIT ist das, was den materiellen Entitäten – Mustern aus Veränderungen der Raumzeit – *Aktivität* verleiht.

Damit verringert sich die gedankliche Kluft zwischen der ersten und zweiten Substanz: Die erste Substanz RAUMZEIT ist dasjenige, was den materiellen Entitäten *Aktivität* verleiht, die zweite Substanz EMPFINDUNG – Gefühl, Trieb, Motivation usw. – ist dasjenige, was den geistigen Entitäten *Aktivität* verleiht.

Diese Überlegung ist aber nicht mehr als eine erste Annäherung an das Problem der Verwandlung der Substanz und keine Antwort auf die Frage, warum sie sich ereignet. Zu dieser Antwort führt der folgende Gedankengang:

Die Beschaffenheit des Existierenden erscheint uns einheitlich: alles, was existiert, lässt sich als Element einer kosmischen Evolution auffassen, in der die komplexeren Dinge aus den einfacheren hervorgehen. Nur wenn man zu den Grundlagen der Existenz vordringt, offenbart sich die unaufhebbare Differenz zwischen Seiendem und seiner Beschreibung. Das, was am Seienden nicht gedacht werden kann, hindert uns aber nicht daran, die beobachtbaren Phänomene zu verstehen – aber das gilt eben nur bis zu dem Punkt der Entfaltung der Natur, an dem neuronale Netze hoher Komplexität erscheinen, denn damit tritt zugleich ein Phänomen auf, das sich nicht nur der wissenschaftlichen, sondern überhaupt jeder Beschreibung entzieht: *Empfindung*.

Was ist der Grund für diesen Bruch?

Da die Substanz nicht gedacht werden kann – weder als erste noch als zweite Substanz – kann die Argumentation nur im Bereich der Akzidenzien stattfinden.



Im Laufe der evolutionären Entfaltung der Natur entstehen neue, komplexere Schichten des Seienden mit neuen Akzidenzien. Die Akzidenzien ändern sich also. Die Änderung der Substanz muss mit der Änderung der Akzidenzien zusammenhängen. Das bedeutet: der Grund für die Änderung der Substanz muss darin zu finden sein, dass sich – beim evolutionären Übergang von Entitäten ohne Geist zu Entitäten mit Geist – an den Akzidenzien eine Änderung vollzieht, die von *anderer Art* ist als die Änderungen der Akzidenzien, die im Rahmen der Evolution vorher stattgefunden haben.

Was also ist den Änderungen der Akzidenzien gemeinsam, solange sie sich im Bereich von Materie ereignen, und was unterscheidet die Änderung der Akzidenzien, die mit der Entstehung von Geist verbunden ist, von all diesen anderen Änderungen?

Es stellt sich Folgendes heraus: *Akzidenzien, die bei der Bildung neuer, komplexerer Schichten des Seienden auftreten, lassen sich, sofern es sich um materielles Seiendes handelt, auf Akzidenzien einfacherer Schichten des Seienden zurückführen.*

Dazu ein Beispiel: Das Akzidens *Gravitation* folgt aus dem Gesetz des Kontinuums und einer zusätzlichen metrischen Bedingung. Es ist also nicht notwendig, Masse als neue Substanz, d.h. als neue, nicht denkbare metaphysische Wesenheit aufzufassen, wie das in der Standard-Physik der Fall ist.

Diese Rückführbarkeit der Akzidenzien lässt sich bei allen evolutionären Schichten des Seienden feststellen, bis hin zu einfachen neuronalen Netzen, die keinen Geist hervorbringen.

In solchen einfachen Netzen verlaufen die Informationsverarbeitungsprozesse stereotyp, in der Form eines Reflexes oder eines erlernten Programms. Somit können sie als Funktionen der vorgegebenen Architektur des Netzes und äußerer Bedingungen aufgefasst werden.

Das Verhalten von Tieren, die neuronale Netze dieser Art haben, lässt sich dann ebenfalls auf diese Weise bestimmen.

Betrachten wir nun neuronale Netze, die Geist hervorbringen. Hier verlaufen die neuronalen Prozesse nicht stereotyp; Reiz und Verhalten sind nicht in jedem Fall fest miteinander verbunden. Die sinnliche Information wird einer *weiteren Verarbeitung* zugeführt.

