Heinz Heinzmann

# Die Struktur der Wirklichkeit

# Inhaltsverzeichnis


Vorbericht....7

1. Unterschied zwischen Wirklichkeit und Repräsentation → Ur-Szenario....14
    1.1. Ur-Szenario....16

2. Ur-Szenario → Prozess, der die Wirklichkeit erzeugt....20

3. Prozess, der die Wirklichkeit erzeugt → Wellen mit Lichtgeschwindigkeit....29
    3.1. Die Zeitstruktur der Wirklichkeit....32
    3.2. Was sind Objekte?....34

4. Prozess, der die Wirklichkeit erzeugt → Gravitation....36
    4.1. Licht fällt ins Zentrum....39
    4.2. Geschlossene kreisförmige Bahn des Lichts....40
    4.3. Periheldrehung....41
    4.4. Der Übergang zur metrischen Sicht....43
    4.5. Die Schwarzschild-Metrik....45
    4.6. Das universelle metrische Flussfeld....48
    4.7. Unterschiede zwischen Allgemeiner Relativitätstheorie (AR) und metrisch-dynamischer Gravitation (MDG)....51
    4.8. Die Rotationsgeschwindigkeit von Galaxien....61
    4.9. Andere Effekte....70
    4.10. Zusammenfassung....71
    4.11. Einschätzung....75
        Postskriptum....77
        Addendum: Das hybride System....80

5. Gravitation → Antimaterie....82
    5.1. Materie und Antimaterie als entgegengesetzte metrische Deformationen....82

5.2. Gravitation im Fall von Antimaterie ....83
5.3. Asymmetrie von Materie und Antimaterie....90
5.4. Zusammenfassung....92

Zwischenbericht 1: Der metrische Aufbau der Naturbeschreibung....94

6. Wellen mit Lichtgeschwindigkeit → Spezielle Relativitätstheorie....97
6.1. Einleitung....97
6.2. Relativitätstheorie ohne Relativität....98
6.3. Ableitung der Lorentz-Transformation....106
6.4. Ergänzung....109
6.5. Der kurze Weg zur Materie....110
6.6. Resümee....111

7. Wellen mit Lichtgeschwindigkeit → Quantentheorie....114
7.1. Was beim Doppelspaltexperiment wirklich geschieht....114
7.2. Der Lichtelektrische Effekt....121
7.3. Der Compton-Effekt....128
7.4. Der Messprozess....134
7.5. Die zentrale Annahme der lokalen und objektiven Interpretation....139
7.6. Interpretation des Formalismus....141
7.7. Schlussbetrachtung....147

8. Quantentheorie → Lokale Interpretation....152
8.1 Widerlegung des Bellschen Beweises der Nichtlokalität....152

Zwischenbericht 2: Fehlentscheidungen in der Physik....160

9. Prozess, der die Wirklichkeit erzeugt → Elektromagnetismus, Atomaufbau....171
9.1. Vorbemerkung....171
9.2. Zusammenhang zwischen Planck-Länge, geometrischer Masse und Teilchenfrequenz....172
9.3. Phasenwellen im radialen Fluss....173
9.4. Elektromagnetismus: Einleitung....179

9.5. Elektromagnetismus: Definition....180
9.6. Der um den Mittelpunkt rotierende Fluss....183
9.7. Positive und negative Ladung....185
9.8. Der Übergang auf ein Beobachtersystem....186
9.9. Der fundamentale Unterschied zwischen Gravitation und Elektromagnetismus ....188
9.10. Der Zweck der anschließenden Ausführungen....190
9.11. Zustände des Wasserstoffatoms....192
Der Grundzustand....195
Die Frequenz des Grundzustands....199
Der Spin im metrisch-dynamischen System....200
Interpretation des Spins....203
Angeregte Zustände; Quantenzahlen....205
9.12. Atome mit Kernladungszahl Z > 1....215
9.13. Interpretation: Was ist eine Elektronenhülle?....218
9.14. Schluss....221
Bemerkungen ....222
Addendum: Umstellung auf ein rein metrisch-dynamisches System?....226

10. Wellen mit Lichtgeschwindigkeit → Keine Dunkle Energie....230

11. Prozess, der die Wirklichkeit erzeugt → Begründung der Kausalität....237
11.1. Der Ursprung der Kausalität....237
11.2. Wie sich Kausalität vererbt....242
11.3. Worauf sich Kausalität nicht erstreckt....244

12. Ur-Szenario → Begründung der Willensfreiheit und der Qualia....245
12.1. Die Begründung der Willensfreiheit....245
1. Der Unterschied zwischen Wirklichkeit und Beschreibung....246
2. Nicht-physikalische Kausalität ....250
3. Das menschliche neuronale Netz....253
4. Der Unterschied zwischen physikalischen und geistigen Gesetzen ....257
5. Die Begründung der Freiheit....258
Postskriptum ....259

12.2. Die Begründung des Auftretens von Qualia....262
1. Einleitung....262
2. Warum Empfindungen in keiner Beschreibung enthalten sind....263
3. Die Verwandlung des Seienden vom materiellen Ding zum Quale....265
4. Erläuterungen, Ergänzungen....271
5. Kriterium für das Auftreten von Empfindungen....274
6. Ein einfaches ergänzendes Argument....276
7. Wer oder Was hat Empfindungen?....277
Postskriptum....278

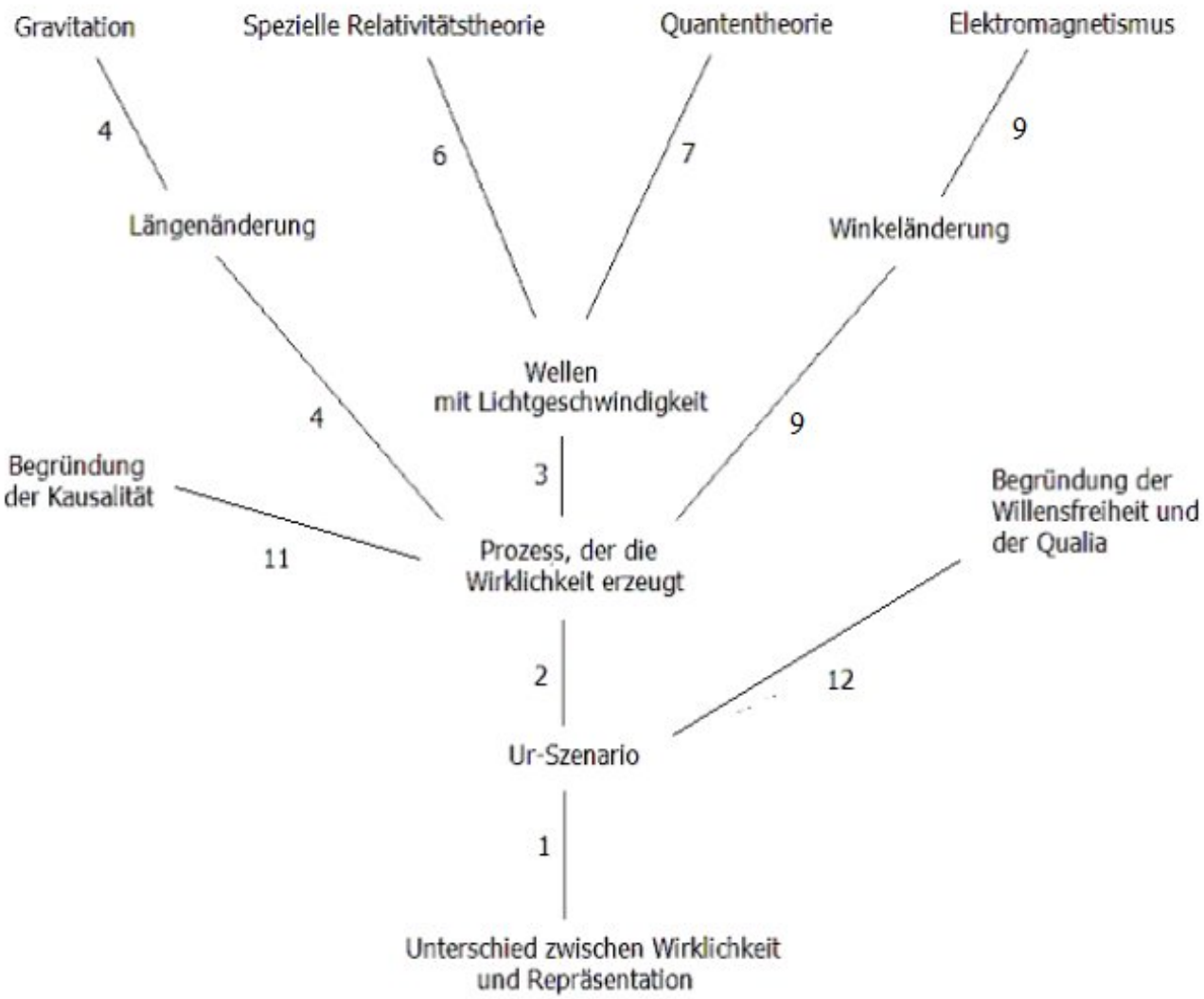
13. Ur-Szenario → Kein Roboterbewusstsein....282
Vorbemerkung....282
13.1. Erste Version (Kurzform) des Beweises....282
13.2. Ontologische Erweiterung und Absicherung des Beweises....287

14. Ur-Szenario → Wirklichkeit und Mathematik....293
14.1. Was ist die Wirklichkeit?....293
14.2. Was ist Mathematik?....300
1. Die Herkunft des Allgemeinen....300
2. Welche Existenz haben mathematische Objekte und Sätze?....302
3. Zusammenhang und Differenz von Wirklichkeit und Mathematik....305
4. Der Ursprung der Wirklichkeit und der Mathematik....308

15. Ur-Szenario → Transzendenz, Sinn....309

Schluss....314

Postskriptum....321


Gravitation
Spezielle Relativitätstheorie
Quantentheorie
Elektromagnetismus
4
6
7
9
Längenänderung
Winkeländerung
Wellen
mit Lichtgeschwindigkeit
4
9
3
Begründung
der Kausalität
11
Prozess, der die
Wirklichkeit erzeugt
Begründung der
Willensfreiheit und
der Qualia
2
12
Ur-Szenario
1
Unterschied zwischen Wirklichkeit
und Repräsentation

## *Vorbericht*

Am Anfang meiner physikalischen Forschungen standen die zwei Fragen: "Was geschieht *wirklich* beim Doppelspaltexperiment?" und "*Warum* gehorcht die Wirklichkeit den durch Lichtsignale bestimmten Zeitverhältnissen?" – oder, allgemeiner ausgedrückt: "Wie können die Formalismen von Quantentheorie und Spezieller Relativitätstheorie erklärt *und* verstanden werden?"

Nachdem es mir (zu meiner großen Überraschung) gelungen war, diese Fragen auf einsichtige und, wie mir scheint, überzeugende Weise zu beantworten, befand ich mich in einer seltsamen Lage; schon nach wenigen argumentativen Schritten hatte ich den Bereich der üblichen Interpretationen hinter mir gelassen, und zuletzt hatte ich weit außerhalb des begrifflichen Netzes Position bezogen, das von der Standardphysik über die Wirklichkeit gebreitet wird.

Zunächst waren meine Erklärungen allerdings unvollständig. So blieb etwa die Frage: "Was schwingt eigentlich in der Schrödingergleichung?" unbeantwortet. Diese Frage kann jedoch nicht in den relativistischen und quantenmechanischen Szenarien selbst geklärt werden – dafür ist es erforderlich, die Voraussetzungen der Wirklichkeit und ihrer Beschreibung zu analysieren.

Ontologische Überlegungen zum *Urgrund der Wirklichkeit* führten mich zu einer Gleichung, die als Beschreibung des Prozesses aufgefasst werden muss, der die Wirklichkeit hervorbringt.

Sie lautet:

*Die räumliche Änderung der metrischen Dichte des Raumes ist gleich der zeitlichen Änderung der metrischen Dichte der Zeit.*

Anfangs war mir nicht klar, wie ich diese philosophisch motivierte Gleichung einschätzen sollte. Ich war geneigt, sie für ein Glasperlenspiel zu halten – und dabei wäre es wohl auch geblieben, wenn sich nicht fast augenblicklich herausgestellt hätte, dass man davon ausgehend auf extrem kurzen und einfachen Wegen zu einer Theorie der Gravitation *und* zu einer Theorie des Elektromagnetismus gelangt, deren Resultate – ersten Tests zufolge – vollständig mit den Resultaten der Allgemeinen Relativitätstheorie und mit dem quantenmechanischen Atommodell übereinstimmen.

Ich nahm daher an, dass ich einen neuen, einfacheren Zugang zu den bekannten Theorien entdeckt hatte, und empfand diese Übereinstimmung als geradezu wunderbare Bestätigung für die fundamentale Gleichung und für meine relativistischen und quantenmechanischen Erklärungen. Vor meinem geistigen Auge stand das Bild von zwei logisch-mathematischen Brücken, die sich von meiner Gleichung zur Allgemeinen Relativitätstheorie und zur Quantentheorie erstreckten.

Diese Beschreibung entspricht dem Stand meiner Erkenntnis zum Zeitpunkt der Vollendung meines Buchs *Der Begriff der Wirklichkeit* vor mehr als 10 Jahren. Seither haben sich jedoch einige grundlegende Veränderungen ergeben, über die ich nun kurz berichten will.

(Ich bezeichne meine Gravitationstheorie als *metrisch-dynamische Gravitation*. Im Folgenden steht MDG für diese Theorie, AR für die Allgemeine Relativitätstheorie, EM für Elektromagnetismus.)

Im kugelsymmetrischen Fall einer einzigen nicht-rotierenden Masse – d.h. im Fall der Schwarzschildlösung der AR – stimmen AR und MDG tatsächlich vollkommen überein. Das kann an den bekannten Tests der AR demonstriert werden. Überraschenderweise besteht diese Übereinstimmung jedoch *ausschließlich* in diesem Fall, und auch hier nur hinsichtlich der Außenraumlösung.

Falls das betrachtete System mehrere Massen enthält, weichen die beiden Theorien jedoch voneinander ab, und in noch wesentlich höherem Maß hängt die Verschiedenheit der Resultate von der Größe des Gesamtdrehmoments des Systems ab.

Im Gravitationsfeld von Planeten sowie in Sonnensystemen ist diese Abweichung aufgrund der Dominanz der zentralen Masse und der relativen Kleinheit des Gesamtdrehmoments allerdings so gering, dass sie fast immer vernachlässigt werden kann; Bei Galaxien ist das aber nicht der Fall: hier befindet sich der Großteil der Gesamtmasse außerhalb des Zentrums, und das Gesamtdrehmoment ist in fast allen Fällen ungeheuer groß.

Unter diesen Voraussetzungen folgt aus der MDG eine signifikant höhere Rotationsgeschwindigkeit der äußeren Bereiche von Galaxien als aus der AR. Es besteht also die Möglichkeit, dass auf dunkle Materie zur Erklärung der hohen Rotationsgeschwindigkeit verzichtet werden kann.

Zusammengefasst: Die MDG ist nicht etwa, wie ich ursprünglich angenommen hatte, bloß ein neuer Weg zur AR, sondern eine neue Theorie.

Dasselbe gilt auch für den EM, wenn auch mit der wesentlichen Einschränkung, dass er in meiner Version nicht als Theorie, sondern nur als Konzept vorliegt, wobei dieses Konzept allerdings doch zumindest soweit ausgearbeitet ist, dass es den Aufbau eines Atommodells ermöglicht, das mit dem quantenmechanischen Atommodell übereinstimmt.

Trotz dieser Unvollständigkeit lässt sich aber mit einiger Sicherheit behaupten, dass es sich auch im Fall des EM um eine neue Theorie und nicht nur um einen neuen Weg zu der schon existierenden Theorie handelt. Der wesentliche Grund dafür ist, dass mein Konzept des EM – genauso wie mein Konzept der Gravitation – metrisch-dynamischer Art ist, mit anderen Worten: dass auch der EM auf

Veränderungen der Raumzeit beruht. In der Standardphysik ist das ausgeschlossen, weil dort die AR die Raumzeit *exklusiv* für sich beansprucht.

Es ist daher anzunehmen, dass eine Ausarbeitung der metrisch-dynamischen Version des EM zu wesentlichen Änderungen führen wird, genauso, wie das bei der Gravitation der Fall ist.

Der erste und wichtigste Grund dafür, dass ich meinen physikalisch-philosophischen Neuaufbau der Beschreibung der Wirklichkeit nun ein weiteres Mal präsentiere, besteht also darin, dass mir durch die Fortsetzung der Arbeit an meiner Gravitationstheorie klar geworden ist, dass es sich bei meinen Darstellungen von Gravitation und Elektromagnetismus nicht bloß um neue Zugänge zu den existierenden Theorien handelt, sondern um vollständig neue, selbständige Theorien.

Der zweite Grund ist, dass ich etliche der im *Begriff der Wirklichkeit* vorgestellten Gedankengänge nun viel klarer sehe, darunter vor allem denjenigen, der das wesentliche Charakteristikum meines Beschreibungssystems betrifft und der für die Beurteilung der Stellung dieses Systems innerhalb der Geschichte der Physik – oder sagen wir besser: innerhalb der Entwicklung der theoretischen Basis der Physik – unerlässlich ist.

Was damit gemeint ist, lässt sich am Beispiel der Gravitation erläutern:

Newtons Theorie ist *ausschließlich mechanisch*, Einsteins Theorie ist *mechanisch und metrisch*, meine Theorie ist *ausschließlich metrisch.*

Und genau so verhält es sich auch ganz allgemein: Die wissenschaftliche Beschreibung der Natur beginnt mit der Quantifizierung von Erfahrungen über das Verhalten von Objekten – das ist jener Bereich, den ich *mechanisch* nenne. Einstein hat für einen Teil der Physik – den der Gravitation – diesen mechanischen Bereich mit der Metrik der Raumzeit verbunden, der Rest der Physik bleibt aber (in diesem Sinn) rein mechanisch. So wirkt etwa der Elektromagnetismus zwar *in* der veränderten Raumzeit, aber nicht *durch* sie.

Das ist die Ursache für die Unvereinbarkeit der Theorien von Gravitation und Elektromagnetismus. Bei meinem Aufbau der Naturbeschreibung verschwindet dieses Problem: beide Theorien sind metrisch, und beide entspringen derselben Quelle: sie folgen aus der fundamentalen Gleichung und der jeweils einfachst-möglichen metrischen Annahme.

Außerdem wird es – wie ich zeigen werde – erst durch die vollständige Metrisierung der Physik möglich, Kausalität zu begründen und auf diese Weise die Existenz von Naturgesetzen zu verstehen; Im von mir "mechanisch" genannten Bereich gibt es zwar *überprüfbare* Gesetzmäßigkeiten, aber die *kausalen* Zusammenhänge liegen ausschließlich im metrischen Fundament der Wirklichkeit.

Schließlich gibt es noch einen weiteren Grund für die Wiederaufnahme meines Projekts – ein Motiv, das mich schon seit der Vollendung meines letzten Buchs begleitet. Ich bin ja selbst davon überrascht worden, wie sich mein physikalisch-philosophisches Projekt entwickelt und ausgedehnt hat. In der Form, die es im *Begriff der Wirklichkeit* angenommen hat, stellt es bereits einen Aufbau der naturwissenschaftlichen Beschreibung der Wirklichkeit auf einer völlig neuen Basis dar, und inzwischen hat sich außerdem – wie soeben erwähnt – herausgestellt, dass nicht nur die theoretische Basis, sondern auch die Theorien selbst neu sind und mit den bekannten, bewährten Theorien nur näherungsweise übereinstimmen.

Vermutlich gibt es kein Argument, das für sich allein stark genug sein könnte, um eine so grundlegende und umfassende Umstellung zu rechtfertigen. Dafür ist es notwendig, einen größeren Teil dessen zu erfassen, was dieses neue Beschreibungssystem insgesamt leistet: seine unglaubliche Fülle an Einsichten und Erklärungen, die vor allem dort am Auffälligsten ist, wo bisher kaum verdeckte Ratlosigkeit herrschte – wie etwa bei der Interpretation quantenmechanischer Szenarien oder auch bei den aktuellen Problemen im Zusammenhang mit dunkler Materie und dunkler Energie.

Eben diese Notwendigkeit, mein System auf eine Weise zu präsentieren, die eine sofortige Erfassung mehrerer komplexer Zusammenhänge erlaubt, hat mich auf die Idee gebracht, seine logische Struktur durch eine einfache Skizze darzustellen – jene Skizze, die sich am Beginn dieser Schrift findet. Ich denke, sie ist weitgehend selbsterklärend: ihre Baumstruktur zeigt an, dass die logischen Schritte von unten nach oben und von innen nach außen führen. Jeder dieser Schritte stellt nicht nur eine Ableitung, sondern auch eine Erklärung dar, mit anderen Worten: eine Schluss-folgerung, die über das rein Formale hinausgeht. Jeder Schritt setzt alle vorangegangenen voraus.

Der Aufbau des Buchs folgt dem Aufbau der Skizze: Jeder Verbindung zwischen zwei Bereichen ist ein Kapitel zugeordnet; die Nummern der Kapitel entsprechen den Nummern der Verbindungen.

Da selbst die einfache bildliche Darstellung unübersichtlich zu werden drohte, habe ich zwei Versionen erstellt. Ich werde diese kurze Einleitung mit der zweiten, etwas komplexeren Variante abschließen. Sie ist noch immer nicht vollständig, enthält aber zumindest die meisten wichtigen Resultate.

Hier noch ein weiterer Punkt, bei dem eine Erläuterung angebracht erscheint:

Etliche der folgenden Argumentationen beziehen sich auf physikalische Sachverhalte und Diskussionen, die vor langer Zeit – vor vielleicht 30, 50 oder sogar 100 Jahren – aktuell waren. Sie sind aber nicht als Ausflüge in die Geschichte der Physik gedacht, sondern als Analysen von

Entscheidungssituationen, in denen die korrekten Lösungen nicht entdeckt und daher falsche Wege eingeschlagen wurden – mit negativen Folgen für die aktuelle Physik.

Tatsächlich ist das bei fast allen wichtigen physikalischen Theorien der Fall: es gilt für die Spezielle und Allgemeine Relativitätstheorie, ganz besonders aber auch für die Quantentheorie, bei der sich eine Reihe von unglücklichen Entscheidungen ereignet hat – etwa beim Lichtelektrischen Effekt und Compton-Effekt, bei der Interpretation des Messprozesses sowie der Interpretation des Formalismus im Allgemeinen, bei der Widerlegung des Vorschlags von Einstein, Podolski und Rosen durch den Beweis von John Bell usw.

In all diesen Fällen werde ich versuchen, das Missverständnis aufzuklären, die übersehene Alternative vorzustellen und für diese Alternative zu argumentieren. Ich hoffe, es gelingt mir, die jeweiligen Lösungen so klar zu präsentieren, wie ich sie vor Augen habe.

Alle alternativen Lösungen sind Elemente der prinzipiellen Umstellung, von der zuvor die Rede war: dem Weg zu einer metrischen Begründung der gesamten Physik, die – wie ich meine – für ein Verständnis der Natur unverzichtbar ist.