Bei der Überlegung, durch die zuvor die Willensfreiheit begründet wurde, haben wir festgestellt, dass eine notwendige Bedingung für das Auftreten von Geist die Existenz funktionell ungebundener neuronaler Bereiche ist, in denen interne, rückkoppelnde Prozesse stattfinden können. Die Attraktoren der Dynamik des Netzes – neuronale Muster, die etwas repräsentieren – bilden hier ein Netzwerk

höherer Ordnung, d.h. sie beziehen sich aufeinander und verändern sich dadurch. Der Informationsgehalt dieser Muster wird damit in zunehmendem Maß von den *internen* Beziehungen zwischen den neuronalen Zuständen bestimmt, während die ursprüngliche funktionelle Abhängigkeit von der Architektur des Netzes und äußeren Bedingungen in den Hintergrund tritt: Repräsentationen werden zu *intrinsischen Bedeutungen*.

Also ist dies der gesuchte Unterschied zwischen der Änderung der Akzidenzien im Bereich der Materie und der Änderung der Akzidenzien beim Übergang von Materie zu Geist:

*Intrinsische Bedeutung, das Akzidens geistiger Zustände, kann nicht aus Akzidenzien einfacherer Schichten des Seienden abgeleitet werden.*

Damit kann nun begründet werden, warum es bei der Entstehung von Geist *für uns* zu einer Verwandlung der Substanz kommt. Folgendermaßen:

Alles Seiende besteht aus Substanz und Akzidenzien. Sie sind *untrennbar* verbunden.

Die erste Substanz RAUMZEIT ist mit dem ersten Akzidens *Veränderung* verbunden. Betrachten wir nun irgendein Akzidens, das auf einer höheren Schicht des Seienden auftritt. Was ist die zugehörige Substanz, und worin besteht die Verbindung zwischen beiden?

Die Antwort ist: Solange das Akzidens aus einfacheren Akzidenzien abgeleitet werden kann, ist es über diese Akzidenzien und weitere, abermals einfachere Akzidenzien *letztlich* mit dem ersten Akzidens und somit auch mit der ersten Substanz verbunden.

Wenn jedoch ein Akzidens erscheint, das nicht mehr aus einfacheren Akzidenzien ableitbar ist – wie das bei geistigen Akzidenzien der Fall ist –, dann ist die Verbindung mit der ersten Substanz durchtrennt. Also kann die erste Substanz nicht mehr die zu diesem Akzidens gehörende Substanz sein, und das bedeutet, dass nun *für uns* zugleich mit diesem Akzidens eine neue Substanz entstanden ist, oder, anders ausgedrückt, dass die Substanz sich verwandelt hat.

Damit haben wir unser Ziel erreicht. Die Verwandlung eines materiellen Objekts in ein Quale ist erklärt. Geist und Materie sind unter einen Begriff gebracht.

Es gibt jedoch noch eine dritte Art des Seienden: Seiendes, das von Wesen mit Geist *hervorgebracht* wird. Ein wichtiges Beispiel ist hier schon oft erwähnt worden: *Beschreibungen der Wirklichkeit*.

Auch Seiendes dieser Art lässt sich auf einfache Weise in unser Begriffsschema einordnen: Es ist dadurch definiert, dass es *nur aus Akzidenzien* besteht. Die physische Voraussetzung, die es benötigt – das Papier, auf dem die Beschreibung notiert ist, oder der Computer, in dem die Simulation läuft – ist nicht etwa die zu den Akzidenzien eines solchen Seienden gehörende Substanz, sondern nur die *materielle Basis* dieser Akzidenzien.

Das ist auch der metaphysische Grund dafür, dass die *Simulation von Geist* unmöglich ist: Da den Akzidenzien der Simulation die Substanz fehlt, kann sich keine Verwandlung der Substanz ereignen. Die Zustände der Simulation werden nicht zu Qualia, die Information wird nicht zur Empfindung.

Soweit die Zusammenfassung der Gedankengänge, die zu einem vollständigen Begriff der Wirklichkeit führen, einem Begriff, der alles Seiende umfasst.