Erst am Ende dieser einleitenden Bemerkungen komme ich nun zum philosophischen Teil meines Buchs. Das entspricht dem Verlauf des Wegs, auf den mich meine fortgesetzte Suche geführt hat: Zunächst hatte ich, wie beschrieben, nur offene physikalische Fragen im Sinn. Die Erweiterung der naturwissenschaftlichen Weltsicht, die für die gewünschten Antworten erforderlich war, hat sich dann aber außerdem – völlig unerwartet – als notwendig und hinreichend herausgestellt, um einige der wichtigsten philosophischen Probleme zu klären.

Ich schließe mit einer Ankündigung – mit einer Liste, die die wesentlichen philosophischen Erkenntnisse enthält, für deren Verständnis und Beweis die neue, erweiterte Sicht der Wirklichkeit Voraussetzung ist:


Begründung der Kausalität

Begründung der Willensfreiheit

Begründung der Existenz von Qualia

Unmöglichkeit von Roboterbewusstsein

Unmöglichkeit der Identität von Begriff und Objekt

Unmöglichkeit der Identität von Mathematik und Wirklichkeit

Begründung und Bestimmung von Transzendenz und Sinn

Bemerkungen:

Im Grunde will ich in dieser Schrift *dasselbe* sagen wie schon im *Begriff der Wirklichkeit,* allerdings unter Einbeziehung der Veränderungen, die sich seither ergeben haben, und mit besonderer Berücksichtigung der durchgehenden logischen Struktur. Deshalb werde ich einige Textabschnitte – manchmal auch große Teile von Kapiteln – aus dem *Begriff der Wirklichkeit* übernehmen. Im günstigsten Fall deshalb, weil ich sie nach wie vor für gut genug halte, gelegentlich aber auch nur deshalb, weil ich seither nicht mehr darüber nachgedacht habe.

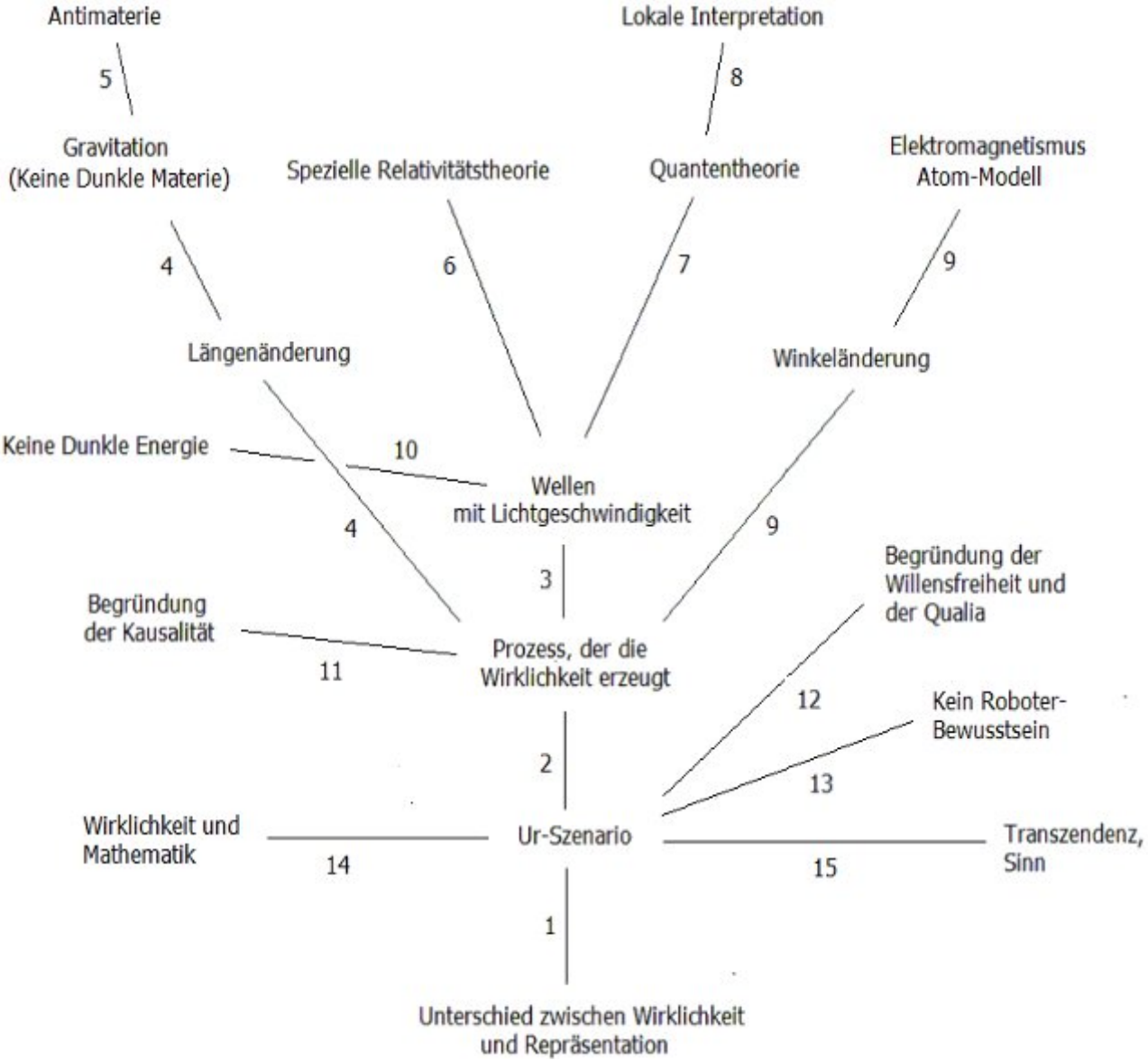
In den meisten Fällen werde ich die jeweils analysierten physikalischen Sachverhalte nicht einführend beschreiben, sondern ihre Kenntnis voraussetzen. Die Hoffnung, durch kurze Einführungen auch einem Publikum Einsicht zu ermöglichen, das der Physik fernsteht, ist eine Illusion.

Da es meine Absicht ist, die einzelnen Kapitel so zu gestalten, dass sie weitgehend selbständig sind und auch für sich allein verstanden werden können, werde ich mich oft wiederholen – vor allem, was die grundlegenden Definitionen, Voraussetzungen und Annahmen betrifft.

Der Anfang des Buchs wird fast allen Lesern – besonders aber Naturwissenschaftlern – vollkommen fremd erscheinen, weil er Ontologie und Physik verbindet. Ich bin mir dieser Schwierigkeit bewusst, kann aber daran nichts ändern, weil es sich dabei um die Basis des ganzen Beschreibungssystems handelt. Ich kann nur darauf hinweisen, dass dadurch eine Unvollständigkeit der naturwissenschaftlichen Sicht der Wirklichkeit beseitigt wird, und dass sich diese Korrektur als außerordentlich fruchtbar für Physik und Philosophie erweist.

Falls jemand nur am physikalischen Teil der Darstellung interessiert ist, besteht auch die Möglichkeit, gleich mit Kapitel 4 über Gravitation zu beginnen. Es wäre dann aber sinnvoll, einleitend auch das Postskriptum zu lesen, wo der Zusammenhang zwischen Spezieller Relativität, Gravitation und Quantentheorie kurz dargestellt ist, der bei meinem Zugang zur Wirklichkeit erkennbar wird.

(Eine letzte Anmerkung: natürlich gibt es auch zahlreiche Querverbindungen. Sie in die Skizze zu integrieren, hätte aber nicht zu mehr Klarheit, sondern zu Unübersichtlichkeit geführt.)


Antimaterie
5
Gravitation
(Keine Dunkle Materie)
4
Längenänderung
Lokale Interpretation
8
Quantentheorie
Spezielle Relativitätstheorie
6
7
Elektromagnetismus
Atom-Modell
9
Winkeländerung
Keine Dunkle Energie
10
Wellen
mit Lichtgeschwindigkeit
4
9
3
Begründung
der Kausalität
11
Prozess, der die
Wirklichkeit erzeugt
Begründung der
Willensfreiheit und
der Qualia
12
Kein Roboter-
Bewusstsein
13
2
Wirklichkeit und
Mathematik
14
Ur-Szenario
15
Transzendenz,
Sinn
1
Unterschied zwischen Wirklichkeit
und Repräsentation

## 1. Unterschied zwischen Wirklichkeit und Repräsentation ⟶ Ur-Szenario

Gäbe es eine Liste, in der alle Sachverhalte, die bisher unbeachtet geblieben sind, nach ihrer Wichtigkeit gereiht wären, dann müsste dort der im Folgenden dargestellte Unterschied zwischen Wirklichkeit und Repräsentation den ersten Platz einnehmen. Trotz seiner grundlegenden Bedeutung für Philosophie und Naturwissenschaft ist er sowohl der philosophischen Reflexion wie auch der wissenschaftlichen Forschung nahezu vollständig entgangen.

Er lautet:

***Zwischen einem wirklich existierenden System und seiner Repräsentation besteht ein fundamentaler Unterschied: Das wirklich existierende System ist* aktiv*, die Repräsentation hingegen ist* nicht aktiv.**

Alles, was existiert, übt *Wirkungen* aus. Ein Ding, das mit nichts anderem in Wechselwirkung steht, existiert nicht.

Für wirklich existierende Dinge gilt also: sie sind *von selbst* bzw. *aus sich heraus* **aktiv**; sie *beeinflussen* ihre Umgebung.

Hingegen sind Objekte in einer Repräsentation – etwa in einem mathematischen oder sprachlichen Beschreibungssystem, oder in einem Gedankengang, oder auch in einem Modell bzw. einer Simulation – **nicht aktiv**.

Ein Beispiel: Die Erde. Die wirkliche Erde übt *immer* Gravitation aus – es gibt sie nur *mit* Gravitation. Für die beschriebene oder gedachte Erde gilt das jedoch nicht: der gedachte Mond, der sich um die gedachte Erde bewegt, kann in Gedanken jederzeit angehalten werden, die Gleichung des Systems Erde und Mond löst sich *nicht von selbst,* und auch für eine mechanische oder elektronische Simulation dieses Systems gilt: *von sich aus* ist die Simulation *nicht aktiv,* sie muss erst – mechanisch oder elektrisch – *aktiviert* werden.

Für Objekte in einer Repräsentation gilt somit: *Von selbst* bzw. *aus sich heraus* sind sie **passiv**.

Wirkungen müssen *von irgendetwas* ausgehen; wirklich existierende Objekte müssen also etwas an sich haben, was Objekten in einer Repräsentation fehlt.

Dieser Unterschied lässt sich auf folgende Weise begrifflich erfassen:

***Wirklich existierende Objekte bestehen aus Substanz und Akzidenzien.***

***Objekte in einem Beschreibungssystem bestehen hingegen ausschließlich aus Akzidenzien.***

Der Begriff *Substanz* steht hier also für dasjenige, was die Antwort auf die Frage *"Wovon* gehen die Wirkungen aus?" darstellt. Er wird erst im Lauf weiterer, später folgender Gedankengänge seine volle Bedeutung erhalten. Dasselbe gilt für den Begriff *Akzidenzien*; hier bedeutet er einfach *Eigenschaften*.

*Substanz* weist auf dasjenige hin, *was* die Dinge sind*,* oder sagen wir besser: *woraus* sie bestehen.[1]

Der Begriff *Akzidenzien* enthält alles, was darüber gesagt werden kann, *wie* sich die Dinge präsentieren und verhalten und wie sie mit anderen Dingen interagieren.

*Substanz* bezeichnet den *Träger* der Objekteigenschaften.

Betrachten wir ein Ding *ohne Substanz,* z.B. 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: Wirklichkeit ist Struktur *und* Substanz[2], Mathematik ist *nur* Struktur – und dasselbe gilt für jedes Beschreibungssystem.

In diesem ersten Kapitel haben wir uns die Aufgabe gestellt, vom *Unterschied zwischen Wirklichkeit und Repräsentation* ausgehend zu Aussagen über die logischen und ontologischen Voraussetzungen der Wirklichkeit zu gelangen. Die Gesamtheit dieser Aussagen – soweit sie für uns möglich sind – nenne ich *Ur-Szenario.*

---

[1] Im Grunde sind aber alle diese Zuordnungen problematisch. "Aus etwas bestehen" scheint auf irgendein "Material" hinzuweisen, oder zumindest auf etwas "Raum-Einnehmendes", was jedoch irreführend ist. Es ist wichtig, zu begreifen, dass *Substanz* ein rein abstrakter Begriff ist – eine Abstraktion von *nichts.* Was die Substanz "ist", kann auf keine Weise gedacht werden, und es ist auch nicht möglich, sich ihr durch Analogien oder Vergleiche "anzunähern". Sie kann nicht inhaltlich definiert werden, sondern nur in Bezug auf ihre Stellung in der Beschreibung der Wirklichkeit.

[2] "Struktur" kann hier auch durch "Information" ersetzt werden; Auch Information benötigt einen Träger.

## 1.1. Ur-Szenario

Alles, was existiert, besteht *für uns* aus zwei vollkommen unterschiedlichen Elementen, die wir als *Substanz* und *Akzidenzien* bezeichnet haben. Aus deren begrifflichen Bestimmungen lassen sich folgende Aussagen ableiten.

*Substanz* ist der Träger der Eigenschaften. Sie ist das, was übrig bleibt, nachdem alle Eigenschaften bzw. Wechselwirkungen gedanklich entfernt worden sind. Sie selbst ist also *eigenschaftslos*, somit *ununterscheidbar*, und daher für alle Objekte gleich. Daraus folgt, dass wir sie als Voraussetzung *alles* Seienden auffassen müssen.

*Substanz* ist das, woraus alle Dinge bestehen. Dasjenige, woraus ein Ding *besteht*, muss aber zugleich dasjenige sein, woraus es *entstanden* ist. Somit müssen wir die Substanz als *Ursprung alles Seienden* auffassen.

Das bedeutet:

*Substanz* ist der *Urgrund der Wirklichkeit.* Sie bringt die Wirklichkeit hervor. Sie ist das, woraus die Dinge entstehen und woraus sie gemacht sind. Sie ist das, was die wirklichen Dinge *aktiv* macht.

Sie ist *kein Objekt.* Da unser Denken den Bereich der Beziehungen zwischen Objekten nicht verlassen kann, ist sie für unser Denken unerreichbar. Unsere Beschreibungen der Wirklichkeit beziehen sich *ausschließlich* auf Akzidenzien. Von dem, was ein Objekt ***ist,*** ist uns also immer nur ein Teil zugänglich. Der andere Teil ist undenkbar.

Am Seienden selbst sind Substanz und Akzidenzien *untrennbar* verbunden – sie bilden eine untrennbare Einheit. So wie die Substanz selbst ist auch diese Untrennbarkeit *metaphysischer* Art, und damit meine ich, dass sie von uns nicht gedacht werden kann.

*An sich* zerfallen die Dinge nicht in Substanz und Akzidens. *Für uns* ist diese Zweiteilung jedoch unumgänglich. Unsere Sprache und unser Denken sind nicht geeignet, die untrennbare Einheit von Substanz und Akzidens zu erfassen – *für uns* ist das Verhältnis von Substanz und Aktivität immer das von Subjekt und Prädikat: das Subjekt kann aktiv oder nicht aktiv sein. Für die Substanz besteht diese Alternative jedoch nicht. Die Substanz ist also nicht ***etwas, was*** aktiv ist, sie ***ist*** Aktivität.

Für *Untrennbarkeit* und für *Aktivität* gilt somit dasselbe wie für die Substanz selbst: Wir können zwar erkennen, dass sie "da" sind und sie benennen, aber *als das, was sie wirklich* ***sind,*** bleiben sie unserem Denken verschlossen.

Aber auch wenn wir die Substanz als das, was sie "ist", nicht denken können, ist es – wie sich gezeigt hat – dennoch möglich, *über sie* etwas auszusagen. Für den physikalischen Teil meiner Darstellung werden die folgenden drei Aussagen benötigt. Sie bilden den Ausgangspunkt des nächsten Kapitels:

(1) *Substanz* bringt die Wirklichkeit hervor, und von ihr geht die *Aktivität* der Dinge aus. Daher müssen wir auch ihr selbst *Aktivität* zuschreiben. *Substanz* **ist** *Aktivität.*

(2) Die Substanz selbst hat keine Eigenschaften. Somit muss sie in sich unterschiedslos sein.

(3) Dass die Substanz *aktiv* ist, bedeutet, dass sie ihre Unterschiedslosigkeit aufhebt: Substanz ist *Das-Sich-Verändernde*. Indem die Substanz sich verändert, erzeugt sie Unterschiede und steigt damit zur Existenz auf.

**Addendum:**

Aus der Begriffsbestimmung der Substanz lässt sich auch ableiten, *warum* überhaupt etwas existiert, warum also *Etwas* ist und nicht *Nichts*. Da diese Ableitung aber für sich allein steht und für die weiteren Folgerungen nicht notwendig ist, will ich sie aus dem allgemeinen Gang meiner Argumentation herausnehmen und in Form einer zusätzlichen Bemerkung präsentieren.

Fragen wir uns nochmals: *Was ist die Substanz*, gedacht als Träger der Eigenschaften?

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 Wechselwirkungen entfernt werden.

Das Vorhandensein von Wechselwirkungen ist jedoch eine notwendige Voraussetzung dafür, dass einem Objekt Existenz zuerkannt werden kann: etwas, was mit nichts anderem wechselwirkt, existiert nicht. Somit erfüllt die Substanz nicht das Kriterium für Existenz.

Halten wir also ***erstens*** fest:

Die Substanz ***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. Von etwas, was *nicht existiert*, können jedoch keine Wirkungen ausgehen; *Nichts* kann nicht Träger von Eigenschaften sein.

Halten wir also ***zweitens*** fest:

Die Substanz ***existiert*** *auch* ***nicht nicht***.

Es gilt also: ***Die Substanz existiert weder, noch existiert sie nicht.***

Wir haben die Substanz als dasjenige bestimmt, aus dem das Seiende hervorgeht. Somit gilt:

***Der Ursprung des 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.

**<u>Hinweis:</u>**

Wir haben die Substanz als *Das-sich-Verändernde* bezeichnet. Andererseits haben wir sie als *in sich unterschiedslos* bestimmt. Wenn sie sich verändert, kann sie aber nicht mehr in sich unterschiedslos sein. Dieser Widerspruch löst sich wie folgt auf:

Wenn wir Substanz als dasjenige auffassen, was die Wirklichkeit hervorbringt, dann betrachten wir ihr *An-sich-Sein.* Es ist die Substanz *an sich,* die *vor* (im ontologischen Sinn) aller Existenz *als weder-existierend-noch-nicht-existierend* in sich unterschiedslos ist und *als sich-verändernd* zur Wirklichkeit aufsteigt. *An sich* bleibt sie aber immer Substanz – sie "ist" die Wirklichkeit. Die sich

entfaltende Wirklichkeit ist nichts anderes als die Substanz in ihrer fortwährenden Änderung. Die Wirklichkeit *ist* Substanz.

*Für uns* zerfällt das Seiende jedoch notwendig in Substanz und Akzidenzien. Da uns das, was sich ereignet, *ausschließlich* durch Akzidenzien zugänglich ist, wird – *für uns* – *Veränderung* auf den Bereich der Akzidenzien übertragen. Dadurch bleibt *für uns* von dem, was die Substanz *an sich* ist, bei der Betrachtung des Seienden ihre *Unterschiedslosigkeit* aufbewahrt, ihr *Sich-Verändern* geht verloren.

## 2. Ur-Szenario ⟶ Prozess, der die Wirklichkeit erzeugt

In diesem Kapitel ist es unser Ziel, die folgenden Aussagen über die Substanz, zu denen wir im vorigen Kapitel gelangt sind. in eine mathematische Form zu bringen:

(1) *Substanz* bringt die Wirklichkeit hervor, und von ihr geht die *Aktivität* der Dinge aus. Daher müssen wir auch ihr selbst *Aktivität* zuschreiben. *Substanz* **ist** *Aktivität.*

(2) Die Substanz selbst hat keine Eigenschaften. Somit muss sie in sich unterschiedslos sein.

(3) Dass die Substanz *aktiv* ist, bedeutet, dass sie ihre Unterschiedslosigkeit aufhebt: Substanz ist *Das-Sich-Verändernde*. Indem die Substanz sich verändert, erzeugt sie Unterschiede und steigt damit zur Existenz auf.

Nach (1) ist die Substanz der *Ursprung der Wirklichkeit.*

Wie gelangen wir unter dieser Voraussetzung zu einer *Beschreibung der Wirklichkeit?*

Indem wir vom *Ursprung der Wirklichkeit* zum *Ursprung der Beschreibung der Wirklichkeit* wechseln – oder, um es philosophisch auszudrücken: indem wir von dem, was die Substanz *an sich* ist, zu dem übergehen, was sie *für uns* ist.

Unsere Aufgabe ist es also, dasjenige zu bestimmen, was *für die Beschreibung der Wirklichkeit* denselben Status hat wie die Substanz *für die Wirklichkeit selbst*.

Was ist die Substanz? Die logische und ontologische Voraussetzung der Wirklichkeit.

Was sind die logischen und ontologischen Voraussetzungen der Beschreibung der Wirklichkeit?

*Raum und Zeit*.

Das bedeutet: Raum und Zeit leisten für die Beschreibung der Wirklichkeit dasselbe wie die Substanz für die Wirklichkeit selbst. *Für uns* **ist** die Substanz Raum und Zeit.

Nach (3) bringt die Substanz die Wirklichkeit hervor, indem sie sich ändert. Daher beginnen wir den Aufbau unserer Beschreibung der Wirklichkeit mit der Beschreibung einer Änderung.

Die erste Frage ist: *Was* ändert sich?

Das, was die Substanz *für uns* ist: Raum und Zeit. (Da wir noch *vor* aller Existenz sind, *kann* es nur Raum oder Zeit sein, was sich ändert.)

Die zweite Frage ist: *Wie* stellen wir diese Änderung dar?

Nach (2) ist die Substanz *in sich unterschiedslos*. Es gibt also *keine Struktur und kein Gedächtnis.* Das bedeutet, dass sich jede zeitliche Änderung nur auf den jeweils vorhergehenden Augenblick beziehen kann, und jede räumliche Änderung nur auf einen unmittelbar benachbarten Ort. Somit müssen Änderungen als Differenzialquotienten dargestellt werden.

Beginnen wir mit einer Änderung des Raumes. Wie kann sich der Raum in der Beschreibung ändern? Nur, indem sich sein *Längenmaß* oder *Winkelmaß* ändert.[3]

Zunächst zur Änderung des Längenmaßes.

Wir definieren σ, die ***metrische Dichte der Länge***, wie folgt:

Sei r eine räumliche Koordinate. Dann ist

$$\frac{dr}{\sigma(r)} = dr' \qquad \Leftrightarrow \qquad dr = \sigma(r)\, dr'$$

– wobei r' dieselbe räumliche Koordinate *nach* der metrischen Änderung bezeichnet. σ ist dimensionslos.

Wir setzen also für die erste Änderung: Änderung 1 = $\frac{d\sigma}{dr}$

Es ist aber klar, dass *eine* Änderung nicht ausreicht, um eine Beschreibung zu begründen. Da ohne Änderung Nichts wäre, muss aus der ersten Änderung etwas folgen, und diese Folge muss wiederum eine Änderung der Substanz selbst sein, d.h. von Raum oder Zeit.