Den Abschluss sollen wieder – wie schon in der Einleitung – einige unsystematische Bemerkungen bilden.

**Der Unterschied.** Wie ließe sich der Unterschied zwischen dem Wirklichkeitsverständnis, das aus meinen Grundannahmen entsteht, und der derzeitigen Sicht der Wirklichkeit am besten beschreiben, wenn er aufs Kürzeste zusammengefasst werden sollte? Vermutlich auf folgende Weise:

Der gegenwärtigen naturwissenschaftlichen Überzeugung zufolge besteht die Wirklichkeit aus *elementaren Objekten*, deren Existenz mit dem Auftreten *absoluter Größen* (Naturkonstanten) verbunden ist. Die Basis dieser Sichtweise ist ein Existenzbegriff, der von den Objekten der Alltagserfahrung übernommen worden ist.

Die Wirklichkeit, die ich hier entwerfe, ist hingegen nicht auf *Existenz*, sondern auf *Veränderung* aufgebaut. *Existenz* ist ein abgeleiteter Begriff. Alles Existierende ist entstanden; Objekte sind Muster aus Veränderungen der Raumzeit. Wenn ein Objekt elementar ist, dann ist es nicht als substanzielle Entität, sondern als *Gestalt* unteilbar, wie z.B. eine stehende Welle. Es gibt keine absoluten Größen, sondern nur *Verhältnisse zwischen Größen*.

In der Standardphysik gibt es mehrere Felder bzw. Wechselwirkungen. Der Weg zum Einfachen führt über die Vereinheitlichung dieser Wechselwirkungen.

Das metrisch-dynamische Modell *beginnt* mit dem Einfachsten. Es gibt nur einen einzigen Sachverhalt, der die Wirklichkeit webt. Er ist zugleich Sachverhalt und Gesetz, Einzelnes und Allgemeines. Er ist *notwendig*, und mit ihm zugleich das, was er webt: die Wirklichkeit.

In der konventionellen Sicht der Wirklichkeit ist die Naturkausalität *vollständig*. Trotz Quantenmechanik und Chaodynamik ist kein Platz für Geist und Willensfreiheit.

Aus meiner Sicht ist die Wirklichkeit ein *differenzielles Gewebe* der Raumzeit. Das differenzielle Gesetz ist aber kein Algorithmus; die Kausalität *von unten* ist *unvollständig* und muss durch die Kausalität *von oben* ergänzt werden. Es ist Raum für Geist und Freiheit. Bei dem Versuch, über die Wirklichkeit einen Algorithmus zu breiten, verarmt die Wirklichkeit: die metaphysische Qualität *Aktivität* und die Substanz EMPFINDUNG verschwinden dadurch. *Geist* ist dann unmöglich.

**Der wichtigste Unterschied** ist aber dieser: In der derzeitigen Beschreibung der Natur wird zwischen einem existierenden Objekt und seiner Beschreibung nicht unterschieden. Der Formalismus hat die Wirklichkeit aufgesogen. Die Wirklichkeit selbst ist verschwunden. *Für uns* verkümmert sie dadurch zu einem mathematischen System, dessen künftige Entwicklung vollständig durch Gesetze festgelegt ist, die von Anfang an existieren und deren Herkunft unerklärbar ist.

Aus meiner Sicht krankt das konventionelle Naturverständnis deshalb an einem fundamentalen metaphysischen Defekt. Denn erst die begriffliche Bestimmung der *metaphysischen Differenz* zwischen Wirklichkeit und Beschreibung macht die Wirklichkeit für uns zugänglich und gibt uns die Möglichkeit, zu einem *vollständigen Begriff der Wirklichkeit* zu gelangen. Diese Wirklichkeit ist *kein* mathematisches System. Außer dem einen, fundamentalen Sachverhalt, der aus der Notwendigkeit des *Ursprungs des Seienden* folgt, sind alle Gesetze erst *entstanden*. Die Zukunft ist offen.