Unsere erste Änderung war eine Änderung des Raumes. Als zweite Änderung benötigen wir eine andere, von der ersten verschiedene Änderung, also eine Änderung der Zeit.

---

[3] Wie sich herausstellt, führen Änderungen des Längenmaßes zur Gravitation, Änderungen des Winkelmaßes zum Elektromagnetismus. Das wird in den Kapiteln 4 und 9 durchgeführt.

Daher setzen wir für die zweite Änderung: Änderung 2 = $\frac{d\zeta}{d(ct)}$ , wo $\zeta$ die ***metrische Dichte der Zeit*** t bezeichnet.

Aus Dimensionsgründen, die im Folgenden klar werden, muss hier ct anstelle von t gesetzt werden, wobei c eine Konstante ist, die die Dimension einer Geschwindigkeit hat. Ebenso wie $\sigma$ ist auch $\zeta$ dimensionslos.

Damit haben wir nun, ausgehend von den Aussagen über die Substanz, zwei Änderungen bestimmt, wobei wir angenommen haben, dass die zweite Änderung aus der ersten folgt. Da aber weiterhin gilt, dass ohne Änderung Nichts wäre, sehen wir uns jetzt abermals gezwungen, die Kette der Veränderungen fortzusetzen. Allerdings steht uns als das, was sich ändern kann, nur Raum und Zeit zur Verfügung, und beides haben wir bereits verwendet. Das bedeutet, dass die Kette der Veränderungen, die auseinander folgen, nur dadurch unaufhörlich werden kann, dass aus der zweiten Änderung wiederum die erste folgt.

Wir erhalten somit:

(Änderung 1 $\Rightarrow$ Änderung 2) *und* (Änderung 2 $\Rightarrow$ Änderung 1)

Daraus folgt:

Änderung 1 = Änderung 2

Die Gleichung, zu der wir auf diese Weise gelangt sind, lautet also

$$\boxed{\frac{d\sigma}{dr} = \pm \frac{d\zeta}{dct}} \quad \text{bzw.} \quad \boxed{\frac{d\sigma}{dr} = \pm \frac{1}{c}\frac{d\zeta}{dt}} \qquad (0)$$

In Worten: ***Die räumliche Änderung der metrischen Dichte der Länge ist proportional der zeitlichen Änderung der metrischen Dichte der Zeit. Der Proportionalitätsfaktor ist die Geschwindigkeit c.***

Gleichung (0) stellt dar, was der Entstehungsvorgang der Wirklichkeit *für uns* ist: *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.

Allerdings hat $\sigma$ in Gleichung 0 zwei Interpretationen. Wir haben ja zunächst nur die Änderung des Längenmaßes betrachtet. Nun müssen wir dasselbe für Änderungen des Winkelmaßes durchführen.

Wir interpretieren σ jetzt also als ***metrische Dichte des Winkels*** und definieren sie wie folgt (um Unklarheiten zu vermeiden, bezeichnen wir die Winkeldichte mit η statt mit σ).

Anstelle der Definition $\frac{dr}{\sigma(r)} = dr' \quad \Leftrightarrow \quad dr = \sigma(r)\, dr'$

erhalten wir dann $\frac{d\alpha}{\eta(r)} = d\alpha' \quad \Leftrightarrow \quad d\alpha = \eta(r)\, d\alpha'$

Gleichung (0) wird dann zu

$$\boxed{\frac{d\eta}{dr} = \pm \frac{d\zeta}{dct}} \qquad (0')$$

Damit die Gleichungen (0) und (0') als Basis einer physikalischen Beschreibung der Wirklichkeit dienen können, müssen sie in *dynamische Gleichungen* umgeformt werden – ohne Bewegung gibt es keine Veränderung. Das gelingt am einfachsten dadurch, dass die dimensionslose Größe ζ als Quotient zweier Geschwindigkeiten aufgefasst wird. *Eine* Geschwindigkeit ist in (0) in Gestalt der Konstanten c schon vorhanden. Also verwenden wir c auch bei der Definition von ζ. Wir setzen:

$$\zeta = \frac{v}{c}$$

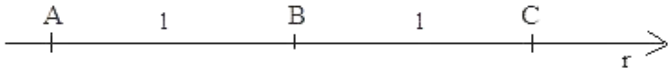
c ist die Konstante, v ist die Variable.[4] Gleichung (0) wird dann zu

$$\frac{d\sigma}{dr} = \pm \frac{d\frac{v}{c}}{d(ct)}$$

$$\boxed{\frac{d\sigma}{dr} = \pm \frac{1}{c^2}\frac{dv}{dt}} \qquad (1)$$

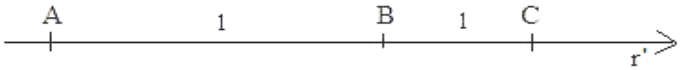
[4] Die metrische Dichte der Zeit als v/c anzusetzen, ist vor allem dadurch motiviert, dass dann die Geschwindigkeit v die gesamte metrische Information enthält, d.h. die Information, wie sich Längen und Zeiten in Abhängigkeit von v ändern. Das führt zur relativistischen Struktur der Wirklichkeit.

Eine Skizze zur Illustration: Seien A, B und C drei Punkte entlang der Koordinate r. Die Abstände zwischen A und B sowie zwischen B und C seien gleich 1.




(S1)

Hier ist σ 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* σ ist zwischen B und C größer als zwischen A und B.

A, B und C sind nicht als *Punkte des Raums* aufzufassen, sondern als *Begrenzungspunkte von Maßintervallen:* zwischen dem *Raum selbst* und seiner *metrischen Struktur* muss unterschieden werden.

(Warum diese Unterscheidung notwendig ist, wird erst im Kapitel 4 über Gravitation klar.)

Was ergibt sich in (S2) für B? Nach (1) entsteht ein Fluss, den ich ***metrischen Fluss*** nenne, d.h. B erfährt eine Beschleunigung, für die – wegen der Möglichkeit des positiven und negativen Vorzeichens in (1) – zunächst noch die Richtung offen ist. Wir lassen uns hier von der Vorstellung leiten, dass B zurück zum Mittelpunkt von AC beschleunigt wird.[5] Das bedeutet, dass in (1) das negative Vorzeichen zu wählen ist, also

$$\boxed{\frac{d\sigma}{dr} = -\frac{1}{c^2}\frac{dv}{dt}} \qquad (1)$$

[5] Der andere Fall ergibt sich bei Antimaterie. (Siehe Kapitel 5.)

Zu beachten ist der Unterschied zwischen der metrischen Dichte σ und der "normalen" Dichte ρ: Im Fall von ρ 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, ρ hat ein *Gedächtnis*. Würde σ einer normalen Dichte ρ entsprechen, dann wäre das Ausmaß der 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 σ keinen solchen Absolutwert besitzen – es wäre unsinnig, einem Kontinuum eine (absolute) Dichte zuzuschreiben. Hier gibt es also kein absolutes Maß, und der Faktor 1/σ entfällt; σ hat *kein Gedächtnis*. Es gibt keine absolute metrische Dichte, nur Dichterelationen.[6]

Ebenso, wie wir soeben Gleichung (0) in eine dynamische Gleichung umgeformt haben, müssen wir das auch für Gleichung (0') durchführen. Statt

$$\zeta = \frac{v}{c}$$

ist nun aber zu setzen

$$\zeta = \frac{w}{c}$$

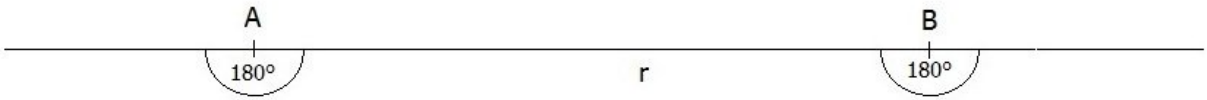
– wobei w eine Geschwindigkeit *normal* zu r ist. (Warum das so ist, wird gleich anschließend erläutert.) Gleichung (0') wird dann zu

[6] Daraus folgt auch, dass es keine absolute Größe gibt, nur Größenrelationen. Das hat weitreichende Konsequenzen für die Beurteilung des Ursprungs des Universums und der Entwicklung seiner Größe. (Siehe Kapitel 10.)

$$\frac{d\eta}{dr} = \pm \frac{d\frac{w}{c}}{d(ct)}$$

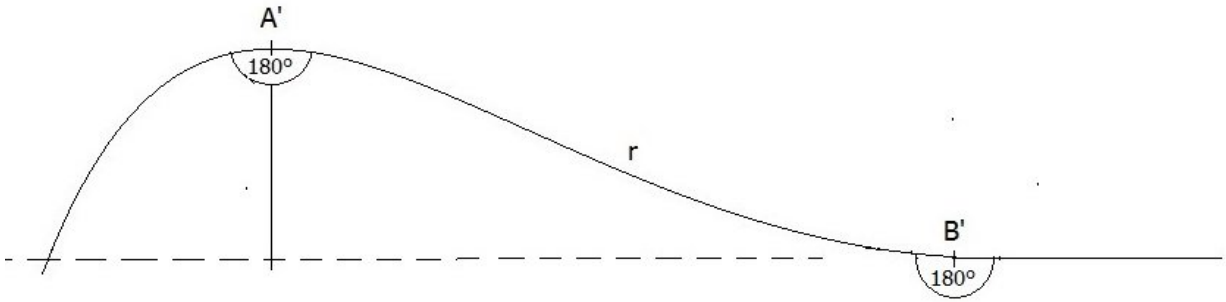
$$\boxed{\frac{d\eta}{dr} = \pm \frac{1}{c^2}\frac{dw}{dt}} \qquad (1')$$

Auch hier wieder eine Skizze zur Illustration: Seien A und B zwei Punkte entlang der Koordinate r. Die bei A und B eingezeichneten Winkel betragen 180°.




(S3)

Hier ist η konstant. Nun ändern wir die Verhältnisse folgendermaßen:



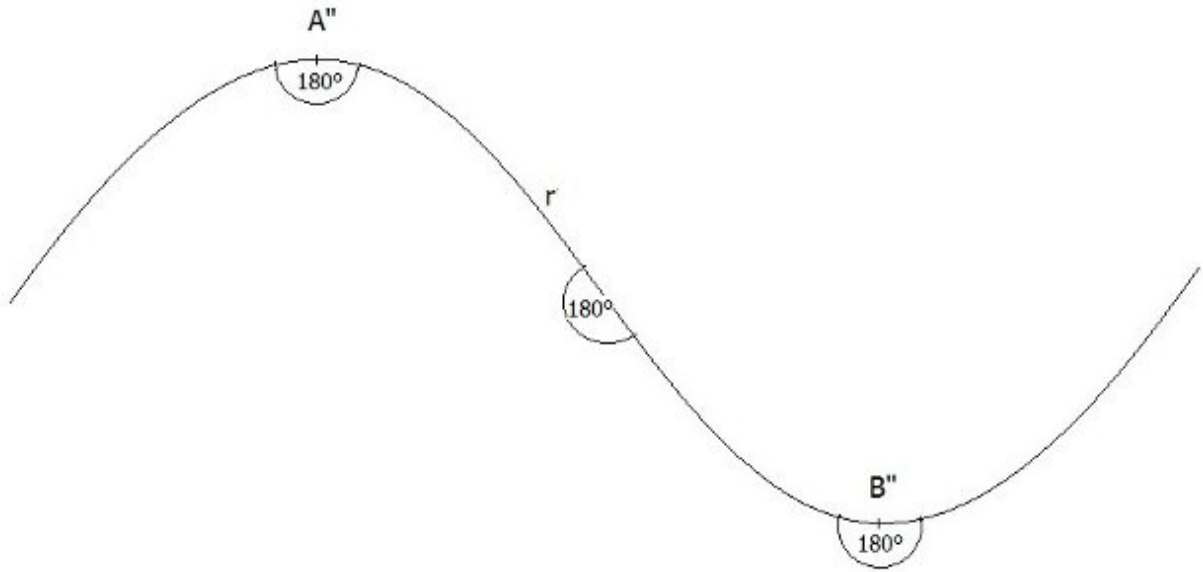

(S4)

Die *Winkel* sind gleich 180° geblieben, aber das *Winkelmaß* hat sich bei A' im Vergleich mit dem Winkelmaß bei A verkleinert. Das bedeutet: die *metrische Winkeldichte* η ist bei A' *größer* als bei A. Bei B' ist das Winkelmaß dagegen vergrößert, die Winkeldichte ist also bei B' *kleiner* als bei B.

Was ergibt sich in (S4) für A'? Nach (1') entsteht ein ***metrischer Fluss***, A' erfährt also eine Beschleunigung, diesmal aber *normal* zu r. Auch hier nehmen wir wieder an, dass das negative Vorzeichen zu wählen ist, also

$$\boxed{\frac{d\eta}{dr} = -\frac{1}{c^2}\frac{dw}{dt}} \qquad (1')$$

Gleich anschließend werden wir Wellen der Längen- sowie der Winkeldichte ableiten. Hier eine Skizze zur Veranschaulichung der Winkeldichte-Variante:




(S4a)

Die Skizze zeigt, dass Transversalwellen als *Wellen der Winkeldichte* aufgefasst werden können, wenn die Änderung der Amplitude als *metrische Veränderung des Winkels* interpretiert wird.[7]

[7] Dadurch erreicht man, dass auch der Elektromagnetismus – ebenso wie die Gravitation – auf metrische Veränderungen zurückgeführt werden kann. (Siehe Kapitel 9.)

Der in (S4a) dargestellte metrische Sachverhalt kann natürlich auch so verstanden werden:

(S4b)

Damit ist dieses Kapitel abgeschlossen. Das Ziel war, ontologische Schlussfolgerungen in eine mathematische Form zu bringen, die als Basis der Physik geeignet ist. Die Aussage, zu der wir auf diesem Weg gelangt sind, lautet wie folgt:

***Die Wirklichkeit ist ein differenzielles Gewebe aus metrischen 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 diesen Veränderungen.***

Diese Aussage stützt sich zunächst bloß auf die Analyse des *Ursprungs der Wirklichkeit*. Im nächsten Kapitel werden wir einen ersten Schritt zu ihrer Konkretisierung unternehmen.

**Bemerkung:**

Es erhebt sich die Frage, warum wir am Beginn des Aufbaus der Beschreibung der Wirklichkeit Mathematik und Logik voraussetzen können. Die Antwort ist wie folgt:

*Jeder* Anfang einer Beschreibung der Wirklichkeit muss unbewiesene Annahmen voraussetzen. Man befindet sich notwendig in einem logischen Zirkel. Entscheidend ist, dass

1. dieser Zirkel nicht destruktiv ist, und
2. dass es gelingt, die zunächst unbewiesenen Annahmen schließlich auch als Schluss-folgerungen aus dem Beschreibungssystem selbst zu erkennen und dadurch zu begründen und zu verstehen.

Am Ende von Kapitel 14 findet sich eine Kurzversion dieses Verfahrens.

## 3. Prozess, der die Wirklichkeit erzeugt ⟶ Wellen mit Lichtgeschwindigkeit

Die Abhängigkeit von σ 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

$$\frac{dv}{dr} = -\frac{d\sigma}{dt} \qquad (1a)$$

Zum Vergleich die eindimensionale Kontinuitätsgleichung für ein mitfließendes Längenelement:

$$\frac{dv}{dr} = -\frac{d\rho}{dt}\frac{1}{\rho} \qquad \text{(hier ist } \frac{d\rho}{dt} \text{ die vollständige Ableitung)}$$

Der Vergleich[8] zeigt, dass (1a) im allgemeinen Fall nur dann gilt, wenn $\frac{d\sigma}{dt}$ als vollständige Ableitung aufgefasst wird. Wir werden aber σ nur partiell nach der Zeit differenzieren. Deshalb müssen wir voraussetzen, dass die Änderung von σ entlang von r vernachlässigbar ist, so dass das

[8] Auch hier tritt der Faktor 1/ρ wieder deshalb auf, weil die zeitliche Zunahme der Dichte von der Ausgangsdichte abhängt, die sich auf eine absolute Skala bezieht. Im Fall von σ gibt es keine absolute Skala, sondern nur relative Änderungen, also entfällt dieser Faktor.

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 σ(r) = konstant und beginnen mit einer lokalen Änderung, gleichgültig ob von σ oder von v. Der folgende Ablauf wird dann nur durch diesen ersten Anstoß und durch die gegenseitige Abhängigkeit von σ und v bestimmt (und nicht durch eine schon *vorher* bestehende r-Abhängigkeit von σ), also durch die Gleichungen (1) und (1a):

$$\frac{\partial\sigma}{\partial r} = -\frac{1}{c^2}\frac{\partial v}{\partial t} \qquad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial r} = -\frac{\partial\sigma}{\partial t} \qquad (1a)$$

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 $\frac{\partial^2 v}{\partial r^2} = -\frac{\partial^2\sigma}{\partial r\,\partial t}$

Daraus folgt $\boxed{\frac{\partial^2 v}{\partial r^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 v}{\partial t^2}}$ (2)

*Wir erhalten also Wellen in v, deren Geschwindigkeit c ist.*

Nach demselben Schema ergeben sich Wellen in w:

Aus der Gleichung $$\frac{\partial \eta}{\partial r} = -\frac{1}{c^2}\frac{\partial w}{\partial t} \qquad (1')$$

folgt $$\frac{\partial w}{\partial r} = -\frac{\partial \eta}{\partial t} \qquad (1'a)$$

und daraus folgt wiederum die Wellengleichung

$$\boxed{\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}} \qquad (2')$$

Aufgrund der Symmetrie der Gleichungen (1) und (1a) bezüglich der Größen σ und v sowie der Gleichungen (1') und (1'a) bezüglich η und w erhalten wir auf analoge Weise auch *metrische* Wellen:

in σ: $$\boxed{\frac{\partial^2 \sigma}{\partial r^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \sigma}{\partial t^2}} \qquad (3)$$

und ebenso in η: $$\boxed{\frac{\partial^2 \eta}{\partial r^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2}} \qquad (3')$$

Aus (2) folgt außerdem wegen $v/c = \zeta$

$$\boxed{\frac{\partial^2 \zeta}{\partial r^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2}} \qquad (4)$$

Zusammengefasst: Wir erhalten Wellen des longitudinalen metrischen Flusses v sowie Wellen des transversalen metrischen Flusses w, und weitere drei Arten von metrischen Wellen – Wellen in σ,

der metrischen Dichte der Länge, Wellen in η, der metrischen Dichte des Winkels, und Wellen in ζ, der metrischen Dichte der Zeit. Alle Wellen haben die Geschwindigkeit c.

Wie ja schon die Bezeichnung anzeigt, identifizieren wir c mit der Lichtgeschwindigkeit.

Wichtig für das Folgende ist, dass es sich bei allen diesen Wellen um ***Wellen im longitudinalen metrischen Fluss*** handelt:

Für die Wellen in σ und v und ζ ist dies selbstverständlich, da Gleichung (1a) nur für ein mitfließendes Längenelement gilt.

Falls bei den Gleichungen (1') und (1'a) – 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 η 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 ist anzunehmen, dass sie mit *Lichtwellen, elektromagnetischen Wellen* und *Gravitationswellen* in Beziehung stehen.

Vorläufig ist dieser Zusammenhang aber noch nicht ersichtlich.

Um die fundamentale Bedeutung zu demonstrieren, die diese Wellen für die Entstehung der Wirklichkeit haben, werden wir im nächsten Abschnitt eine kurze Analyse der Zeitstruktur der Wirklichkeit durchführen.

## 3.1. Die Zeitstruktur der Wirklichkeit

Durch Einstein wissen wir, dass die Zeit nicht – wie Newton annahm – "vermöge ihres Wesens überall gleichmäßig fließt", sondern dass die Ergebnisse von Zeitmessungen vom Bewegungszustand des Beobachters abhängen. Einsteins Analysen beruhen auf *Signalen*, mittels derer wir feststellen können, zu welchen Zeitpunkten Ereignisse an entfernten Orten stattfinden.

Ich meine aber, dass diese Art der Analyse nicht tief genug geht. Gegenstand der Analyse sollten nicht *Signale* sein, die der *Ermittlung* von Zeitverhältnissen dienen, sondern *kausale Prozesse,* die Zeitverhältnisse ***verursachen***.

Wenn die Zeit nicht "von selbst" und "vermöge ihres Wesens" abläuft, dann muss jedes lokale Zeitvergehen sowie die Beziehungen zwischen den lokalen Zeiten durch irgendetwas *verursacht* werden. Es ist evident, dass diese Verursachung den kausalen Prozessen zugeschrieben werden muss, durch die die Objekte der Wirklichkeit miteinander verbunden sind.

Der nächste Schritt ist, zu begreifen, dass die auf diese Weise erzeugten Zeitverhältnisse vom Bewegungszustand der Objekte abhängen. Dafür benötigt man folgende Überlegung:

Wir betrachten zwei Objekte. Zunächst ruhen sie beide. Wenn sie nun aber beginnen, sich entlang ihrer Verbindungsgeraden in der selben Richtung mit der selben Geschwindigkeit zu bewegen, dann ändert sich das Verhältnis der für sie geltenden Zeiten – einfach deshalb, weil *jeder* der kausalen, Zeit-erzeugenden Prozesse, die beim vorderen Objekt beginnen und beim hinteren enden, bei diesem hinteren Objekt jetzt *früher* ankommt als derselbe Prozess im Fall der Objekte in Ruhe, weil das hintere Objekt diesem Prozess ja jetzt entgegenläuft.

Das bedeutet aber nichts anderes, als dass – bezogen auf das hintere Objekt – der Zeitpunkt des Aussendens des Prozesses nun – im Vergleich zu vorher – *in die Vergangenheit verschoben* ist.

Offensichtlich hängt jedoch das Ausmaß dieser Verschiebung von der Geschwindigkeit des betrachteten Prozesses ab: je kleiner die Geschwindigkeit, desto größer die Verschiebung.

Daraus lässt sich der folgende – überraschende und weitreichende – Schluss ziehen:

Nehmen wir an, die Objekte eines Systems seien durch Prozesse verknüpft, die sich mit der Geschwindigkeit c ausbreiten. Dann erhalten wir eine Zeitstruktur, die vollkommen durch c bestimmt ist – wie das ja auch tatsächlich der Fall ist.

Nehmen wir nun außerdem an, es gäbe weitere Prozesse, die sich mit einer anderen Geschwindigkeit d ausbreiten, die von c unabhängig ist. Dann erzeugen diese Prozesse ein zweites, von dem durch c erzeugten *verschiedenes, davon unabhängiges* Zeitsystem. Das ist aber unmöglich. Das Zeitsystem muss eindeutig sein.

Daraus folgt:

***Es gibt nur eine einzige Geschwindigkeit, nämlich c. Alle anderen Geschwindigkeiten müssen daraus abgeleitet sein.***

Die einfachste Form einer solchen Ableitung besteht darin, von Überlagerungen gegenlaufender Wellen auszugehen. Die Geschwindigkeit der Überlagerung hängt dann von den Frequenzen der beiden Wellen ab. Wir werden das im Kapitel 6 durchführen und daraus die Spezielle Relativitätstheorie ableiten, ohne das Relativitätsprinzip oder die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit für alle gleichförmig bewegten Beobachter vorauszusetzen.

In diesem Sinn gibt es also nur Lichtgeschwindigkeit. Diese Schlussfolgerung gibt Anlass zu der Vermutung, dass die Wellen mit Lichtgeschwindigkeit, die wir in diesem Kapitel aus unserer fundamentalen Gleichung abgeleitet haben, tatsächlich für die Erzeugung und den Fortbestand der Strukturen der Wirklichkeit von grundlegender Bedeutung sind. Dass sie dafür auch *hinreichend* sind, ist jedoch deshalb unwahrscheinlich, weil sie ja nur die einfachsten linearen Arten von Wellen oder überhaupt Prozessen darstellen, die sich aus der fundamentalen Gleichung ableiten lassen.

## 3.2. Was sind Objekte?

Ich füge noch eine weitere Überlegung hinzu, die für unsere Argumentation eine Rolle spielt:

Betrachten wir in der Menge aller Objekte des Universums die Teilmenge der elementaren Objekte.

Nach dem Verständnis der Standardphysik bedeutet "elementar", dass sie nicht weiter in Objekte und Prozesse zerlegt werden können. Sie sind also "strukturlos". Daraus folgt wiederum, dass sie *ohne Zeit* sind. Was selbst ohne Zeit ist – d.h. ohne Veränderung –, kann aber nicht Ursache einer Veränderung sein, die *in der Zeit* stattfindet.

Das bedeutet:

Die kausalen Prozesse, durch die die Objekte verknüpft sind, können nicht bei den elementaren Objekten *beginnen* oder an ihnen *enden*. Sie müssen sich *in den Objekten* fortsetzen.[9]

Elementare Objekte sind also keineswegs strukturlos und zeitlos – sie sind auch selbst aus den Prozessen gebildet, die wir soeben als die Prozesse beschrieben haben, die die Zeitstruktur erzeugen – also aus genau den verschiedenen Arten von metrischen Wellen mit Lichtgeschwindigkeit, die wir in diesem Kapitel abgeleitet haben.

[9] Das gilt natürlich nicht für Objekte, die als punktförmig angenommen werden.

Die Objekte können daher nicht einfach in das relativistische Kausalnetz platziert werden, sie müssen vielmehr auch selbst – samt ihrer inneren Struktur – als Teil dieses Netzes aufgefasst werden:

"Objekte" sind ebenfalls "Prozesse"; Sie sind ***Zustände der Raumzeit***.[10]

Das führt zu folgender Annahme:

***Elementare Objekte sind Attraktoren der Dynamik des metrischen Raum-Zeit-Kontinuums.***

Wie wir später sehen werden, gilt ganz allgemein:

***Objekte sind Attraktoren der Dynamik derjenigen Ebene der Wirklichkeit, aus deren Elementen sie aufgebaut sind.***

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.

Bemerkung:

Die obigen Hypothesen ändern zunächst nichts an den bisherigen Theorien über Elementarteilchen, d.h. am Standardmodell der Teilchenphysik. Sie weisen allerdings darauf hin, dass das Standard-modell als *vorläufiges* Beschreibungssystem betrachtet werden muss, da es die grundlegenden kausalen Beziehungen nicht enthält.

Ob diese Hypothesen sinnvoll sind, wird sich nun erstmals zeigen, wenn sie im nächsten Kapitel über Gravitation als Elemente der argumentativen Struktur erscheinen.

[10] Im ersten Kapitel haben wir festgestellt: Die Wirklichkeit *an sich* ist Substanz. *Für uns* ist die Substanz jedoch *Raum und Zeit.* Schon daraus folgt also, dass die Wirklichkeit *für uns* ausschließlich aus Raum und Zeit besteht: Was auch immer existiert, ist ein Zustand der Raumzeit, was auch immer geschieht, ist Veränderung der Raumzeit.

## 4. Prozess, der die Wirklichkeit erzeugt ⟶ Gravitation

In diesem Kapitel wird eine neue Sicht der Gravitation vorgestellt, die ich *metrisch-dynamische Gravitation* nenne. Sie beruht auf der Annahme, dass die Änderung von σ, der metrischen Dichte der Länge, als Ursache der Gravitationsbeschleunigung aufgefasst werden kann.

Wir setzen Gleichung (1) voraus:

$$\frac{d\sigma}{dr} = -\frac{1}{c^2}\frac{dv}{dt} \qquad (1)$$

Die Änderung der metrischen Dichte σ bewirkt also eine Beschleunigung des metrischen Flusses v.

Im Folgenden gehen wir von einem dreidimensionalen kartesischen Koordinatensystem K aus. Unser Ziel ist, einen kugelsymmetrischen, stationären Zustand zu modellieren, der dadurch charakterisiert ist, dass die Beschleunigung $\frac{dv}{dt}$ in Richtung auf ein Zentrum weist, mit zunehmender Entfernung von diesem Zentrum abnimmt und im Unendlichen 0 wird.

Das erreichen wir durch folgende metrische Annahme: (m ist ein gegebener Abstand, m > 0)

$$\sigma = \frac{r - m}{r} \qquad (5)$$

– wobei r die Entfernung vom Zentrum O bezeichnet.

Die Motivation für diese Annahme wird im Abschnitt 4.4. klar werden. Wie sich zeigt, ist (r – m)/r die metrische Dichte im Außenraum eines kugelförmigen Raumbereichs, dessen Radius um m Einheiten *verdichtet* – in diesem Sinn also *verkürzt* – worden ist. *Masse* wird dadurch als metrische Verdichtung *definiert* und hat somit die Dimension *Länge*.

(5) nach r differenziert ergibt

$$\frac{d\sigma}{dr} = \frac{m}{r^2} \qquad \text{Nach (1)} \qquad \frac{d\sigma}{dr} = -\frac{1}{c^2}\frac{dv}{dt} \qquad \text{gilt also}$$

$$\boxed{\frac{dv}{dt} = -c^2 \frac{m}{r^2}} \qquad (6)$$

Wird m in (6) als *geometrische Masse* aufgefasst ( $m = \frac{MG}{c^2}$ ), dann ergibt sich

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{MG}{r^2} \qquad (7)$$

Diese Beschleunigung entspricht der *Newtonschen Fallbeschleunigung,* die von einer zentralen Masse M verursacht wird.

Wir bestimmen die Größe des Flusses v. Dazu wird zunächst (1) umgeformt:

$$\frac{d\sigma}{dr} = -\frac{1}{c^2}\frac{dv}{dt} \qquad \rightarrow \qquad d\sigma = -\frac{1}{c^2}\frac{dr}{dt}\, dv$$

Da wir die fortgesetzte Annäherung ans Zentrum O ermitteln, setzen wir $\frac{dr}{dt}$ gleich v.

Es folgt $d\sigma = -\frac{1}{c^2} v\, dv$ (8)

Integration ergibt $\sigma = -\frac{1}{c^2}\frac{v^2}{2} + C$ Nach (5) $\sigma = \frac{r - m}{r}$

gilt somit $1 - \frac{m}{r} = -\frac{1}{c^2}\frac{v^2}{2} + C$

Die Integrationskonstante C ergibt sich aus der Bedingung $v = 0$ für $r \rightarrow \infty$ .

Daraus folgt $C = 1$

Wir erhalten $\frac{v^2}{2} = c^2 \frac{m}{r}$

und schließlich $$\boxed{v = \pm c\sqrt{\frac{2m}{r}}} \qquad (9)$$

(9) entspricht der Newtonschen Gleichung für die Fallgeschwindigkeit (für den Fall aus dem Unendlichen) bei einer geometrischen Masse m ( $m = MG/c^2$ ).

Hier wird v jedoch nicht als *Fallgeschwindigkeit* interpretiert, sondern als *Geschwindigkeit des metrischen Flusses*. Dieser muss die gleiche Richtung haben wie die Beschleunigung in (6). Somit ist in (9) das negative Vorzeichen zu wählen.

***Die metrisch-dynamische Gravitation führt also zu denselben Ergebnissen wie die Newtonsche Näherung, falls die Beschleunigung des räumlichen Flusses mit der Newtonschen Gravitations-beschleunigung identifiziert wird.***

Die Frage ist: *Ist diese Identifikation zulässig?*

Diese Frage stellt sich deshalb, weil die Newtonsche Beschleunigung auf *Objekte* wirkt, während bei der metrisch-dynamischen Gravitation *der metrische Fluss* beschleunigt wird. Daher ist die Gleichsetzung der in den beiden Theorien auftretenden Beschleunigungen nur dann gerechtfertigt, wenn alles, was existiert, an der Beschleunigung dieses Flusses teilnimmt.

Was wir bisher ermittelt haben, legt nahe, dass das tatsächlich der Fall ist. In Kürze:

Im zweiten Kapitel wurden die Gleichungen (0) und (1) vorgestellt. Die Überlegungen, auf denen ihre spezifische Form beruht, sprechen zugleich dafür, sie als Beschreibung des Prozesses zu interpretieren, aus dem die Wirklichkeit hervorgeht.

Gleichung (0) bedeutet, dass die Wirklichkeit ein Gewebe aus metrischen Änderungen von Raum und Zeit ist. Gleichung (1) besagt, dass eine metrische Veränderung der Länge einen metrischen Fluss verursacht, der proportional zur metrischen Dichte der Zeit ist.

Im dritten Kapitel wurden aus diesen Gleichungen mehrere Arten von Wellen mit Licht-geschwindigkeit abgeleitet, darunter metrische Wellen des Raumes und der Zeit, die alle *im metrischen Fluss* v existieren und somit an dessen Beschleunigung teilnehmen.

In demselben Kapitel – im Abschnitt 3.1. – wurde gezeigt, dass es nur Lichtgeschwindigkeit gibt und dass alle anderen Geschwindigkeiten daraus abgeleitet sind. Dadurch erlangen die zuvor abgeleiteten Wellen einen fundamentalen Status. Zuletzt wurde im Abschnitt 3.2. dafür

argumentiert, dass diese Wellen sich auch ins Innere von Objekten fortsetzen und somit auch für die Entstehung der Objekte und deren Fortbestehen verantwortlich sind.

Alle diese Schlussfolgerungen sind Konkretisierungen und Bestätigungen der Annahme, dass alles, was existiert, der metrisch-dynamischen Beschleunigung unterworfen ist.

Somit gilt die soeben abgeleitete Beschleunigung $\frac{dv}{dt}$ nicht nur für den metrischen Fluss, sondern auch für alle darin befindlichen Objekte, und das heißt, dass sie tatsächlich mit der Newtonschen Gravitationsbeschleunigung identifiziert werden kann.

Unsere bisherige Darstellung der metrisch-dynamischen Gravitation ist aber, ebenso wie die Newtonsche Theorie, nur eine Näherung. Der Grund dafür ist, dass wir bis jetzt weder die metrischen Veränderungen berücksichtigt haben noch die Tatsache, dass – von unserem Koordinatensystem aus gesehen – die ***Lichtgeschwindigkeit nicht konstant*** ist: ***die Wellen mit Lichtgeschwindigkeit laufen nicht in unserem Koordinatensystem, sondern im metrischen Fluss*** (siehe Seite 32).

Bezeichnen wir das System, von dem aus wir das Szenario analysieren, mit $S_0$. $S_0$ ist *kein Beobachtersystem* – es ist *nichtrelativistisch*, wir betrachten die Dinge gewissermaßen "von außen" – aber $S_0$ ermöglicht uns die korrekte Sicht auf das Geschehen *im System,* wie sich an den folgenden (bekannten) Beispielen zeigt.

## 4.1. Licht fällt ins Zentrum

Das einfachste Ergebnis, zu dem man durch diese Sichtweise gelangt, folgt unmittelbar aus Gleichung (9):

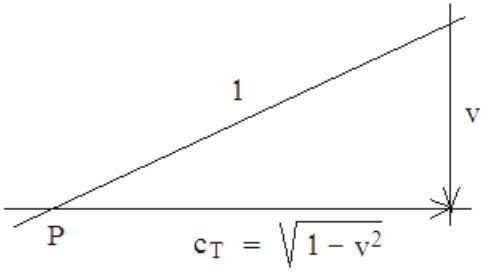
$$v = \pm c\sqrt{\frac{2m}{r}}$$

In $r = 2m$ ist die Geschwindigkeit des Flusses v also gleich der Lichtgeschwindigkeit. Das bedeutet, dass im Abstand 2m vom Mittelpunkt Wellen mit Lichtgeschwindigkeit, die gegen die Flussrichtung laufen, nicht mehr nach außen gelangen, sondern stillstehen.

## 4.2. Geschlossene kreisförmige Bahn des Lichts

In welcher Entfernung vom Gravitationszentrum O beschreibt Licht eine *geschlossene kreisförmige Bahn?*

Zur Bestimmung dieser Entfernung muss die Versetzung der Lichtstrahlen durch den Fluss berücksichtigt werden; die Wellen müssen also – wie ein Schwimmer bei einer Flussüberquerung – gegen den Fluss vorhalten. (Im Folgenden ist c gleich 1 gesetzt.)




(S5)

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 (9)

$$|v| = \sqrt{\frac{2m}{r}}$$

Nach (6) existiert ein Beschleunigungsfeld

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{m}{r^2}$$

In einem System *ohne Fluss* ist die Gleichgewichtsbedingung für eine Kreisbahn bei dieser Beschleunigung

$$\omega^2 r^3 = m \qquad (\omega \text{ Kreisfrequenz})$$

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 *korrigierte* Lichtgeschwindigkeit $c_T$ diesen Wert von $v_T$ annimmt.

Es ist $c_T = \sqrt{1 - v^2} = \sqrt{1 - \frac{2m}{r}}$

Die Gleichgewichtsbedingung lautet daher unter Berücksichtigung des Flusses v

$$c_T = \sqrt{1 - \frac{2m}{r}} = \sqrt{\frac{2m}{r}} \frac{1}{\sqrt{2}}$$

Daraus folgt $1 - \frac{2m}{r} = \frac{m}{r}$

und schließlich $r = 3m$

Wir haben also das bekannte Resultat erhalten.

### 4.3. 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 wird,[11] 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 korrigierte Tangentialgeschwindigkeit ist also in $r - 2m$ erfüllt.

Statt $\omega^2 = \frac{m}{r^3}$ ist daher zu setzen $\omega'^2 = \frac{m}{(r-2m)^3}$

---

[11] Im Abschnitt 3.1. haben wir festgestellt: *Es gibt nur Lichtgeschwindigkeit*. Somit muss jede Bewegung als aus Lichtwegen zusammengesetzt gedacht werden. Daher bleibt der Korrekturfaktor immer gleich. Es werden *immer* Lichtwege korrigiert. Jedes $v < c$, das keine Flussgeschwindigkeit ist, ist ein Interferenzphänomen.

$$\omega'^2 = \frac{m}{(r-2m)^3} = \frac{m}{r^3\,(1-\frac{2m}{r})^3}$$

$$\omega'^2 \approx \frac{m}{r^3}\,(1+\frac{2m}{r})^3 = \omega^2\,(1+\frac{2m}{r})^3$$

$$\omega' \approx \omega\,(1+\frac{2m}{r})^{\frac{3}{2}}$$

$$\frac{\omega'}{\omega} = (1+\frac{2m}{r})^{\frac{3}{2}} = 1 + \frac{3}{2}\frac{2m}{r} + \frac{3}{8}(\frac{2m}{r})^2 + .... \approx 1 + \frac{3m}{r}$$

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.

## 4.4. Der Übergang zur metrischen Sicht

Wir betrachten weiterhin den kugelsymmetrischen Fall. Für die bisher durchgeführten Berechnungen sind wir vom unverzerrten, nichtrelativistischen System $S_0$ ausgegangen. $S_0$ hat uns ermöglicht, die Geschwindigkeit des Flusses und der darin laufenden Lichtwellen direkt abzulesen und davon ausgehend die Ergebnisse einiger Tests der Allgemeinen Relativitätstheorie auf metrisch-dynamische Weise zu rekonstruieren.

Nun werden wir, basierend auf der Änderung der metrischen Dichte $\sigma$, die metrischen Verhältnisse eines lokalen Systems *im Fluss* bestimmen, das wir $S_F$ nennen. Die Gesamtheit der metrischen Verhältnisse aller lokalen Flusssysteme lässt sich zu einem globalen System S zusammenfassen, das relativ zum Zentrum O ruht. (Da sowohl $S_F$ als auch S nichtrelativistisch sind, bleiben beim Übergang von $S_F$ auf S die differenziellen Maßgrößen unverändert.)

Zuletzt werden wir vom (lokalen) nichtrelativistischen Flusssystem $S_F$ auf die metrischen Bedingungen des relativistischen Flusssystems $S'_F$ schließen, von dem aus auf das (globale) relativistische Bezugssystem S' transformiert werden kann, das in Bezug auf O ruht.

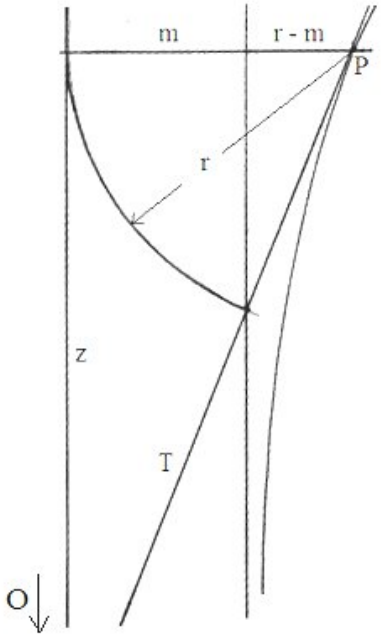
Wir beginnen mit der Definition von σ aus Kapitel 2 (Seite 21):

$$dr = dr'\,\sigma \quad \Leftrightarrow \quad \sigma = \frac{dr}{dr'} \tag{10}$$

Mit (5) $\sigma = \dfrac{r - m}{r}$

ist also $\dfrac{dr}{dr'} = \dfrac{r - m}{r}$ bzw. $dr' = \left(1 - \dfrac{m}{r}\right)^{-1} dr$ (11)

Die folgende Skizze illustriert die metrischen Verhältnisse in S. (dr' entspricht hier dem radialen Differenzial von S und damit zugleich dem von $S_F$)




(S6)

z ist die Achse der Hilfsdimension. P ist ein Punkt auf der Kurve, die die geänderten radialen Maßverhältnisse darstellt. dr' entspricht dem Längendifferenzial auf der Kurve. T ist die Tangente in P.

Wie der Skizze zu entnehmen ist, gilt $(r - m)/r = dr/dr' = \sigma$.

Wir kennen also in jedem Punkt den Anstieg $\frac{dz}{dr}$. Integration ist allerdings nicht möglich – die Kurve liegt "im Unendlichen". Das ist aber ohne Bedeutung – die Skizze dient nur der Illustration.

Aus der Skizze (S6) 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' 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:

$$r' = r - m$$

Das heißt, in S "fehlen" dem Abstand von O m Einheiten. Die metrische Dichte $\sigma$ gibt also das Verhältnis des Abstands PO *nach* der metrischen Änderung zu dem *vorher* an (gemessen in den im jeweiligen System gültigen Einheiten):

$$\sigma = \frac{r - m}{r} = \frac{r'}{r} \qquad (12)$$

Aus metrisch-dynamischer Sicht bedeutet diese Verkürzung des Abstandes vom Mittelpunkt O, dass der Radius eines kugelförmigen Raumbereichs um m Einheiten *verdichtet* ist. *Masse* als Ursache des dadurch erzeugten metrischen Flusses wird auf diese Weise als *metrische Verdichtung* **definiert**:

Ein Objekt, das die geometrische Masse m hat, verursacht eine metrische Verdichtung des Raumbereichs, den es einnimmt. Falls dieser Raumbereich kugelförmig ist, erscheint sein Radius – vom Außenraum aus gesehen – um m Einheiten verkürzt; jeder Abstand vom Mittelpunkt verringert sich um m Einheiten.

### 4.5. Die Schwarzschild-Metrik

Nun vollziehen wir den Übergang auf ein relativ zu O ruhendes relativistisches Beobachtersystem S'.

Da die Flussgeschwindigkeit bekannt ist, könnte von einem lokalen mitfließenden relativistischen System $S'_F$ auf das System S' transformiert werden. Dazu wird jedoch die Länge des Differenzials $dr'_F$ von $S'_F$ benötigt. Wie ermittelt man diese Länge?

Das radiale Differenzial des nichtrelativistischen mitfließenden Systems $S_F$ haben wir soeben bestimmt:

Es gilt nach (11) $$dr_F = \left(\frac{r - m}{r}\right)^{-1} dr = \left(\frac{r'}{r}\right)^{-1} dr \qquad (13)$$

Der Faktor, durch den $dr_F$ festgelegt ist, ist der Quotient des radialen Abstands *ohne* Gravitation ( = r) und *mit* Gravitation ( = r – m).

Also ist jetzt zu fragen: Wie ändert sich dieser Faktor beim Übergang vom nicht-relativistischen Flusssystem $S_F$ zum relativistischen Flusssystem $S'_F$? Wenn der Abstand eines Punktes P von O in Bezug auf $S_F$ 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 mitfließenden, nun relativistisch betrachteten System 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 fehlen dem Kontinuum also nicht m, sondern 2m Einheiten.[12]

Beim Übergang von $S_F$ auf $S'_F$ ist daher im Faktor, durch den $dr_F$ definiert ist, die Größe m durch 2m zu ersetzen. Dann entspricht dieser Faktor wieder dem Verhältnis des Abstands PO *nach* der metrischen Änderung zu dem *vorher*. Es ergibt sich also:

$$dr'_F = \left(1 - \frac{2m}{r}\right)^{-1} dr \qquad (14)$$

[12] Die Schwarzschildmetrik, die ja unser Ziel ist, kann tatsächlich dadurch charakterisiert werden, dass von jedem lokalen System aus gesehen dem Abstand zum Zentrum 2m Einheiten fehlen.

Die Definition von σ muss nun allerdings – nach dem Übergang auf eine relativistische Sichtweise – aufgegeben werden. In einem relativistischen Bezugssystem ist σ keine metrische Dichte.

Nun kann (für jedes r mit r > 2m) das radiale Differenzial des relativ zu O ruhenden Beobachtersystems S' bestimmt werden.

Dies geschieht einfach dadurch, dass das Längendifferenzial von $S'_F$ mit dem Faktor $k = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ der Lorentztransformation multipliziert wird.

Es gilt $$v = \pm c\sqrt{\frac{2m}{r}}$$

Somit ist $$k = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = \sqrt{1-\frac{2m}{r}} \qquad (15)$$

Wir erhalten dann für das radiale Längendifferenzial dr' von S'

$$dr' = dr'_F\, k = dr\,(1-\frac{2m}{r})^{-1}\,(1-\frac{2m}{r})^{\frac{1}{2}} = dr\,(1-\frac{2m}{r})^{-\frac{1}{2}} \qquad (16)$$

Das Zeitdifferenzial dt' von S' lässt sich aus den Berechnungen ermitteln, die wir in diesem Abschnitt durchgeführt haben. Z.B. folgt aus *4.2. Geschlossene kreisförmige Bahn des Lichts* (siehe Skizze (S5) auf Seite 40), dass für konstante Lichtgeschwindigkeit in S' das Zeitintervall Δt, das Licht für seinen Weg benötigt, um den Faktor k verkleinert werden muss. Also ist

$$dt' = dt\,k = dt\,(1-\frac{2m}{r})^{\frac{1}{2}} \qquad (17)$$

Die Metrik des Gesamtsystems S' entspricht der Schwarzschildmetrik:

Seien r und φ Polarkoordinaten. Dann ist

$$ds^2 = (1 - \frac{2m}{r})\,dt^2 - (1 - \frac{2m}{r})^{-1}\,dr^2 - r^2\,d\varphi^2 \qquad (18)$$

(18) gilt für eine beliebige Ebene durch O.