**Das Gewebe der Wirklichkeit** ist von unendlicher Feinheit. Das bedeutet: Die Welt ist nicht, "was der Fall ist", nicht eine Menge von "Tatsachen". Zwar präsentiert sich uns die Welt zunächst auf diese Weise, aber wir wissen: Alles, was der Fall ist, wird durch das differenzielle Bildungsgesetz der Wirklichkeit hervorgebracht. "Tatsachen" bilden ein zu grobes Netz, mit dem die Wirklichkeit nicht vollständig eingefangen werden kann. Geist, Empfindung und Freiheit fallen durch seine Maschen.

Damit sind auch Sätze wie: "Alles hat einen zureichenden Grund" hinfällig. Was auch immer als "Grund" für ein "Ereignis" formuliert werden könnte, als "Ursache" einer "Wirkung", kann nur eine Näherung dessen darstellen, was wirklich geschieht, denn sowohl "Grund" als auch "Ereignis" bestehen *letztlich* aus überabzählbaren Mengen differenzieller Gegebenheiten, die nicht in endlichen Aussagen sprachlicher oder mathematischer Art zusammengefasst werden können.

Deshalb ist schon die Teilung des Geschehens in Ursache und Wirkung unzulässig. Es gibt weder "die Gegenwart", definiert als Menge gegenwärtiger Fakten, noch "die Zukunft", definiert als Menge zukünftiger Fakten, sondern nur den differenziellen Prozess, in dem sowohl Gegenwart als auch Zukunft als auch der Übergang zwischen beiden enthalten sind.

**Der metaphysische Begriff "Aktivität".** Gedachte Objekte sind passiv, wirklich existierende Objekte sind aktiv. Deshalb muss dem, woraus wirklich existierende Objekte *letztlich* bestehen – der *Substanz* – die metaphysische Qualität *Aktivität* zuerkannt werden.

Hier kommt aber nicht irgendeine geheimnisvolle metaphysische Wesenheit, "Aktivität" genannt, ins Spiel; diese Zuerkennung bedeutet nur, dass der Begriff von Seiendem sich von einem *statischen* in einen *dynamischen* Begriff verwandelt: Seiendes ist dann nicht mehr etwas, was aktiv sein *kann*, sondern etwas, was aktiv sein *muss*; ohne *Aktivität* ist es kein Seiendes. Es gibt nicht mehr Existenz *und* Aktivität, sondern nur beides vereint. Seiendes muss nicht *aktiviert* werden – es *ist* aktiv. Der statische Existenzbegriff ist eine Folge der apriorischen Getrenntheit von Substanz und Akzidens. Die Einsicht, dass sie *an sich* eine untrennbare Einheit bilden, führt zwingend zu einem dynamischen Begriff von Existenz, in dem Existenz – aufgefasst als Muster aus Veränderungen des Flusses von AGENS – selbst zum Prozess wird.

Formal entspricht dem Übergang von einem statischen zu einem dynamischen Existenzbegriff der Übergang von *Zeit-Punkten* zu *Zeit-Differenzialen*; es existiert dann weder ein gegenwärtiger noch ein zukünftiger Augenblick, sondern nur das differenzielle zeitliche Fortschreiten. Zeitdifferenziale sind die Basis einer dynamischen Wirklichkeit, und sie geben Prozessen eine Richtung: was sich in einem Zeitdifferenzial ereignet, trägt in sich den Keim der folgenden Entwicklung. Hingegen wäre eine als Aufeinanderfolge von Zeitpunkten gedachte Wirklichkeit statisch und richtungslos.

**Der metaphysische Begriff "Notwendigkeit".** Ein Freund hat mir gesagt, die Ableitung der Notwendigkeit des Seienden aus dem Seienden selbst erinnere ihn an die Geschichte von Münchhausen, der sich an seinen eigenen Haaren aus dem Sumpf zieht.

Zwar gefällt mir der Vergleich, aber ich halte ihn nicht für gerechtfertigt. Münchhausen fehlt offensichtlich *etwas*, woran er sich festhalten und aus dem Sumpf ziehen könnte. Wir aber haben dieses *etwas*, worauf wir unsere Schlussfolgerung stützen können: *Dass* etwas existiert, ist einfach eine Tatsache. Was existiert, muss *entstanden* sein. So wird man zum *Ursprung des Seienden* geführt. Dieser existiert weder, noch existiert er nicht. Wäre nun aber *überhaupt nichts*, dann würde auch der *Ursprung des Seienden* nicht existieren, und das haben wir gerade ausgeschlossen.