($r\,d\varphi$ bleibt gleich. Das normal zu r liegende Differenzial wurde nicht verändert.)

### 4.6. Das universelle metrische Flussfeld

Bisher wurde nur das Szenario mit einer einzigen zentralen Masse diskutiert. Ich werde nun kurz den allgemeinen Fall skizzieren.

Falls das Gravitationsfeld nicht nur von einer Masse verursacht wird, sondern von vielen Massen, die in einer metrischen Struktur (einem Universum) verteilt sind, gilt Folgendes:

Jede geometrische Masse m übt auf ein metrisches Element (ein Differenzial) im Abstand r eine Beschleunigung aus, die exakt $c^2 m/r^2$ beträgt. Im Unterschied zur Newtonschen Theorie breitet sich die gravitative Wirkung mit Lichtgeschwindigkeit aus.

Zur Ermittlung der Flusslinien – der Wege des metrischen Flusses – müssen zunächst die Punkte bestimmt werden, wo die Gesamtbeschleunigung (die Summe der von allen Massen ausgehenden Beschleunigungen) gleich 0 ist. Wenn in einem solchen Punkt die nach außen gerichtete Beschleunigung in jeder (möglichen) Richtung mit dem Abstand zunimmt,[13] dann ist dieser Punkt eine *Quelle* des universellen Flussfeldes.[14]

Diese Quellen sind die Ausgangspunkte der Flusslinien. Eine Teilmenge der Flusslinien endet (möglicherweise) in *Senken,* d.h. in den Singularitäten im Inneren schwarzer Löcher. Eine weitere Teilmenge setzt sich in den elementaren Objekten fort, die den metrischen Fluss verursachen.

Die metrischen Elemente, die sich entlang der Flusslinien bewegen, verhalten sich wie Massenpunkte im Newtonschen Gravitationsfeld: die Flussgeschwindigkeit in einem bestimmten

[13] Diese Zusatzbedingung ist erforderlich, weil es, wie wir später sehen werden, Punkte mit Gesamtbeschleunigung 0 gibt, die *keine* Quellen sind.

[14] Die Flussgeschwindigkeit beginnt in diesen Punkten allerdings immer mit dem Wert 0. Es gibt also keinen wirklichen "Zufluss".

Punkt ist immer das Integral über die Beschleunigung entlang der Flusslinie von der Quelle bis zu diesem Punkt.

Auf Grund von Gleichung (1) [ $\frac{d\sigma}{dr} = -\frac{1}{c^2}\frac{dv}{dt}$ ] und der Definition $\sigma = dr/dr'$ gehört zu jeder Flussgeschwindigkeit v ein bestimmtes, im Fluss gültiges Längendifferenzial dr'(v). Folgendermaßen:

Aus $\sigma = 1 - \frac{m}{r}$ und $\frac{v^2}{c^2} = \frac{2m}{r}$

folgt $\frac{v}{c} = \pm\sqrt{2}\sqrt{1-\sigma}$ (19)

($\sigma$ kann alle reellen Werte annehmen, v alle reellen und imaginären Werte. 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, siehe Kapitel 5), dann ist v imaginär. Bis auf das Vorzeichen von v ist die Zuordnung umkehrbar eindeutig.)

Mit $\sigma = \frac{dr}{dr'}$ folgt

$$dr' = dr\,(1 - \frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2})^{-1} \quad (20)$$

Beim Übergang zur relativistischen Darstellung gilt *im Fluss*

$$dr_F = dr\,(1 - \frac{v^2}{c^2})^{-1} \quad (21)$$

und für einen ruhenden Beobachter (der sich relativ zum Fluss mit – v bewegt)

$$dr_B = dr\,(1 - \frac{v^2}{c^2})^{-1/2} \quad (22)$$

Für das Zeitdifferenzial $dt_B$ ergibt sich

$$dt_B = dt\,(1 - \frac{v^2}{c^2})^{1/2} \qquad (23)$$

Das Längendifferenzial *normal* zur Flussrichtung bleibt unverändert.

Im kugelsymmetrischen Fall sind diese Differenziale identisch mit denen der Allgemeinen Relativitätstheorie. Im allgemeinen Fall weicht jedoch die Metrik, die sich aus dem metrisch-dynamischen Modell ergibt, von der aus der Allgemeinen Relativitätstheorie errechneten ab, wie gleich anschließend gezeigt wird.

Wir haben (19), (21) und (23) aus dem kugelsymmetrischen Fall ermittelt, aber es ist klar, dass (19) bis (23) allgemein gelten, nicht nur im kugelsymmetrischen Fall, da es ja gleichgültig ist, ob die Beschleunigung, die ein metrisches Element erfahren hat, von einer einzigen Masse stammt oder von vielen Massen.

Auf diese Weise kann, wenn die Geschwindigkeit des Flusses bekannt ist, vom lokalen Flusssystem auf ein lokales Beobachtersystem 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 (wie wir das zuvor im kugelsymmetrischen Fall durchgeführt haben).

**Bemerkung:**

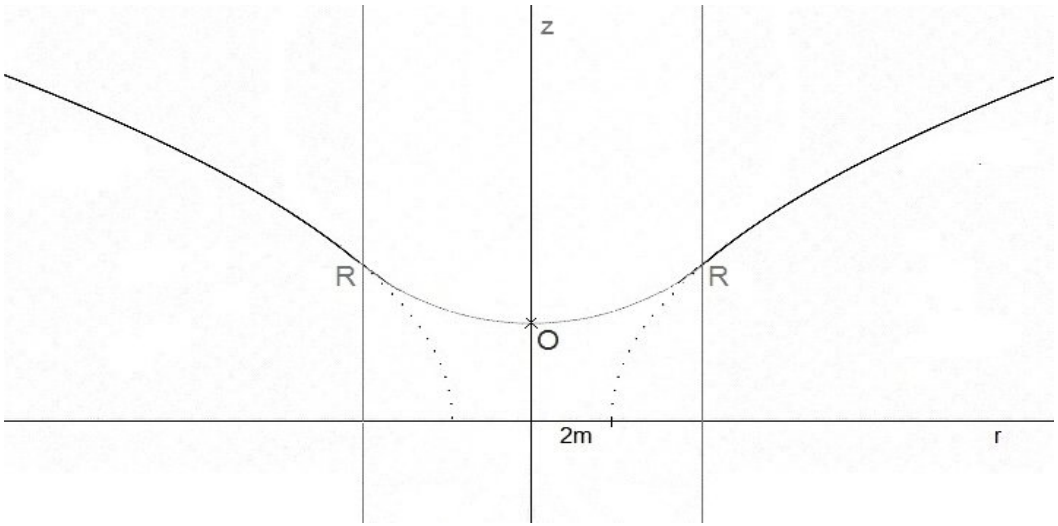
Grundsätzlich gelten (19) bis (23) auch für $v > c$, also – wegen $v/c = (2m/r)^{1/2}$ – für $r < 2m$, d.h. im Inneren schwarzer Löcher. Natürlich gibt es dort kein statisches "Beobachtersystem", aber möglicherweise lässt sich auf diese Weise Information über den inneren Bereich gewinnen. Ich habe das nicht weiter verfolgt.

## 4.7. Unterschiede zwischen Allgemeiner Relativitätstheorie (AR) und metrisch-dynamischer Gravitation (MDG)

Im kugelsymmetrischen Fall einer einzigen nicht-rotierenden Masse – d.h. im Fall der Schwarzschildlösung der AR – stimmen AR und MDG überein.[15] Überraschenderweise besteht diese Übereinstimmung jedoch *ausschließlich* in diesem Fall, und auch hier nur hinsichtlich der Außenraumlösung.

Beginnen wir mit der Innenraumlösung. Sei R der Radius einer (geometrischen) Masse m, die im Koordinatenursprung O ruht. r ist der Abstand von O, z ist die Achse der Hilfsdimension.

Die Skizze (S7) illustriert die metrischen Verhältnisse gemäß der AR:




(S7)

Außerhalb der beiden Punkte R sind die beiden Äste der Schwarzschild-Parabel zu sehen. Zwischen diesen beiden Punkten liegt der Kreisbogen der Innenraumlösung (für konstante Dichte).

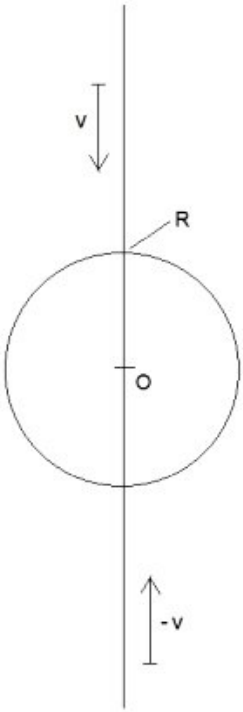
[15] Falls die Masse rotiert, weichen die Resultate beider Theorien voneinander ab, wie wir später bei der Diskussion der Galaxienrotation zeigen werden.

Der Anstieg der Kurve, die die geänderten Maße darstellt, ist in O gleich 0. Das radiale Differenzial $dr_E$ ist in O also gleich dem Längendifferenzial im massefreien Raum.

In R, an der Oberfläche der Masse, ist die Länge des radialen Differenzials $dr_E$ maximal. Mit fortschreitender Annäherung an O nimmt diese Länge ab, bis sie in O den kürzestmöglichen Wert annimmt – den des unverzerrten Raums.

Im Gegensatz dazu verhält es sich in der MDG wie folgt.

Wir betrachten zunächst dieselbe Masse m von außen (im normalen Raum)




(S8)

Von oben *und* von unten aus dem Unendlichen kommend existiert ein metrischer Fluss v(r). Der Grundannahme der MDG entsprechend unterliegt dieser Fluss der Beschleunigung $c^2m/r^2$. Die

Bewegung des metrischen Elements (des Differenzials) ist also identisch mit der Bewegung eines Massenpunktes in der Newtonschen Theorie. Im Außenraum – bis zu R – führt das, wie weiter oben demonstriert, zu einem radialen Differenzial $dr_B$ des lokalen Beobachtersystems, das mit dem aus der AR errechneten Differenzial $dr_E$ übereinstimmt.

Von R bis zu O hin wird der metrische Fluss nun aber weiter beschleunigt, bis er in O seine maximale Geschwindigkeit erreicht. (Er bewegt sich zwischen den Atomkernen, wie in einem Gravitationstunnel). Erst jenseits von O verringert sich seine Geschwindigkeit, bis sie schließlich mit $r \rightarrow \infty$ wieder den Wert 0 erreicht.

Wie aus (22) ersichtlich $\left[ dr_B = dr \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} \right]$, wird aber das radiale Differenzial $dr_B$ mit zunehmender Flussgeschwindigkeit immer länger. Daraus folgt, dass dieses Differenzial in O seine maximale Länge erreicht – im Gegensatz zur AR, wo es in O minimal ist und seine maximale Länge in R annimmt, wie wir soeben festgestellt haben.

Durch das in (S8) dargestellte Szenario wird auch klar, warum es notwendig ist, zwischen dem ***Raum selbst*** und seiner ***metrischen Struktur*** zu unterscheiden: Entlang der senkrechten Geraden durch O existieren in jedem Punkt ***zwei Flüsse:*** v(r) und –v(r), die gleich groß und einander entgegengesetzt sind.

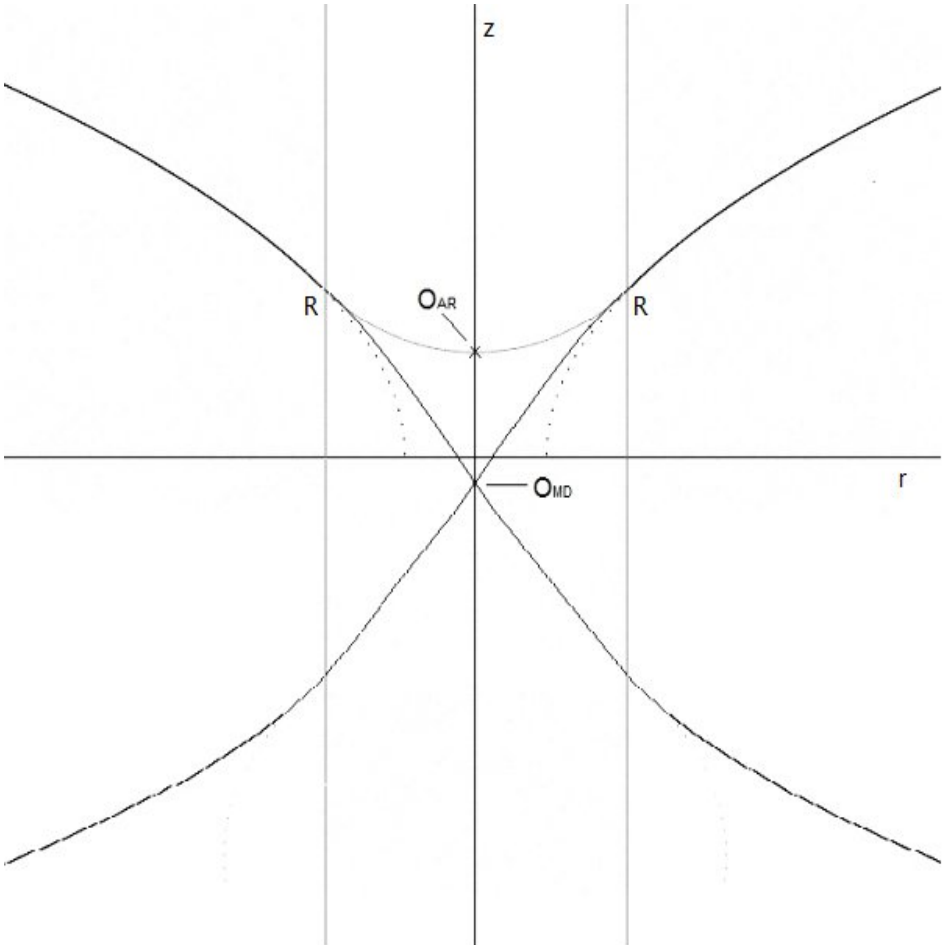
Wäre v ein *Fluss des Raumes*, dann wäre die Behauptung zweier entgegengesetzter Flüsse im selben Punkt unsinnig. Da es sich aber um einen *Fluss der Metrik* handelt, gibt es kein Problem: die einzige Bedingung ist, dass beide Flüsse in Bezug auf die ***Metrik des lokalen Beobachtersystems*** zu denselben Resultaten führen. Diese Bedingung ist hier offensichtlich erfüllt.[16]

(Es ist wichtig, zu beachten, dass die beiden symmetrischen Fluss-Systeme *nicht-relativistisch* und daher für die übliche Art der Transformation ungeeignet sind.)

Die nächste Skizze zeigt die Gegenüberstellung der radialen metrischen Verhältnisse bei AR und bei MDG:

---

[16] Es gilt aber nicht nur hier, sondern ganz allgemein: Falls sich die Flusslinien in irgendeinem Punkt treffen, dann sind die Beträge der Flussgeschwindigkeiten in jedem Fall identisch, da die metrischen Elemente immer dieselbe Potenzialdifferenz durchquert haben: von der Quelle mit dem Wert 0 bis zum Punkt des Aufeinandertreffens (siehe 4.6. *Das universelle metrische Flussfeld*).




(S9)

Oben die Kurve gemäß der AR wie in (S7). Sie führt durch den Mittelpunkt $O_{AR}$.

Die beiden Kurven, die sich aus der MDG ergeben, sind außerhalb der Masse identisch mit der Kurve der AR, d.h. mit der Schwarzschildparabel. Im Innenraum weichen sie jedoch von der Kurve der AR ab: Da der metrische Fluss v bis zum Mittelpunkt $O_{MD}$ zunimmt, wird auch der Anstieg der Kurven größer. Erst jenseits von $O_{MD}$ nimmt der Anstieg wieder ab – das radiale Differenzial $dr_B$ wird kürzer.

Der Unterschied zwischen dem Anstieg der Kurve in $O_{AR}$ – der dort gleich 0 ist – und dem Anstieg der beiden Kurven in $O_{MD}$ macht deutlich, wie stark sich die radialen Differenziale beider Theorien in diesem Punkt voneinander unterscheiden.

Betrachten wir nun das Zeitdifferenzial der Innenraummetrik. Für konstante Dichte existiert eine exakte Lösung der Feldgleichungen der AR: (R Radius der Masse, r Abstand vom Mittelpunkt)

$$dt_E(r) = dt\,[\,\frac{3}{2}(1 - \frac{2m}{R})^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{2}(1 - \frac{2m}{R}\frac{r^2}{R^2})^{\frac{1}{2}}\,] \qquad (24)$$

Wir werden wieder die Werte vergleichen, die sich aus den beiden Theorien für das in O gültige dt ergeben. Zunächst zur AR. Mit r = 0 folgt aus (24):

$$dt_E(O) = dt\,[\,\frac{3}{2}(1 - \frac{2m}{R})^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{2}\,] \qquad (25)$$

Als Bezugskörper wählen wir diesmal die Erde. Ich habe die Werte für dt näherungsweise berechnet. (2m = 8,8 mm, R = 6370 km)

Nach der AR ergibt sich für das Zeitdifferenzial an der Oberfläche dt(R) und für das Zeitdifferenzial im Mittelpunkt dt(0) Folgendes: (dt ist das Zeitdifferenzial im massefreien Raum)

$$dt(R) = 0{,}99999999931\ dt$$

$$dt(0) = 0{,}99999999896\ dt$$

In der MDG gilt für das Zeitdifferenzial nach (23):

$$dt_B = dt\,(1 - \frac{v^2}{c^2})^{\frac{1}{2}}$$

Für v habe ich folgende Werte angenommen:

v an der Erdoberfläche: $v(R) = 11{,}1$ km/s

v im Erdmittelpunkt: $v(0) = 19$ km/s

Es ergibt sich:

| | |
|---|---|
| dt(R) = 0,99999999932 dt | (vgl. AR: dt(R) = 0,99999999931 dt ) |
| dt(0) = 0,99999999799 dt | (vgl. AR: dt(0) = 0,99999999896 dt ) |

Das Zeitdifferenzial dt(R) ist, wie zu erwarten, in beiden Theorien identisch. Im Mittelpunkt unterscheiden sich die beiden Zeitdifferenziale dt(0) in der neunten Dezimale. Deutlicher ist der Unterschied hinsichtlich der Verlangsamung der Zeit auf dem Weg von der Erdoberfläche zum Erdmittelpunkt. Aus der AR ergibt sich

$$dt(R) - dt(0) = 0{,}00000000035\ dt = 35\ 10^{-11}\ dt$$

Hingegen folgt aus der MDG

$$dt(R) - dt(0) = 0{,}00000000133\ dt = 133\ 10^{-11}\ dt$$

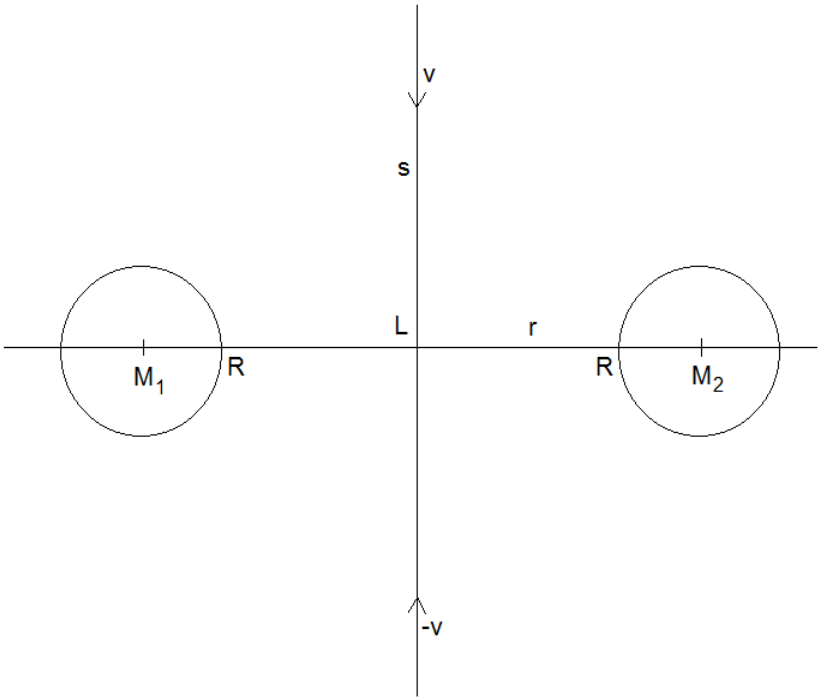
Die Differenz zwischen dem Zeitvergehen an der Oberfläche und dem Zeitvergehen im Mittelpunkt ist also bei der MDG wesentlich größer als bei der AR.

Ich habe diese Werte aus zwei Gründen berechnet: Erstens um eine Vorstellung von ihrer Größenordnung zu vermitteln, und zweitens, weil sich hier der Unterschied zwischen AR und MDG experimentell überprüfen lässt. Natürlich nicht im Erdmittelpunkt, sondern an irgendeinem Ort unter Meeresniveau, wodurch sich der Unterschied noch um einige Dezimalen nach hinten verschiebt. Erste Schätzungen lassen aber vermuten, dass die verbleibende Differenz experimentell erfasst werden kann.[17]

Soviel zum Unterschied zwischen AR und MDG in Bezug auf die Innenraumlösung der Schwarzschildmetrik. Wenden wir uns nun den Unterschieden zu, die im Fall mehrerer Massen auftreten.

Wir beginnen mit folgendem Beispiel – dem einfachsten Fall mit nur zwei Massen:

[17] Das Experiment müsste genau dem Mößbauer-Experiment von Robert Pound und Glen Rebka entsprechen, nur eben unterhalb des Meeresspiegels, da es ja um die Metrik des *Innenraums* der Erde geht.




(S10)

$M_1$ und $M_2$ sind zwei gleich große Massen. Wir betrachten zunächst den metrischen Fluss v entlang der Symmetrieachse s, die durch den Massenmittelpunkt L verläuft.