Ich vermute, dass die Schwierigkeit, diesen Schluss nachzuvollziehen, darin besteht, dass hier ein bekanntes Schluss-Schema außer Kraft gesetzt wird. Folgendermaßen:

Sei  $p$  ein Prädikat, derart, dass für jedes existierende Objekt gilt, dass entweder  $p$  oder *nicht  $p$*  zutrifft. Sei  $X$  ein Objekt, für das weder  $p$  noch *nicht  $p$*  gilt. Dann ist der übliche Schluss, dass  $X$  *nicht existiert*.

Wenn nun aber das Prädikat *p* gleich *existieren* ist, dann ist dieser Schluss unzulässig, weil er auf einen Widerspruch führt: wenn *X* weder *existiert* noch *nicht existiert*, dann kann daraus offenbar nicht geschlossen werden dass *X nicht existiert*. Somit ist die einzig verbleibende Möglichkeit, *X* einen ontologischen Status zuzuschreiben, der weder *Existenz* noch *Nicht-Existenz ist*, sondern eben *Notwendigkeit*.

Es ist also die besondere, fundamentale Stellung des Prädikats *existieren*, die dazu zwingt, aus dem gewohnten Schluss-Schema herauszutreten und den metaphysischen Begriff *Notwendigkeit* einzuführen. Aber nur dann, wenn der Begriff "existieren" im *ontologischen* und nicht bloß im *logischen* Sinn verwendet wird, ist diese Vorgangsweise zulässig.

**Das Begriffspaar "an sich" und "für uns"**. Wenn es um den Unterschied zwischen Denken und Wirklichkeit geht, ist dieses Begriffspaar nahezu unvermeidlich. Es besteht jedoch die Gefahr, dass dadurch eine zu große Distanz zwischen Denken und Wirklichkeit suggeriert wird. Deshalb will ich hier nochmals betonen, dass die Wirklichkeit sich uns vollständig offenbart – mit dieser einen, allerdings fundamentalen Ausnahme: das, woraus alles Seiende entsteht und was *in* allem Seienden ist und es *aktiv* macht, können wir als das, was es "ist", nicht denken. Andererseits garantiert aber gerade die Untrennbarkeit von Substanz und Akzidenzien, dass sich uns das Seiende durch seine Akzidenzien erschließt. Es gibt keinen Grund, anzunehmen, das uns irgendetwas am Seienden verborgen bleiben muss.

Der Begriff *für uns* erweckt außerdem den Eindruck, als wäre unser Denken nicht objektiv. Es besteht jedoch kein Zweifel, dass die physikalischen Dinge *für einander* genau das sind, was sie *für uns* sind, sofern man nur den Informationsgehalt unserer Begriffe zum Vergleich heranzieht, und von diesem wiederum nur den physikalischen Teil. Eine Billardkugel ist für eine andere Billardkugel, auf die sie trifft, genau dasjenige physikalische Objekt, als das wir sie betrachten. Selbst dann, wenn wir nicht über die richtige Theorie der Wechselwirkung verfügen, entspricht doch das wahrgenommene Ereignis dem wirklichen Ereignis. Das lässt sich deshalb behaupten, weil auch die Dinge untereinander nur durch ihre Akzidenzien bzw. Wechselwirkungen interagieren, d.h. auf dieselbe Art, wie sie mit uns interagieren. Die sinnliche Information übermittelt uns also genau das, was sich ereignet. Unser Bild der Wirklichkeit ist *objektiv* – allerdings nur, falls es uns gelingt, unsere Begriffe von dem zu befreien, was unser Geist ihrer objektiven Bedeutung hinzugefügt und was er daran verändert hat. Das ist, wie die Geschichte bis heute zeigt, eine schwierige Aufgabe. Es ist aber wichtig, zu erkennen, dass einer objektiven Sicht der Wirklichkeit kein *prinzipielles metaphysisches* Hindernis im Weg steht.