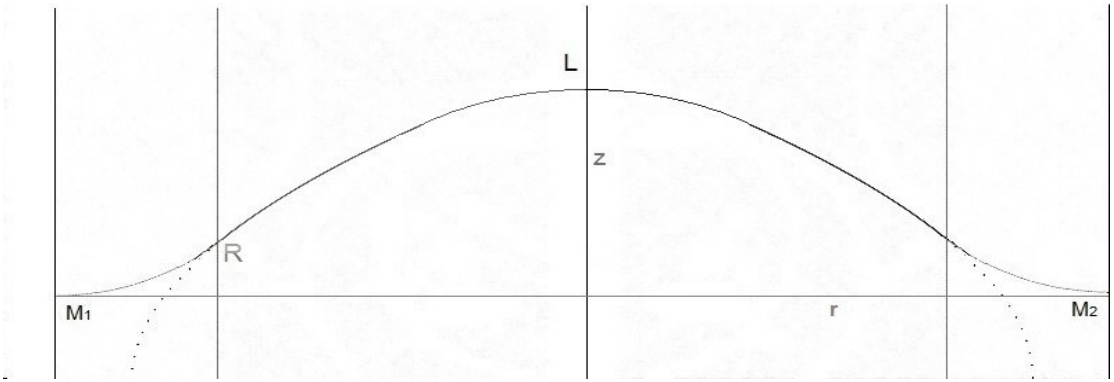
Die Situation ist ähnlich der zuvor diskutierten: Auch hier gibt es einen metrischen Fluss v, der – aus dem Unendlichen kommend – bis zu L beschleunigt wird, dort sein Maximum erreicht und sich danach verringert, bis er im Unendlichen wieder 0 wird, *und* einen entgegengesetzten Fluss –v, für den dasselbe gilt. Der Betrag beider Flüsse ist in jedem Fall identisch, sodass die Berechnung der lokalen Metrik von beiden Flüssen aus immer zum gleichen Ergebnis führt.

Die beiden Flusssysteme entsprechen den frei fallenden Systemen, mit denen Einstein das verallgemeinerte Äquivalenzprinzip demonstriert hat, das besagt, dass nicht nur gleichförmig bewegte Systeme, sondern auch frei im Gravitationsfeld fallende Systeme (lokal) ununterscheidbar sind. In der AR ist dies eines der Prinzipien, auf denen der mathematische Formalismus beruht.

Die MDG bietet dagegen eine "direkte" Erklärung für diesen Sachverhalt: Das frei (aus dem Unendlichen mit Anfangsgeschwindigkeit 0) fallende System ruht hier *tatsächlich* im Raum, der es umgibt, weil dieser Raum, als metrischer Raum verstanden, *selbst* mit der gleichen Geschwindigkeit fließt – auf diese Weise ist ja Gravitation in der MDG definiert. Einen Körper im Gravitationsfeld am selben Ort zu halten, bedeutet daher, der Beschleunigung des metrischen Flusses entgegen zu wirken. Mit anderen Worten: *Schwere **ist** Trägheit.*

Trotz dieser konzeptionellen Übereinstimmung weichen aber auch im Szenario (S10) AR und MDG voneinander ab. In der AR ist das Längendifferenzial ds in L gleich dem des unverzerrten Raums, während es in der MDG nach (22) [ $dr_B = dr\,(1 - \frac{v^2}{c^2})^{-1/2}$ ] in L seine maximale Länge erreicht, da hier die Flussgeschwindigkeit v am größten ist.

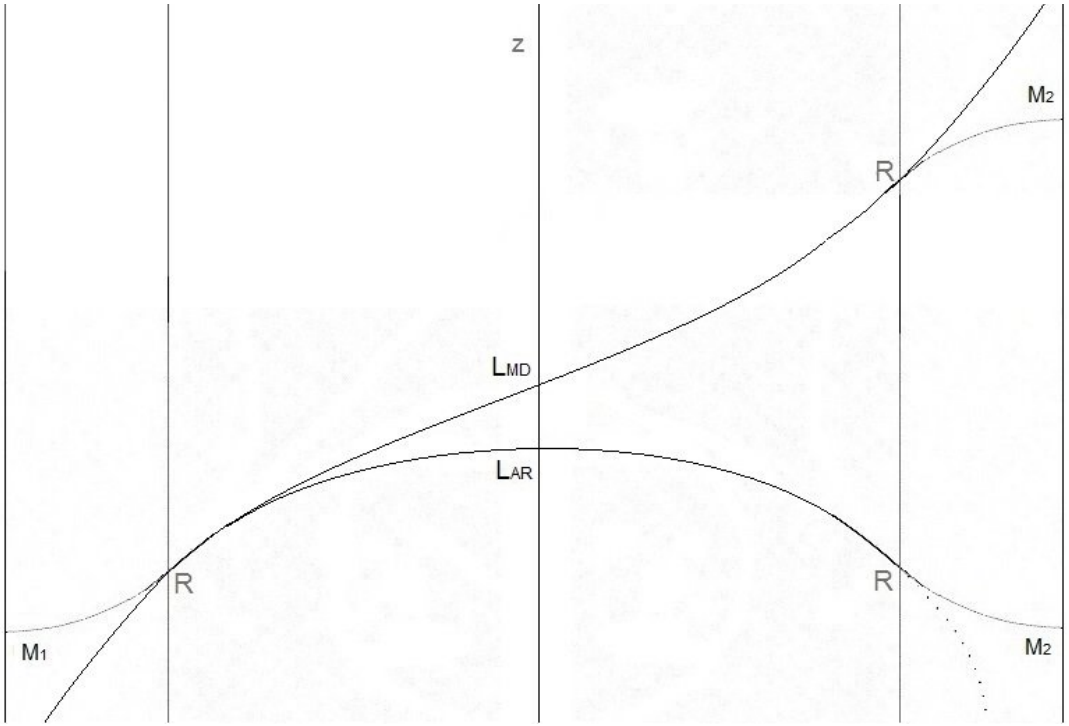
Richten wir nun unsere Aufmerksamkeit auf den metrischen Fluss entlang der Koordinate r. Betrachten wir zunächst die metrischen Verhältnisse gemäß der AR in der Darstellung durch eine Hilfsdimension z:




(S11)

Links beginnend zunächst die Kurve der Innenraummetrik, dann – ab R – die Schwarzschildparabel. Von rechts kommend eine dazu symmetrische Kurve. Zu L hin müssen sich die Anstiege der beiden Kurven dem Wert 0 annähern, damit in L der Anstieg definiert ist. Somit entspricht also das Differenzial dr in L dem Längendifferenzial des unverzerrten Raums.

Jetzt wieder zur Gegenüberstellung von AR und MDG:




(S12)

Links unten beginnend bis zu R hin zeigt die Kurve zunächst die Innenraummetrik der MDG, dann entspricht sie in guter Näherung der Schwarzschildparabel. Dann weicht aber die Kurve der MDG von der Kurve der AR ab: zwar wird auch hier der Anstieg bis zu $L_{MDG}$ kleiner, da die Geschwindigkeit v(r) des metrischen Flusses abnimmt, solange der Abstand von $M_1$ kleiner ist als der von $M_2$, aber der Anstieg wird nicht 0, da v(r) in $L_{MDG}$ natürlich nicht verschwindet.

Damit in $L_{MDG}$ der Anstieg definiert bleibt, muss man bei der graphischen Veranschaulichung, wie in der Skizze gezeigt, bei Annäherung an $M_2$ auf den unteren Ast der Schwarzschildparabel des Feldes von $M_2$ übergehen.

Schon durch dieses einfache Beispiel wird also klar, dass sich AR und MDG im allgemeinen Fall voneinander unterscheiden. Wir werden diese Unterschiede aber nun nicht weiter analysieren, sondern uns direkt der Frage zuwenden, wie sie sich auf die Berechnung der Galaxienrotation auswirken.

**Bemerkung:**

Bevor wir uns unserem eigentlichen Problem zuwenden, noch eine kurze Anmerkung zur Frage, wodurch die metrisch-dynamische Gravitation eigentlich verursacht wird.

Rein formal haben wir diese Frage schon beantwortet: Ursache ist die Änderung der metrischen Dichte σ. Falls dies die einzig mögliche Antwort wäre, dann hätte die metrisch-dynamische Gravitationstheorie hinsichtlich der Frage nach dem "Warum" denselben Status wie die Theorien Newtons und Einsteins: Bei Newton bleibt offen, warum Massen sich gegenseitig anziehen, bei Einstein fehlt die Begründung, warum Masse die Raumzeit krümmt. Und da bei beiden Theorien die Masse bloß *durch Erfahrung* mit der jeweiligen Wirkung (Anziehung bzw. Raumzeit-krümmung) verknüpft ist und nicht durch einen logischen Zusammenhang, ist es in beiden Fällen unmöglich, einen Grund für die gravitative Wirkung der Masse anzugeben.

Hingegen existiert bei der metrisch-dynamischen Gravitation ein solcher logischer Zusammenhang: Zunächst ist klar, dass die Zunahme der metrischen Dichte σ in einem räumlichen Bereich zu einer Abnahme von σ außerhalb dieses Bereichs führt. Daraus folgt, dass ein Objekt deshalb Gravitation ausübt, weil es in dem von ihm eingenommenen Raumbereich eine metrische Verdichtung bewirkt.

Nehmen wir an, das Objekt sei kugelförmig und habe die geometrische Masse m. Dann ist die Kugelfläche, die das Objekt begrenzt, im Vergleich mit dem Zustand ohne die metrische Verdichtung um m Einheiten nach innen gerückt, und daraus folgt, dass sich im Außenraum genau der stationäre Zustand einstellt, den wir zuvor abgeleitet haben. Ein schwarzes Loch ergibt sich, wenn dieses Objekt auf den Radius 0 verdichtet wird – wobei zu beachten ist, dass es sich um eine "metrische Verdichtung" handelt, die nur in Bezug auf das *im System* gültige Längenmaß gilt. Bezogen auf das äußere Maß (wo σ = 1 gilt) bleibt der Radius des schwarzen Lochs gleich m. (Bei relativistischer Betrachtung wird m zu 2m.)

Fragen wir uns zuletzt, wie eine solche metrische Verdichtung entstehen könnte. Die einfachste Möglichkeit bestünde in der Annahme hinreichend großer Wellenamplituden: sie hätten eine Verringerung der Wellenlänge zur Folge, was bereits gleichbedeutend mit einer metrischen Verdichtung wäre – allerdings nur bei Transversalwellen, sodass der Elektromagnetismus einbezogen werden müsste. Ich glaube allerdings nicht, dass es so einfach sein wird.

**Bemerkung:**

Die Behauptung einer Zunahme der metrischen Dichte σ als Ursache der Gravitation scheint im Widerspruch zu der soeben diskutierten Innenraummetrik zu stehen: Wie in (S9) dargestellt, ist die

metrische Dichte im Inneren der Masse nicht größer, sondern kleiner als im Außenraum, und zum Zentrum hin nimmt sie immer weiter ab. Dieser Widerspruch löst sich wie folgt auf:

Wir haben zwar, der Tradition folgend, von einer "Innenraummetrik" gesprochen, aber bezüglich der Objekte, die *tatsächlich* die Gravitation verursachen – also der Atomkerne – befinden wir uns natürlich nach wie vor *im Außenraum*. Die eigentliche Verdichtung kann aber nur im Innenraum derjenigen Objekte stattfinden, von denen die gravitative Wirkung ausgeht. (Es kann hilfreich sein, sich das frei aus dem Unendlichen fallende System auf seinem Weg durch das Erdinnere in einem Gravitationstunnel vorzustellen, d.h. in einem zylindrischen Schacht durch den Erdmittelpunkt.)

In der MDG sind die Bezeichnungen "konstante Dichte" und "Innenraummetrik" also irreführend.

## 4.8. Die Rotationsgeschwindigkeit von Galaxien

Zunächst eine ganz kurze Zusammenfassung des Sachverhalts:

Im inneren Bereich von Galaxien stimmen die beobachteten Geschwindigkeiten der Sterne mit den nach Newton oder Einstein zu erwartenden überein. Im äußeren Bereich nehmen die Geschwindigkeiten aber nicht wie in Sonnensystemen ab, sondern bleiben annähernd gleich.

Dafür gibt es nur zwei mögliche Erklärungen: a) Es gibt unsichtbare Massen, b) Unsere Gravitationstheorien sind falsch.

Zu a): Seit mehr als 40 Jahren wird versucht herauszufinden, was diese "dunkle Materie" sein könnte. Das Standardmodell der Teilchenphysik wurde auf mögliche Kandidaten untersucht – ohne hinreichenden Erfolg. Auch das überreiche Angebot an spekulativen Teilchen der Supersymmetrie hat im Large Hadron Collider und anderswo zu keinen Ergebnissen geführt. Für die Modelle und Simulationen, die auf dunkler Materie beruhen, ist das natürlich von Vorteil: Es kann weiterhin völlig frei über alle Parameter verfügt werden. Aber eigentlich ist die Lage wohl eher deprimierend.

Zu b): Da die Rotationsgeschwindigkeit, wie gesagt, bis zu einer gewissen Entfernung vom Zentrum mit Newtons Theorie bzw. mit der AR übereinstimmt und erst weiter außen davon abweicht, bietet sich die Möglichkeit, Newtons und Einsteins Gesetz so zu modifizieren, dass sich diese Modifikation erst in größerem Abstand signifikant auswirkt, d.h. im Bereich sehr schwacher Gravitation. In Newtons Gleichung fällt die Kraft dann mit dem Abstand nicht mehr quadratisch, sondern nur noch linear ab, und in Einsteins Gleichung wird derselbe Effekt durch mehrere Tensoren erreicht – dabei nützt man die mathematische Freiheit, die schon Einstein das Hinzufügen

seiner "kosmologischen Konstante" ermöglicht hat. Nun ist es zwar legitim, ein Gesetz mit minimalem Aufwand so an die Beobachtungen anzupassen, dass es mit ihnen übereinstimmt, aber es ist doch eine Ad-hoc-Aktion, die so lange fragwürdig bleibt, bis sie durch allgemeine Prinzipien begründet werden kann.

Die wichtigsten Szenarien im Universum sind diese beiden: Sonnensysteme und Galaxien. Die Theorien, durch die wir sie beschreiben, sind in Sonnensystemen gültig, aber in Galaxien sind sie nicht einmal Näherungen, sondern einfach grob falsch – es sei denn, wir nehmen an, es existiere dunkle Materie. Wie es scheint, stehen wir vor einer unattraktiven Alternative; gewissermaßen befinden wir uns in einer lose-lose-Situation – allerdings nur solange wir das Problem nach unserem bisherigen Verständnis von Gravitation beurteilen: aus Sicht der MDG stellt sich die Lage nämlich ganz anders dar. Hier wird es schon auf Basis einfacher Überlegungen klar, dass eine wesentlich größere Rotationsgeschwindigkeit zu erwarten ist als nach Newtons oder Einsteins Theorie:

In der MDG werden die metrischen Elemente auf die Massen hin beschleunigt – man könnte sagen: *sie folgen den Massen*. Es ist also eigentlich selbstverständlich, dass sich im Fall von Galaxien, wo der Großteil der Gesamtmasse rotiert, auch eine Rotation der Metrik ausbildet. Wie wir gezeigt haben, gilt aber auch, dass *die Massen der Metrik folgen.* Und das bedeutet, dass die Rotationsgeschwindigkeit der Massen durch die Rotation der Metrik vergrößert wird.

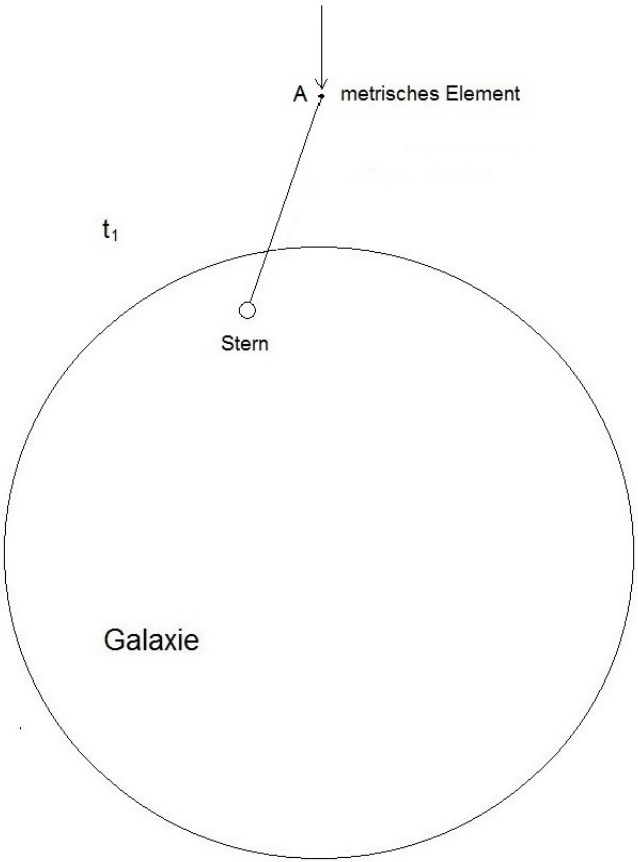
Ich werde daher die Argumentation in zwei Schritten durchführen: Zunächst werde ich etwas ausführlicher zeigen, dass aus den Annahmen, auf denen die MDG beruht, geschlossen werden muss, dass bei Galaxien die Metrik – oder sagen wir der Einfachheit halber: der *Raum selbst* rotiert, und danach werde ich dafür argumentieren, dass diese Rotation des Raumes zu der nach Newtons oder Einsteins Theorie berechneten Rotationsgeschwindigkeit der Sterne addiert werden muss.

Betrachten wir eine Galaxie von einem Punkt auf der Rotationsachse:

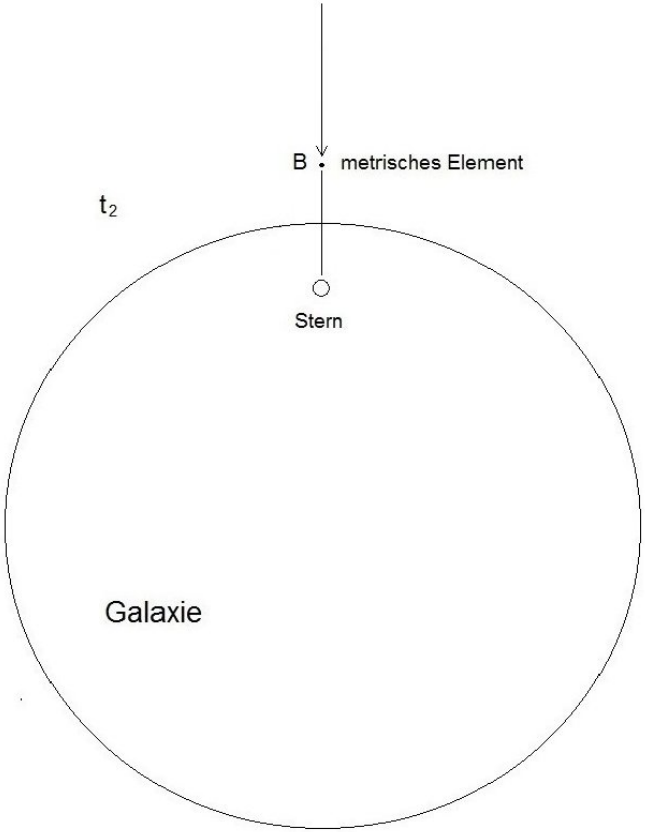
(S13): Zum Zeitpunkt $t_1$ befindet sich im Punkt A ein metrisches Element, das – aus dem Unendlichen frei fallend – in der Rotationsebene auf die Galaxie hin beschleunigt wird. (Die endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit der Gravitation spielt beim folgenden Gedankengang keine Rolle. Wir können sie also außer Acht lassen.) Abgebildet ist außerdem einer der Sterne der Galaxie.

(S14): Zum Zeitpunkt $t_2$ ist das metrische Element nach B gelangt. Der Stern befindet sich nun genau auf der Geraden durch B und das galaktische Zentrum.

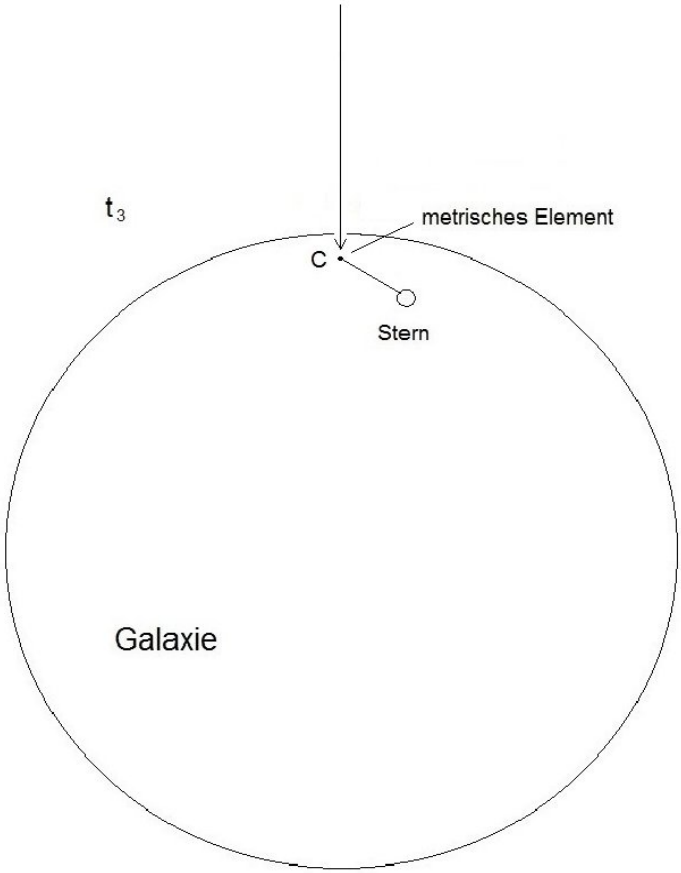
(S15): Zum Zeitpunkt $t_3$ hat sich das metrische Element nach C weiterbewegt. ($t_2 - t_1 = t_3 - t_2$)


A
metrisches Element
$t_1$
Stern
Galaxie

(S13)

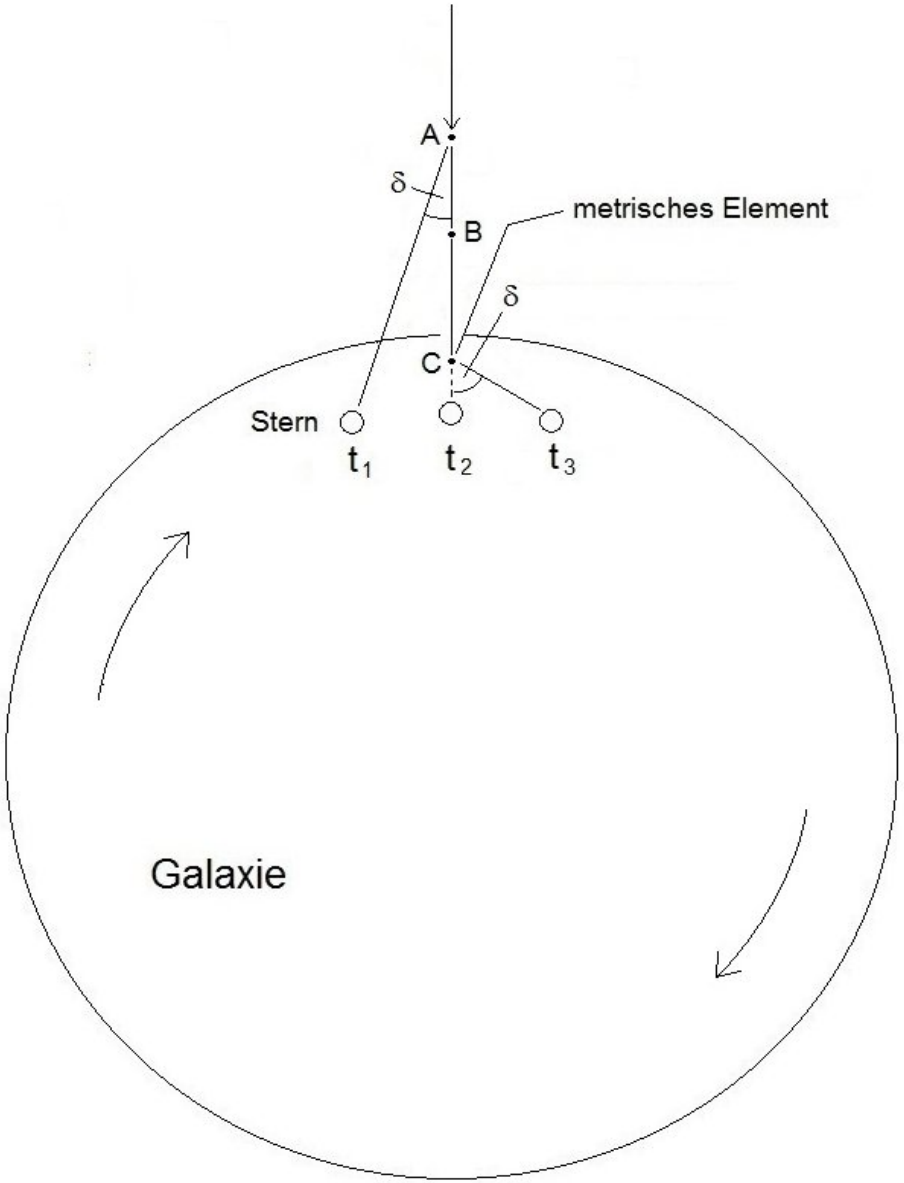

B
metrisches Element
$t_2$
Stern
Galaxie

(S14)




(S15)

(S16) zeigt die Situation zu allen drei Zeitpunkten:




(S16)

Von oben aus dem Unendlichen kommend existiert ein metrischer Fluss v(r), wobei r die Entfernung vom Zentrum bezeichnet. In der Skizze wird dieser Fluss durch die Bewegung des metrischen Elements E dargestellt.

Sei m die geometrische Masse des Sterns S, d sei die (zeitabhängige) Distanz zwischen S und E. Dann übt S, der Grundannahme der MDG entsprechend, auf E eine Beschleunigung $c^2 m/d^2$ aus. Die Bewegung des metrischen Elements E ist also identisch mit der Bewegung eines Massenpunktes in der Newtonschen Theorie (abgesehen davon, dass sich in der MDG die Gravitation mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet).

Wir zerlegen diese Beschleunigung b in eine radiale Komponente $b_r$ und eine tangentiale Komponente $b_t$. Es gilt

$$b_r = c^2 m/d^2 \cos\delta$$

$$b_t = c^2 m/d^2 \sin\delta$$

Wie aus der Skizze ersichtlich folgt daraus, dass E zwischen $t_1$ und $t_2$ eine tangentiale Beschleunigung nach links (entgegen der Richtung der Rotation) erfährt, und zwischen $t_2$ und $t_3$ nach rechts (in Richtung der Rotation).

Der zentrale Punkt unserer Argumentation ist, dass der Betrag von $b_t$ zu jedem Zeitpunkt zwischen $t_2$ und $t_3$ wesentlich größer ist als zwischen $t_1$ und $t_2$, sodass die Geschwindigkeit von E – also die Geschwindigkeit des metrischen Flusses – im Punkt C eine nach rechts gerichtete tangentiale Komponente hat.

Das hat zwei Gründe:

1.) Die Entfernung d zwischen S und E ist im Zeitintervall zwischen $t_1$ und $t_2$ größer als zwischen $t_2$ und $t_3$ – in unserem Fall im Schnitt ungefähr doppelt so groß.

(Da der Stern S in der Galaxie weit außen liegt, ist die Geschwindigkeit, mit der er rotiert, annähernd gleich $c\sqrt{\frac{m_G}{r}}$ ($m_G$ ist die geometrische Masse der Galaxie). Der Betrag der Geschwindigkeit von E ist gleich dem Betrag der Fluchtgeschwindigkeit, d.h. er ist gleich $c\sqrt{\frac{2m_G}{r}}$.
Allerdings befindet sich E weiter außen. Insgesamt ergibt sich, dass E zwischen $t_1$ und $t_3$ ungefähr dieselbe Strecke zurücklegt wie S.)

Somit ist die Beschleunigung, die E durch S erfährt, zu jedem Zeitpunkt zwischen $t_2$ und $t_3$ im Mittel viermal so groß wie zwischen $t_1$ und $t_2$.

2.) Außerdem ist der Winkel $\delta$, von dem die Komponente $b_t$ abhängt, zwischen B und C deutlich größer als zwischen A und B – insbesondere dann, wenn man die anfängliche Versetzung von E nach links berücksichtigt. Daraus folgt, dass bezüglich $b_t$, der tangentialen Komponente der Beschleunigung, zusätzlich zum Faktor 4 der Gesamtbeschleunigung noch eine weitere Steigerung eintritt.

Insgesamt ergibt sich also, wie oben behauptet:

***Die durch S auf E ausgeübte Beschleunigung hat zur Folge, dass die Geschwindigkeit von E im Punkt C eine nicht vernachlässigbare tangentiale Komponente in Rotationsrichtung hat.***

Dieses Resultat lässt sich wie folgt verallgemeinern:

Die Argumentation, die wir soeben für den Stern S durchgeführt haben, gilt für jeden Stern, der die Verbindungsgerade zwischen E und dem Zentrum der Galaxie überquert und zum Zeitpunkt der Überquerung näher am Zentrum ist als E.

Für Sterne, die zum Zeitpunkt der Überquerung vom Zentrum weiter entfernt sind als E, kehrt sich die obige Argumentation allerdings um, da dann E im Zeitintervall vor der Überquerung dem Stern näher ist als im Zeitintervall nach der Überquerung, sodass E insgesamt stärker *gegen* die Rotationsrichtung beschleunigt wird als *mit* ihr. Daraus folgt, dass die tangentiale Komponente der Geschwindigkeit von E umso kleiner wird, je weiter E in die Galaxie eindringt. Da die durchschnittliche Sterndichte jedoch nach innen zunimmt, ist zu erwarten, dass die Raumrotation in einem weiten Bereich erhalten bleibt und erst in der Nähe des Zentrums verschwindet.

Sterne, die sich in größerer Entfernung von dieser Verbindungsgeraden befinden, müssen nicht berücksichtigt werden, da sie sich wegmitteln. (Für jeden Stern, der sich auf der linken Seite der Verbindungsgeraden befindet, gibt es einen Stern auf der rechten Seite, sodass die tangentiale Komponente der Beschleunigung von E im Mittel verschwindet.)

Damit sind wir zu folgender Aussage über den metrischen Fluss gelangt:

***Falls eine Galaxie rotiert, dann rotiert auch der metrische Fluss, d.h. seine Geschwindigkeit hat eine tangentiale Komponente in Rotationsrichtung. Diese "Rotation des Raumes" nimmt bei Annäherung an die Galaxie zu. Sie erreicht ihr Maximum am äußeren Rand. Zum Zentrum hin nimmt sie ab.***

Soweit der erste Schritt unserer Argumentation. Jetzt zum zweiten Schritt, zu der Frage:

*Wie wirkt sich die Rotation des Raumes auf die Rotationsgeschwindigkeit der Sterne aus?*

Beurteilen wir zunächst die Auswirkung im Hinblick auf Newtons Theorie. Da hier der Raum bloß die Bühne darstellt, auf der sich das physikalische Geschehen ereignet, erscheint es zunächst seltsam, von einer "Bewegung des Raumes" zu reden. Andererseits ist es aber selbstverständlich, dass man sich bei der Ermittlung der Rotationsgeschwindigkeit auf einen "ruhenden Raum" beziehen muss – es ist ja notwendig, dass ein System existiert, in dem die Geschwindigkeit 0 ist, und das ist natürlich in demjenigen System der Fall, das relativ zum Zentrum der Galaxie ruht.

In der MDG ist jedoch – bezogen auf die Rotation – dasjenige System als "ruhendes System" aufzufassen, das sich mit der tangentialen Komponente der Geschwindigkeit des metrischen Flusses bewegt. Für die Berechnung der Sterngeschwindigkeit ist dies das System mit der Geschwindigkeit 0. Somit bezieht sich die nach Newton errechnete Rotationsgeschwindigkeit auf dieses System. Das bedeutet:

***Die Geschwindigkeit, mit der der Raum im Abstand r rotiert, muss zur Geschwindigkeit, mit der sich ein Stern im selben Abstand bewegt, addiert werden.***

Was soeben über die Auswirkungen der Raumrotation für die Berechnung der Rotationsgeschwindigkeit nach Newton gesagt wurde, bleibt auch in Bezug auf die AR gültig. Für die Beurteilung, wie sich die Rotation des Raums auf die Berechnung der Geschwindigkeit der Sterne auswirkt, ist folgender Sachverhalt entscheidend:

Die Weltlinien der um das Zentrum der Galaxie rotierenden Sterne sind zeitartige Geodäten. Der durch die Eigenzeit gemessene Abstand zwischen zwei Punkten ihrer Bahn nimmt also einen Extremwert an. Das Zeitdifferenzial auf dieser Bahn hängt von zwei Faktoren ab: von der Feldstärke und von der Geschwindigkeit des Sterns. Diese Geschwindigkeit muss sich aber – wie bei Newton – auf ein ruhendes System beziehen, wobei "ruhend" hier nur die Bedeutung haben kann: ruhend "relativ zum nicht-rotierenden Raum". In einem solchen System wird das Zeitvergehen maximal.

In der MDG hingegen vergeht die Zeit am schnellsten in einem System, das "relativ zum rotierenden Raum" ruht, und daraus folgt, dass die Berechnung nach der AR sich auf *diesen Raum,* d.h. auf den rotierenden Raum beziehen muss. Somit ist, ebenso wie bei Newton, auch in der AR die Geschwindigkeit der Raumrotation zur errechneten Geschwindigkeit der Sterne zu addieren.

Auch wenn die obige Argumentation nur qualitativ ist und bestenfalls eine grobe Abschätzung erlaubt, so kann doch aus ihr geschlossen werden, das nach der MDG eine größere Rotations-geschwindigkeit von Galaxien zu erwarten ist als nach Newtons oder Einsteins Theorie. Außerdem enthält sie auch einen Hinweis darauf, dass die MDG denselben Effekt hat wie die bei Newtons und Einsteins Theorie *ad hoc* eingefügten Terme: Die Veränderungen betreffen hauptsächlich die Außenbereiche von Galaxien, während die inneren Bereiche nahezu unverändert bleiben.

Beim Versuch der Berechnung der Rotationsgeschwindigkeit des Raums sieht man sich mit folgender Schwierigkeit konfrontiert:

Die Geschwindigkeit der Sterne und die Geschwindigkeit der Raumrotation beeinflussen sich gegenseitig. Es entsteht eine Rückkopplungsschleife: je schneller sich die Sterne bewegen, desto schneller rotiert der Raum, und umgekehrt gilt dasselbe. Diese wechselseitige Beschleunigung erfolgt so lange, bis sich ein Gleichgewicht einstellt – ein Prozess, der sich während der Entwicklung der Galaxie vollzieht.

Es gibt aber einen relativ einfachen Weg, mit dieser Schwierigkeit umzugehen: Man beginnt nicht mit der Berechnung der Raumrotation, sondern mit der Beobachtung der Sterngeschwindigkeiten sowie der Abschätzung der Gesamtmasse der Galaxie. (Ohne dunkle Materie.) Die Differenz zwischen den beobachteten Geschwindigkeiten und den – nach Newton oder Einstein – aus der Galaxienmasse errechneten Geschwindigkeiten ergibt dann die Geschwindigkeit der Raumrotation.

Auf diese Weise lässt sich überprüfen, ob diese Differenz durch die MDG erklärt wird: Wenn die Geschwindigkeiten der Sterne bekannt sind, kann die Rotation der Metrik berechnet oder durch eine Simulation ermittelt und mit dieser Differenz verglichen werden.

Anmerkung:

Da es sich bei Galaxien um Systeme handelt, deren Gesamtmasse sich auf zahlreiche Objekte verteilt, müssen sich die Ergebnisse aus Abschnitt 4.7. (über Innenraummetrik und Systeme mit mehreren Massen) in einem gewissen Maß auf Galaxien übertragen lassen. Das bedeutet, dass auch innerhalb von Galaxien das aus der MDG ermittelte radiale Differenzial größer ist als das aus der AR errechnete, und das Zeitdifferenzial kleiner. Da diese Unterschiede aber im äußeren Bereich einer Galaxie verschwindend gering sind und erst mit zunehmender Annäherung ans Zentrum allmählich zunehmen, und weil die Rotationsgeschwindigkeit ja erst in größerem Abstand vom Zentrum zu groß ist, können sie bei der näherungsweisen Bestimmung der Galaxienrotation vernachlässigt werden.

## 4.9. Andere Effekte

Außer der Galaxienrotation gibt es noch andere Effekte – z.B. den Gravitationslinseneffekt –, die aus Sicht von Newtons oder Einsteins Gravitationstheorie auf eine stärkere Gravitation hinweisen, als aufgrund der sichtbaren Materie zu erwarten wäre. Diese Effekte lassen sich durch die MDG auf folgende Weise erklären:

In der AR wird das Zeitvergehen durch das Gravitationsfeld verlangsamt: je stärker die Retardation der Zeit, desto stärker die Gravitation. In der MDG verlangsamt sich die Zeit aufgrund des metrischen Flusses: je größer der Fluss, desto stärker die Retardation der Zeit.

Wenn der metrische Fluss genau auf die gravitierende Masse hin gerichtet ist – wie im kugelsymmetrischen Fall einer einzigen Masse – dann stimmen die aus der AR ermittelten Zeiten der lokalen Systeme mit den aus der MDG errechneten im Außenraum überein. In allen anderen Fällen weichen AR und MDG voneinander ab, wie wir im Abschnitt 4.7. gezeigt haben.

Die Überlegungen zur Galaxienrotation haben uns zu dem Schluss geführt, dass in Galaxien die Geschwindigkeit des metrischen Flusses eine tangentiale Komponente hat. Während sich aus der radialen, zum Massenmittelpunkt hin gerichteten Komponente ein Zeitdifferenzial ergibt, das mit dem der AR zumindest im äußeren Bereich der Galaxie weitgehend übereinstimmt, folgt aus der tangentialen Komponente – d.h. aus der Raumrotation – eine zusätzliche Retardation der Zeit.

Da diese Rotation des Raums in der AR nicht existiert, muss die daraus folgende Zeit-Retardation aus Sicht der AR als Auswirkung eines stärkeren Gravitationsfeldes aufgefasst werden, mit anderen Worten: als *zusätzliche* Gravitation, die die Annahme der Existenz zusätzlicher (unsichtbarer) Materie erzwingt.

Aus Sicht der MDG bleibt das Prinzip, dass sich Objekte im Gravitationsfeld auf zeitartigen Geodäten bewegen, weiterhin gültig, aber für die Berechnung ihrer Bahnen müssen die gegenüber der AR veränderten Zeitdifferenziale zugrunde gelegt werden. Der gravitative Effekt bleibt also gleich, er wird nur anders interpretiert: Was in der AR nur als Folge zusätzlicher, unsichtbarer Masse verstanden werden kann, erscheint in der MDG als Folge der Rotationsgeschwindigkeit des metrischen Flusses. Die Annahme unsichtbarer Masse erübrigt sich.

Notiz:

Grundsätzlich gilt die Argumentation zur Galaxienrotation in jedem Fall, in dem Massen um den Massenmittelpunkt rotieren, also auch im Fall von Planeten mit Eigenrotation. Vor kurzem bin ich

zufällig auf die Formel gestoßen, mit der J. D. Anderson und Andere die sogenannte *Flyby Anomaly* beschreiben. In dieser Formel wird die sehr kleine, bis jetzt nur unzureichend begründbare Geschwindigkeitszunahme, die Raumsonden beim Fly-by an der Erde erfahren, mit der Erdrotation in Verbindung gebracht.

Andersons Formel ist heuristisch, d.h. sie stellt einen Versuch dar, auf möglichst einfache Weise ein Gesetz zu konstruieren, das den vorhandenen Daten entspricht. Vielleicht kann die MDG dazu die Erklärung liefern. Ich habe das aber nicht weiter untersucht.

## 4.10. Zusammenfassung

Bei den Gravitationstheorien Newtons und Einsteins gibt es drei physikalische Grundbegriffe: Raum, Zeit und (in Kilogramm gemessene) Masse. Bei Newton wirkt Masse direkt auf Masse, instantan und durch nichts vermittelt. Bei Einstein wirkt Masse auf Raumzeit, die dann wiederum auf Masse wirkt.

In der metrisch-dynamischen Gravitation gibt es nur Raum und Zeit. Masse ist als metrische Verdichtung eines Raumbereichs definiert, und zwar auf folgende Weise:

Nehmen wir an, ein Objekt sei kugelförmig und habe die geometrische Masse m ($m = MG/c^2$). Dann ist die Kugelfläche, die das Objekt begrenzt, im Vergleich mit dem Zustand ohne Masse um m Einheiten nach innen gerückt. Der Raumbereich erfährt also durch die Masse eine *metrische Verdichtung*: *w*enn der Radius der Kugelfläche *ohne* Masse R ist, dann ist er *mit* der Masse m nur noch R – m.

Das bedeutet, dass sich – aus der Sicht eines Beobachters, der sich an einem beliebigen Punkt im Außenraum befindet – der Abstand zum Mittelpunkt des Raumbereichs um m verringert hat. Somit folgt für die metrische Dichte $\sigma$ im Abstand r:

$$\sigma(r) = (r - m)/r$$

(in den jeweils im System gültigen Einheiten). Dadurch wird aufgrund von Gleichung (1)

$$\frac{d\sigma}{dr} = -\frac{1}{c^2}\frac{dv}{dt}$$

im Außenraum ein auf die Masse hin gerichteter *metrischer Fluss* v(r) verursacht.

Nun kann direkt die Beschleunigung abgeleitet werden, die von der Masse auf die Elemente des metrischen Flusses (die Längendifferenziale entlang der Flusslinien) ausgeübt wird: sie beträgt $c^2m/r^2$, d.h. sie entspricht der Newtonschen Gravitationsbeschleunigung, wobei jedoch zu beachten ist, dass in der MDG die gravitative Wirkung nicht instantan erfolgt, sondern mit Lichtgeschwindigkeit übermittelt wird.

Die MDG ist aus der Annahme entstanden, dass die Wirklichkeit ein Gewebe aus metrischen Änderungen von Raum und Zeit ist, die einander bedingen. Die metrischen Flüsse der Gravitation sind eine spezielle Form dieser Wechselwirkung von Raum- und Zeitänderungen. Daraus ergibt sich, dass alles, was existiert, an der Beschleunigung des metrischen Flusses teilnimmt. Daher kann diese Beschleunigung als Gravitationsbeschleunigung aufgefasst werden.

Die Ermittlung dieser Beschleunigung und der daraus folgenden Größe des metrischen Flusses v(r) ist aber nur der erste Schritt. In Verbindung mit der Definition der metrischen Dichte ($\sigma = dr/dr'$) lassen sich daraus die im Fluss gültigen Raum- und Zeitmaße berechnen, aus denen wiederum die Metrik des lokalen ruhenden Systems folgt (das sich relativ zum Fluss mit $-v$ bewegt).

Im Außenraum einer einzigen, nicht rotierenden Masse stimmen die Ergebnisse der MDG exakt mit den Ergebnissen der AR überein. Sowohl auf der Erde als auch im Sonnensystem sind diese beiden Bedingungen in hinreichender Näherung erfüllt.

Das heißt: in den beiden Szenarien, wo die genauesten Tests der Gravitationstheorien stattfinden, besteht zwischen AR und MDG – abgesehen von wenigen Ausnahmen, bei denen extrem kleine Abweichungen auftreten – kein messbarer Unterschied.

In allen anderen Szenarien führen die beiden Theorien aber zu unterschiedlichen Resultaten. Um diese Unterschiede hinsichtlich verschiedener physikalischer Systeme abschätzen zu können, müssen diese Systeme nach 3 Kriterien beurteilt werden:

1.) Massenverteilung

2.) Gesamtdrehmoment

3.) Gesamtmasse

Zu 1.) Die beiden Extreme der Massenverteilung sind *Konzentration* und *Gleichverteilung.*

Sonnensysteme und Galaxien liegen in der Nähe der beiden Extreme: In unserem Sonnensystem ist die Masse der Sonne mehr als 700 mal größer als die Gesamtmasse aller Planeten; Hingegen ist in

unserer Galaxie die Gesamtmasse der Sterne mehr als 30 000 mal größer als die Masse des zentralen schwarzen Lochs.

Im Fall einer dominanten Masse – die dann den Mittelpunkt des Systems bildet – führen AR und MDG zu denselben Ergebnissen. Das wurde in den Abschnitten 4.1. bis 4.5. demonstriert.

Wie wir im Abschnitt 4.7. bewiesen haben, gilt das aber nur für den Außenraum. Im Innenraum unterscheiden sich die beiden Theorien voneinander, wobei die Unterschiede mit zunehmender Annäherung ans Zentrum größer werden.

Der Innenraum stellt aber zugleich das Modell für das andere Extrem der Massenverteilung dar, also für die Gleichverteilung. Ein fester Körper – wie z.B. die Erde – ist ja nichts anderes als ein Aggregat von (annähernd) gleich verteilten Massen. Daher lassen sich die Resultate der Innenraummetrik auf alle Systeme übertragen, bei denen die Massen (annähernd) gleichverteilt sind, also z.B. auch auf Galaxien.

Das bedeutet: In Systemen, bei denen die Massen nicht im Zentrum konzentriert, sondern eher gleichverteilt sind, ist die Zeit der MDG nur an der Außengrenze identisch mit der Zeit der AR, mit zunehmender Annäherung ans Zentrum wird sie aber wesentlich stärker verlangsamt als bei der AR. (Bei der Innenraummetrik ist die Verlangsamung bei der MDG fast viermal so groß wie bei der AR, siehe Abschnitt 4.7. auf Seite 56.) Auch die radialen Differenziale sind nur ganz außen identisch, zum Zentrum hin werden sie aber in der MDG länger, in der AR hingegen kürzer. Nur die tangentialen Differenziale sind in beiden Theorien identisch. (Diese Aussagen gelten aber nur in Bezug auf die Abhängigkeit von der Massenverteilung. Die Folgen der Rotation müssen dann zusätzlich einbezogen werden.)

Zu 2.) Falls das System um seinen Mittelpunkt rotiert, rotiert auch der Raum bzw. die Metrik, wie wir im Abschnitt 4.8. gezeigt haben. Der metrische Fluss hat dann zusätzlich zur radialen, zum Zentrum gerichteten Komponente auch eine tangentiale Komponente.