Erst auf dem Grund der Dinge scheitert unser Denken, aber das ist jenseits der Grenze des Bereichs, in dem Objektivität überhaupt definiert werden kann. Und auch dort ist, wie zuvor festgestellt, nichts

Verborgenes oder Geheimnisvolles, nichts, was Anlass zu weiteren Spekulationen geben würde oder religiöse, esoterische und wissenschaftliche Projektionen und Phantasien rechtfertigen könnte.

**Erkenntnistheoretischer Zweifel.** Mit dem soeben Gesagten hängen einige Arten erkenntnistheoretischen Zweifels zusammen, die allerdings so unsinnig sind, dass ich sie nicht erwähnen würde, wenn sie nicht so verbreitet wären.

Da wäre der Zweifel an der Objektivität unserer Raum- und Zeitwahrnehmung, der bisweilen so weit geht, dass sogar die geometrische Struktur unserer unmittelbaren Umgebung in Frage gestellt wird. Das ist grober Unfug! Wäre der uns umgebende Raum nicht genau so, wie wir ihn wahrnehmen, dann könnte nicht erklärt werden, wie sich in der kindlichen Entwicklung Greif- und Sehraum miteinander ausbilden und schließlich übereinstimmen, dann wäre es ein Geheimnis, warum Fotoapparate mit optischen Einrichtungen, die ähnlich wie unsere Augen aufgebaut sind, Bilder produzieren, die wir als das erkennen, was wir gesehen haben, und ... hier könnte eine lange Liste folgen. Wer meint, er würde sich über die räumlichen und zeitlichen Verhältnisse täuschen, sollte ernstgenommen werden und Verkehrsverbot erhalten!

Auch der allgemeinere Zweifel, ob es Raum und Zeit überhaupt gibt, ist unsinnig. Ohne Raum gibt es kein Seiendes. Ohne Zeit gibt es keine Veränderung, also wiederum kein Seiendes. Und diese beiden Behauptungen gelten *in jedem Fall* – gleichgültig, welche Art von Seiendem man im Sinn hat.

Raum und Zeit entspringen unmittelbar aus dem ersten, fundamentalen Satz: *Eine Änderung ist gleich einer anderen Änderung.* Die eine Änderung *wird* zum Raum, die andere *wird* zur Zeit, und Seiendes ist stets ein *Muster aus solchen Änderungen.*

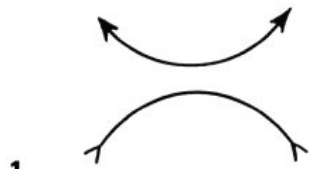
Das gilt in Bezug auf *jede mögliche* Wirklichkeit. Es ist nicht notwendig, mit dem Raum und der Zeit der physikalischen Welt zu beginnen; stattdessen könnten *irgendwelche* Parameter eingeführt werden. Aber wie auch immer die beiden Änderungen anfangs aufgefasst werden, schließlich werden sie doch in jedem Fall gleichbedeutend mit dem Raum und der Zeit des Universums sein, das wir kennen. Es ist – in diesem Sinn – die *einzig mögliche* Wirklichkeit.

Raum und Zeit sind also zweifellos objektiv, und in unserer Umgebung sind sie genau so, wie wir sie wahrnehmen. Erst wenn es um die Frage nach der Struktur des Raumes auf sehr großen oder sehr kleinen Skalen oder in der Nähe großer Massen geht, oder um das Vergehen der Zeit in Abhängigkeit von hohen Relativgeschwindigkeiten, müssen wir unsere Sicht von Raum und Zeit verändern und erweitern. Aber auch hier gilt dasselbe wie zuvor: Erst am *Ursprung des Seienden* kann gefragt werden, woher Raum und Zeit kommen. Wenn aber etwas existiert, dann gibt es Raum und Zeit. Sie sind *objektiv.*

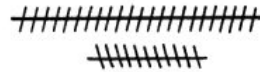
**Konstruktivismus.** Der konstruktivistische Zweifel an der wahrgenommenen Wirklichkeit gründet sich auf der Annahme, dass wir die Welt nicht abbilden, sondern konstruieren. Unser inneres Bild sei also kein Bild der Wirklichkeit, sondern nur das Ergebnis eines Spiels, das die Neuronen miteinander treiben.

Dazu ist Folgendes zu sagen: *Selbstverständlich* bilden wir die Welt nicht einfach ab. Es ist offensichtlich, dass eine bloße Abbildung nicht ausreicht, um sich in einer Umgebung mit ständig wechselnden Situationen zurechtzufinden. Dafür ist es notwendig, die Umwelt in Objekte und Zusammenhänge zu zerlegen und daraus wieder aufzubauen. Um das zu leisten, ist ein aufwändiger neuronaler Apparat erforderlich. Dieser Apparat arbeitet möglichst ökonomisch und kann getäuscht werden. Solche hauptsächlich optischen Täuschungen sind unterhaltsam, aber sie rechtfertigen keinen erkenntnistheoretischen Zweifel. (Wer gegenteiliger Meinung ist, sollte, wie gesagt, ernstgenommen und von der Teilnahme am Verkehr ausgeschlossen werden.)

Dazu eine Skizze<sup>177</sup>:



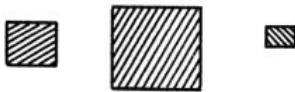
**1**  
Note that the lines do not appear parallel



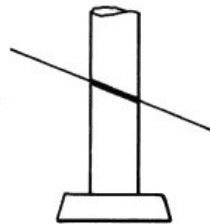
**2**  
Note how one line appears longer



**3**  
Note how the pipe appears bent under the arrow



**4**  
Note that the boxes appear to be different sizes



**5**  
Note how the line appears thicker where it passes through the column

**6**  
Note how quickly the figure disappears when you look directly at it

<sup>177</sup> <http://joyreactor.com/post/491308>



Nur die Annahme, dass die neuronale Rekonstruktion der Wirklichkeit *korrekt* ist, liefert eine Erklärung der Tatsache, dass ich die Straße ohne Verletzung überqueren kann; Ganz zu schweigen davon, dass die konstruktivistische Argumentation ja selbst voraussetzt, dass unser Bild von Neuronen *richtig* ist und somit ihre eigene Voraussetzung aufhebt. Es ist ein destruktiver Zirkel von geradezu lächerlicher Kleinräumigkeit.

Man begegnet Formulierungen wie "Wir sind mit der Welt nicht direkt, sondern nur durch Neurone verbunden" oder "Das Bewusstsein ist eine Online-Simulation". Das sind eitle Worthülsen, die nichts bedeuten. Wir *sind* das neuronale System, sofern der Begriff "neuronales System" nicht bloß naturwissenschaftlich, sondern in seiner vollen metaphysischen Bedeutung verstanden wird. Also sind wir *direkt* mit der Umwelt in Kontakt, genauso wie irgendwelche anderen Entitäten.

**Erkenntnistheoretische Zuversicht.** Nach soviel Kritik am Zweifel sollte ich nun meine eigene Sicht zur Frage äußern, was wir erkennen können.

Ich finde den oft gebrauchten Vergleich angemessen, dass unser Wissen dem Inneren einer Kugel vergleichbar ist, deren Oberfläche die Grenze zum Nichtwissen bildet. Aber ich sehe die Kugel nicht in einem euklidischen, sondern in einem geschlossenen, sphärischen Raum. Hier ist das maximale Volumen der Kugel endlich, und das Volumen des außerhalb der Kugel liegenden Bereichs, der das Nichtwissen repräsentiert, geht schließlich gegen Null.

Ich bin also zuversichtlich. Der *Berechenbarkeit* sind zwar enge Grenzen gesetzt, aber ich sehe keine prinzipielle Grenze für unser *Verstehen* – mit Ausnahme dieser einen, hinter der das liegt, was nicht gedacht werden kann. Aber auch dort verbirgt sich ja nichts.

Die Welt ist also *erkennbar*. Ich meine sogar, dass man sich, wäre man nur klug genug, das richtige Verständnis und die korrekte Beschreibung der Welt durch reines – metaphysisches, vernünftiges, logisches und mathematisches – Denken erschließen könnte. Ich selbst bin dazu nicht imstande, aber die Schlussfolgerungen, die ich hier vorgestellt habe, rechtfertigen diese Hypothese – insbesondere durch die Art, wie sie durchgeführt wurden.

Alles zu wissen, wird allerdings an der schiereren Menge der Fakten scheitern. Es ist unmöglich, das evolutionäre Spiel der Natur, aus dem Leben und Geist hervorgehen, in allen Einzelheiten zu kennen. Aber es ist durchaus möglich, es in seinen Grundzügen zu verstehen. Dasselbe gilt für die Entstehung eines komplexen Organismus wie des unseren aus der befruchteten Eizelle. In diesem Fall bin ich aber davon überzeugt, dass wir auch von der Kenntnis einiger Grundprinzipien noch weit entfernt sind.

Ich sehe ein, dass man

- wenn man als Philosoph vor Problemen steht, die seit Jahrhunderten, wenn nicht sogar seit Jahrtausenden ungelöst sind, wie die Frage "Warum ist etwas und nicht nichts?", oder der scheinbar unbehebbarer Widerspruch zwischen Naturkausalität und Freiheit,
- oder wenn man als Physiker zu erkennen meint, dass die bekannte Physik nur einen kleinen Bruchteil alles Existierenden beschreibt, während der Rest *dunkel* bleibt, wenn man von nichts weiß, was es eigentlich ist, und wenn man die *Reduktion der Wellenfunktion* akzeptiert,

dazu neigt, die Grundfragen für unbeantwortbar, das Verstehen für prinzipiell begrenzt und den Raum des Nichtwissens für unfassbar groß zu halten.

Ich aber gehe von meiner eigenen Erfahrung mit Erkenntnis aus, die ich in diesem Buch zusammengefasst habe. Sie stimmt mich optimistisch.

Wien, August 2011

## Post Scriptum

Wenn DIE WAHRHEIT doch auf dem Zettel gestanden hätte, den das kleine Mädchen aus dem Wald mitgebracht hatte – nun wissen wir, was darauf zu lesen gewesen wäre:

*Die Wirklichkeit ist nach einer einzigen Regel gewebt.*

*Das, was webt und zugleich gewebt wird, existiert weder, noch existiert es nicht. Deshalb ist es notwendig, und mit ihm das, was es webt: die Wirklichkeit.*

*Die Web-Regel ist zugleich Einzelnes und Allgemeines, Sachverhalt und Gesetz.*

*Sie lautet: die Änderung des Raumes ist gleich der Änderung der Zeit.*

*Es ist eine differenzielle Regel. Deshalb folgt aus ihr allein nichts, und deshalb ist die Zukunft offen.*

*Alles Seiende ist ein Muster aus Raum-Zeit Änderungen.*

*Jedes Muster ist verursacht und verursachend. Es gehorcht der Web-Regel, und diese fügt sich seiner Form.*

*Indem die Wirklichkeit sich entfaltet, entstehen neue Schichten des Seienden, mit neuen Eigenschaften und neuen Regeln. Die bekannten Naturgesetze sind solche Regeln.*

*Auch wir sind Muster aus Raum-Zeit Änderungen. Auch wir folgen Regeln. Aber wir können unsere Regeln ändern. Wir sind frei.*

*Das wirkliche Ding unterscheidet sich vom beschriebenen Ding durch seine Aktivität.*

*Aktivität wandelt sich beim Aufstieg des Seienden. Sie wird zur Empfindung.*

Wir hätten es wohl nicht verstanden.

## Korrektur

[Auf Seite 233 unten](#) (im Abschnitt 2.5.) steht

"Anders als im Fall von Kugelsymmetrie entsprechen aber im allgemeinen Fall die Flusslinien *nicht* den Bahnen von Testkörpern im Newtonschen Feld, ..."

Das ist falsch. Auch im allgemeinen Fall entsprechen die Flusslinien den Bahnen von Testkörpern im Newtonschen Feld.

Das ist genau der Punkt, an dem sich meine Gravitationstheorie von der Allgemeinen Relativitätstheorie trennt. Mehr dazu findet sich in meinem Buch [Die Struktur der Wirklichkeit](#) im Abschnitt 4.7. auf Seite 51ff.