Das bedeutet: Durch die tangentiale Geschwindigkeit des metrischen Flusses wird die Zeit in einem relativ zum Zentrum ruhenden (nicht rotierenden) Bezugssystem verlangsamt. Die tangentialen Längendifferenziale sind in diesem Bezugssystem im Vergleich mit der AR verkürzt.

Aus Sicht der AR erscheinen diese Veränderungen wie vergrößerte Gravitation, die nur als Folge zusätzlicher Masse aufgefasst werden kann.

Von der MDG aus gesehen hat man zwei Möglichkeiten: Falls es um die Abschätzung der Rotationsgeschwindigkeit geht, kann man die Rotation der Metrik einfach zu der nach Newton oder

Einstein ermittelten Rotation addieren. Falls es ganz allgemein um die Auswirkungen der stärkeren Gravitation geht, die sich aus Sicht der MDG im Vergleich zur AR ergibt, kann man die geometrischen Methoden der AR zwar weiterhin nützen, muss aber die Veränderungen der Metrik berücksichtigen.[18]

Zu 3.) Das Ausmaß der Abweichung von AR und MDG hängt (selbstverständlich) von der Größe der Gesamtmasse des betrachteten Systems ab.

Auf diese Weise ermöglichen uns die einfachen Überlegungen und Ableitungen dieses Kapitels in vielen Fällen eine Abschätzung, in welchem Maß sich AR und MDG voneinander unterscheiden. Das Ergebnis dieser Abschätzung kann dann mit der Beobachtung verglichen werden.

Für die Beurteilung der Galaxienrotation ist Punkt 2 entscheidend: Gemäß unserer Argumentation in Abschnitt 4.8. bildet sich eine Rotation der Metrik aus, die von der Größenordnung der nach der AR zu erwartenden Rotation der Galaxie selbst ist und zu dieser Rotation addiert werden muss. Aus dieser Argumentation folgt außerdem, dass die Rotation der Metrik weit in den Raum hinausreicht, der die Galaxie umgibt, am äußeren Rand ihr Maximum erreicht und zur Mitte hin abnimmt.

Die metrische Rotation ist abhängig vom Gesamtdrehmoment der Galaxie. Es ist daher zu erwarten, dass bei elliptischen Galaxien in manchen Fällen eine wesentlich geringere Rotationsgeschwindigkeit zu beobachten ist.

Obwohl nach den obigen Ausführungen auch Punkt 1 eine Rolle spielt, weil sich ja – ebenso wie bei der Innenraummetrik – die aus AR und MDG ermittelten radialen Längendifferenziale und die Zeitdifferenziale nur im Außenbereich der Galaxie annähernd gleichen und zum Zentrum hin immer stärker voneinander unterscheiden, ist dennoch anzunehmen, dass diese Unterschiede in Bezug auf die Rotationsgeschwindigkeit vernachlässigt werden können. Der Grund dafür ist einfach, dass die beobachtete Geschwindigkeit erst in den äußeren Bereichen von den Erwartungen abweicht, also dort, wo die im Zusammenhang mit der Massenverteilung bestehenden Unterschiede zwischen AR und MDG nur noch gering sind.

Falls die Galaxie überhaupt kein Gesamtdrehmoment hat, dann ist sogar anzunehmen, dass bezüglich des Außenraums der Galaxie AR und MDG völlig übereinstimmen, weil dieser Fall dann wieder dem Fall des Außenraums eines nicht-rotierenden festen Körpers entspricht.

[18] Direkt zugänglich sind allerdings zunächst nur die Werte der Differenziale parallel und normal zur jeweiligen Flussrichtung gemäß Abschnitt 4.6, Gleichungen (21) und (22). Das Längendifferenzial *normal* zur Flussrichtung bleibt unverändert, es entspricht also dem des unverzerrten Raums. (23) gibt das Zeitdifferenzial an.

Zusammengefasst ergibt sich für die Galaxienrotation Folgendes:

Im Gegensatz zu den Theorien, die aus Newtons oder Einsteins Theorie durch *ad hoc* vorgenommene Modifikationen hervorgehen, führt die MDG durch das Konzept des metrischen Flusses *von selbst* zu einer größeren Rotationsgeschwindigkeit. Aus meiner Sicht stellt das einen starken Grund dafür dar, dieses Konzept weiter zu verfolgen.

Es ist erstaunlich, dass überhaupt eine Theorie existiert, die in wichtigen Bereichen (Sonnensystemen) die gesicherten Resultate der AR perfekt reproduziert, und die dennoch in anderen Szenarien (Galaxien), deren Beobachtung uns wegen ihrer großen Entfernung erst seit wesentlich kürzerer Zeit mit hinreichender Genauigkeit möglich ist, von der AR stark abweicht, und zwar anscheinend auf genau die Weise, die von der Beobachtung diktiert wird. Und das ist umso erstaunlicher, als diese Abweichung ja nicht – wie es zunächst naheliegend erscheint – *entfernungsabhängig* auftritt, sondern sich aus der Struktur der MDG ergibt, als Konsequenz des metrischen Flusses, der in der AR nicht existiert.

## 4.11. Einschätzung

In diesem Kapitel habe ich versucht, darzustellen, welche Auswirkungen die metrisch-dynamische Sicht der Wirklichkeit auf unser Verständnis von Gravitation hat. Bisher haben sich meine Ausführungen im Wesentlichen auf das Problem der Galaxienrotation bezogen. Um die MDG richtig einschätzen zu können, ist es aber nun notwendig, diese thematische Einschränkung aufzuheben. Es gibt bekanntlich ein Problem, das zwar nicht die Gravitationstheorie selbst betrifft, aber ihre Stellung im Gesamtgebäude der Physik: der Gegensatz bzw. die Unvereinbarkeit der Theorien von Gravitation und Elektromagnetismus. Es scheint, als könnte dieser Widerspruch durch die MDG vollständig eliminiert werden. Folgendermaßen:

Die AR ist eine metrische Theorie. Sie beansprucht die Metrik der Raumzeit *exklusiv* für sich: Raumzeit *ist* Gravitation. Es ist in ihr kein Platz für irgendetwas Anderes. Daraus folgt unmittelbar eine unbehebbare strukturelle Differenz zwischen Gravitation und Elektromagnetismus: G *ist* metrisch, EM *kann nicht* metrisch sein – er findet zwar *in der* Raumzeit statt, aber nicht *durch* sie; wie bei Newton ist der Raum hier eigentlich nur die Bühne für das physikalische Geschehen.

Ganz anders die MDG: Sie ist zwar ebenfalls eine metrische Theorie, aber im Gegensatz zur AR beruht sie ausschließlich auf Änderungen des *Längenmaßes.* Änderungen des Winkelmaßes bleiben unberührt.

Ich habe ja schon im Kapitel 2 gezeigt, dass die metrische Dichte σ in den Gleichungen (0) und (1), die die Erzeugung der Wirklichkeit darstellen, zwei Interpretationen hat: σ kann die metrische Dichte der Länge oder die metrische Dichte des Winkels sein – oder sagen wir besser: σ *muss* beides sein, weil die Beschreibung der Entstehung der Wirklichkeit ansonsten unvollständig wäre, da der Raum sich auf beide Arten ändern kann.

Damit ist also in der Raumzeit Platz geschaffen für andere Wechselwirkungen. Und tatsächlich führt die Interpretation von σ als metrischer Dichte des Winkels zum Elektromagnetismus, und zwar auf eine Weise, die fast vollkommen analog zum hier dargestellten Weg zur Gravitation und ebenso einfach ist.

Somit ist die fundamentale Differenz von G und EM beseitigt und zugleich ihr Zusammenhang geklärt: Beide sind metrische Phänomene, die aus den Gleichungen (0) und (1) und der jeweils einfachsten zugehörigen metrischen Annahme folgen.

Dazu wäre noch viel mehr zu sagen. Ich werde aber meine Ausführungen hier beenden. Für eine adäquate Beurteilung des metrisch-dynamischen Aufbaus der Beschreibung der Wirklichkeit erschien es mir zwar notwendig, schon an dieser Stelle auf den Zusammenhang von Gravitation und Elektromagnetismus hinzuweisen, der sich daraus ergibt, aber im Rahmen meiner knappen Ausführungen über Gravitation will ich mich auf diese wenigen Bemerkungen beschränken.

Die metrisch-dynamische Gravitation ist aus metaphysischen Überlegungen entstanden – sie beginnt mit Metaphysik. Das Kapitel über Gravitation wird nun auch mit Metaphysik enden, weil das wichtigste Argument für die MDG – das, aus meiner Sicht, jede andere Art von Gravitations-theorie ausschließt – ebenfalls metaphysischer Natur ist. Folgendermaßen:

Raum und Zeit – oder alternativ: Raum und Bewegung – sind als Basis einer Beschreibung der Wirklichkeit notwendig, weil ohne sie Nichts wäre. Wir können den sich verändernden Raum zwar nicht denken, aber wir können ihn durch das Konzept der Metrik für unser Denken verfügbar machen. Auch das erste Gesetz, das durch Gleichung (0) beschrieben wird, ist notwendig, weil ohne es Nichts wäre.

Wenn wir aber nun ein weiteres, von Raum und Zeit *unabhängiges* Element hinzufügen, dann haben wir damit nicht nur den Bereich der Notwendigkeit verlassen, sondern wir haben etwas Unmögliches postuliert: Dieses zusätzliche Element muss ja zu Raum und Zeit in kausaler Verbindung stehen, und das ist nur dann möglich, wenn es durch Raum und Zeit definiert werden

kann. Wenn das nicht der Fall ist, dann hat das neue Element keine logische Verbindung zu dem Szenario, das wir als Ausgangsbasis der Beschreibung der Wirklichkeit bestimmt haben.

Physikalisch ausgedrückt bedeutet das Folgendes:

Es kann nur zwei Grundeinheiten geben: die Einheit der Länge und die Einheit der Zeit. Jede andere Einheit muss daraus abgeleitet sein. (Siehe dazu auch hier und hier.)

Im Fall der Gravitation betrifft das die Einheit der Masse: es kann keine Masse geben, deren Einheit Kilogramm eine selbständige Grundeinheit ist. Eine solche Masse *kann* nicht auf Raum und Zeit wirken. Sie ist logisch und ontologisch von Raum und Zeit getrennt, und das bedeutet, dass eine kausale Verbindung zwischen dieser Masse und Raum und Zeit unmöglich ist.

Masse muss also durch Raum und Zeit definierbar sein. Sie muss ein *Zustand* der Raumzeit sein. Nur dann kann sie auf Raumzeit wirken und auf diesem Weg andere Massen beeinflussen. Gravitation muss daher metrisch-dynamischer Art sein. Jede andere Art von Gravitation ist unmöglich.

Daraus folgt allerdings nicht, dass die hier präsentierte Gravitationstheorie richtig ist – ich halte das metaphysische Argument für wesentlich stärker als manche meiner Ableitungen. Aber es folgt daraus, dass Newtons und Einsteins Gravitationstheorien nur Näherungen sein können.

### Postskriptum

Seit mehr als hundert Jahren bestimmt die Allgemeine Relativitätstheorie unser Verständnis der Gravitation. Das zeigt sich auch daran, dass beim Auftauchen von Unstimmigkeiten – wie jetzt beim Problem der Galaxienrotation – vor allem an Erweiterungen und Ergänzungen der Einsteinschen Feldgleichungen gedacht wird, während die theoretische Basis kaum in Zweifel gezogen wird.

Die metrisch-dynamische Gravitationstheorie kann allerdings nicht in diesem Sinn interpretiert werden – dazu unterscheidet sie sich zu stark von der AR. Also sieht man sich vonseiten der MDG mit der Frage konfrontiert, ob es in den Voraussetzungen und Schlussfolgerungen Einsteins, die die Grundlage des theoretischen Gebäudes der AR bilden, irgendwelche Irrtümer gibt.

Vom metrisch-dynamischen Zugang zur Physik aus gesehen lautet die Antwort wie folgt:

Der erste Fehler tritt bereits am Anfang der Überlegungen Einsteins auf: Er setzt voraus, dass *alle* Veränderungen von Längen und Zeiten auf Gravitation bezogen werden können. Eines der

Beispiele, durch die er sein Vorgehen erläutert, ist das rotierende Bezugssystem, dessen aus der Speziellen Relativitätstheorie abgeleitete metrische Veränderungen von einem mitrotierenden Beobachter als Auswirkungen eines Gravitationsfeldes gedeutet werden. Das Allgemeine Relativitätsprinzip besagt ja, dass *alle* Beobachter berechtigt sind, sich als ruhend zu betrachten – sie müssen nur die Beschleunigungen, denen sie ausgesetzt sind, auf ein (hypothetisches) Gravitationsfeld beziehen.

Aus Sicht der MDG ist das jedoch unzulässig, da die meisten dieser hypothetischen Gravitationsfelder mit der Definition des metrischen Flusses und der daraus folgenden gravitativen Beschleunigung nicht verträglich sind.

Schon aus dieser einfachen Feststellung folgt also, dass die AR auch Fälle enthält, die "unphysikalisch" sind; durch die Definition des metrischen Flusses werden den zulässigen Gravitationsfeldern wesentlich stärkere Einschränkungen auferlegt als bei der Ableitung der Feldgleichung der AR.

Außerdem ist die Voraussetzung Einsteins, dass alle raumzeitlichen Veränderungen gravitativ zu interpretieren sind, aus Sicht der MDG auch deshalb unzulässig, weil ja, wie oben erwähnt, beim metrisch-dynamischen Zugang ein Teil dieser Veränderungen dem Elektromagnetismus zugerechnet werden muss. Mit seiner anfänglich getroffenen Voraussetzung verbannt Einstein aber schon am Beginn seiner Ableitungen alle anderen physikalischen Prozesse aus dem Bereich raumzeitlicher Veränderungen.

(Bekanntlich hat Einstein schon in den Jahren nach 1915 und bis an sein Lebensende versucht, diesem Mangel durch Verallgemeinerung der AR abzuhelfen. Auch Schrödinger, Weyl und Andere waren an diesem Projekt beteiligt. Ihr jahrzehntelanges Bemühen hat aber zu keinen physikalisch verwertbaren Ergebnissen geführt.)

Dies ist also die eine Seite des Irrtums: Die AR ist "zu allgemein": sie enthält Fälle, die nicht zur Gravitation gehören, und außerdem Fälle, die physikalisch nicht möglich sind.

Die andere Seite des Irrtums ist genau diejenige, die sich durch das falsche Resultat bei der Berechnung der Galaxienrotation offenbart (unter der Voraussetzung, dass keine Dunkle Materie existiert):

Es gibt Fälle, die in der AR *nicht* enthalten sind und deshalb von ihr aus nicht erklärt werden können. Wie in den Abschnitten 4.7. und 4.8. gezeigt, sind das sogar *alle* Fälle außer einem: dem Fall einer einzigen, nicht-rotierenden Masse.

Aus Sicht der MDG besteht der Grund für diesen Mangel darin, dass sich der zentrale Begriff der MDG – der metrische Fluss – auf dem Weg, den Einstein beschritten hat, nicht in das Modell der Gravitation integrieren lässt. So, wie Newtons Theorie aus Sicht der AR nur noch als Näherung für den Fall geringer Gravitation gelten kann, so sind nun aus metrisch-dynamischer Sicht sowohl die Newtonsche Gravitationstheorie als auch die AR als Näherungen aufzufassen, die nur dann anwendbar sind, wenn die Rotation des Raumes vernachlässigbar klein ist. Ansonsten führen sie zu grob falschen Ergebnissen.

Zwischen der von mir präsentierten Sicht der Gravitation und den bisher vorgeschlagenen Modifikationen der Newtonschen und Einsteinschen Gravitationstheorien besteht folgender Unterschied:

Da sich die AR im Gravitationsfeld der Erde und im Sonnensystem so hervorragend bewährt hat, gehen die Autoren der adaptierten Versionen davon aus, dass die AR prinzipiell korrekt ist und nur im Bereich sehr schwacher Gravitation korrigiert werden muss. Die Korrekturen sind dann ausschließlich durch die Absicht motiviert, die Theorie an die Verhältnisse in Galaxien anzupassen – mit anderen Worten: sie sind vollkommen willkürlich.

Ganz anders die MDG: Sie folgt aus Überlegungen zur Entstehung der Wirklichkeit und aus der Weiterführung der Einsteinschen Analyse der Zeitverhältnisse. Die Änderung der Sicht der Gravitation, die sich daraus ergibt, bezieht sich nicht auf den Bereich schwacher Gravitation, sondern hängt vom Drehmoment und der Massenverteilung des betrachteten Systems ab. Die MDG ist also nicht auf die beobachtete Anomalie hin konstruiert – die höhere Rotationsgeschwindigkeit ergibt sich aus der Struktur der Theorie.

Zweifellos ist diese Art des Zusammenhangs zwischen Theorie und gewünschtem Ergebnis einer Ad-hoc-Konstruktion bei weitem vorzuziehen.

Ich möchte dieses Postskriptum mit einer persönlichen Bemerkung abschließen: Als ich meine Gravitationstheorie entdeckt hatte, führte ich einige Tests durch, die teilweise auch in diesem Kapitel aufgeführt sind. Nachdem meine Theorie diese Tests (durch Übereinstimmung mit der AR!) bestanden hatte – noch dazu auf so seltsame, fast lächerlich einfache Weise – war ich zunächst überzeugt, ich hätte bloß einen anderen, einfacheren Zugang zur AR gefunden. Erst Jahre später, als ich über Galaxienrotation nachdachte, begann ich zu begreifen, dass die MDG von der AR abweicht.

Das Ausmaß des Unterschieds zwischen AR und MDG ist mir aber erst in den vergangenen drei Monaten klar geworden, die ich mit dem Verfassen dieses Kapitels verbracht habe. Anfangs hat

mich diese Einsicht irritiert; wie für viele Andere war die AR auch für mich eine der großartigsten Leistungen – wenn nicht sogar *die* großartigste Leistung – des menschlichen Geistes, ein Tempel, neben dem jedes andere Gebäude verblasst. In den letzten drei Monaten habe ich aber gelernt, meine eigene Theorie besser zu verstehen und ihr dadurch auch mehr zu vertrauen. Inzwischen erscheint es mir wahrscheinlich, dass die AR auf einem fehlerhaften Fundament errichtet ist. Ihre Komplexität wäre demnach zu einem erheblichen Teil ein überflüssiger oder sogar irreführender Ballast.

In diesem Bild würde die MDG als (wieder)entdeckte Einfachheit erscheinen – nach einem mehr als hundert Jahre dauernden Irrweg. Aber eigentlich sind alle diese Überlegungen obsolet. Letztlich kann nur durch Beobachtung und Experiment zwischen konkurrierenden Gravitationstheorien oder der alternativen Annahme Dunkler Materie entschieden werden.

### Addendum: Das hybride System

Beim Übergang von der Newtonschen Näherung der Gravitation auf die relativistische Beschreibung (siehe 4.4. und 4.5.) 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 vor-metrische nicht-relativistische Sicht beibehalten werden, und zwar genau so wie es im Abschnitt 4.4. dargestellt ist, und der metrische Faktor bliebe (1 – m/r).

Wenn *unter dieser Voraussetzung* der metrische Fluss einbezogen würde, dann müsste für seine Geschwindigkeit gelten (vgl. (9)):

$$v = -\sqrt{\frac{m}{r}} \qquad (9h)$$

– 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 *vor* dem Übergang auf die relativistische Sicht erfordert.

Formal gelangt man zu diesem Wert für v, wenn man *einerseits* die aus relativistischer Sicht gültige Gleichung (siehe (21), c gleich 1 gesetzt):

$$dr' = dr\,(1 - v^2)^{-1} \quad \text{bzw.} \quad dr/dr' = (1 - v^2)$$

anwendet, *andererseits* aber die Definition von $\sigma$: $\sigma = \frac{dr}{dr'}$ beibehält. Mit $\sigma = 1 - \frac{m}{r}$

ergibt sich dann $1 - \frac{m}{r} = 1 - v^2$ und somit $v = \pm\sqrt{\frac{m}{r}}$ .

Damit verändert sich das *relativistische* lokale Flusssystem $S_F$ zu $S_F'$ (vgl. mit (14) und (11)):

$$S_F: \; dr_F = (1 - \frac{2m}{r})^{-1}\, dr \qquad \rightarrow \qquad S_F': \; dr_{F'} = (1 - \frac{m}{r})^{-1}\, dr \qquad (11h)$$

Wozu diese hypothetische Variante?

Weil es im Folgenden tatsächlich gelegentlich notwendig sein wird, den Wert $v = \sqrt{(m/r)}$ für die Flussgeschwindigkeit anzuwenden. Der Grund dafür ist, dass in der gegenwärtigen Physik alle Wechselwirkungen außer der Gravitation nicht *durch* die Raumzeit stattfinden, sondern nur *in* der Raumzeit. Aus metrisch-dynamischer Sicht ist das aber genau der Zustand, in dem sich die Gravitation vor Einstein befand: der Zustand vor der metrischen Begründung der 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 $v = \sqrt{(m/r)}$ 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, vormetrische 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.[19]

---

[19] 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?
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.

# 5. Gravitation → Antimaterie

## 5.1. 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.

Wir nehmen an, dass der im vorigen Kapitel beschriebene metrische Defekt derjenige ist, 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

$$r_A = r + m \tag{26}$$

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 (5) gegeben durch

$$\sigma = \frac{r - m}{r}$$

Also ist bei Antimaterie zu setzen

$$\sigma = \frac{r + m}{r} \qquad (27)$$

Das veränderte radiale Differenzial nennen wir $dr_A$

Gemäß der Definition von σ: $\sigma = \frac{dr}{dr'}$

gilt dann $dr_A = (1 + \frac{m}{r})^{-1} dr$ (28)

## 5.2. 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 Gleichung (1) wieder umgeformt wie in Kapitel 4 auf Seite 37 (c = 1 gesetzt):

$$\frac{d\sigma}{dr} = -\frac{dv}{dt} \quad \longrightarrow \quad d\sigma = -\frac{dr}{dt}\, dv \qquad (29)$$

Wieder wird $\frac{dr}{dt} = v$ gesetzt:

$$d\sigma = -v\, dv$$

Integration ergibt $\sigma = -\frac{v^2}{2} + C$

Gemäß (27) 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 $r \to \infty$ $v = 0$ ist.

Daraus folgt $C = 1$

Das führt zu $\frac{v^2}{2} = -\frac{m}{r}$

und zuletzt $\boxed{v = \pm i\sqrt{\frac{2m}{r}}}$ (30)

*Der Fluss v wird bei Antimaterie imaginär.*

Wegen $v = \frac{dr}{dt}$ muss dann auch r imaginär sein. (Die Zeit bleibt unverändert.)

Ersetzen wir in Gleichung (1) v durch iv und r durch ir

– also: $\frac{d\sigma}{dir} = -\frac{div}{dt}$ (c gleich 1 gesetzt)

dann ergibt sich $$\boxed{\frac{d\sigma}{dr} = + \frac{dv}{dt}} \qquad (31)$$

*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 (31) $$\frac{d\sigma}{dr} = \frac{dv}{dt}$$

gilt somit $$\boxed{\frac{dv}{dt} = -c^2 \frac{m}{r^2}} \qquad (32)$$

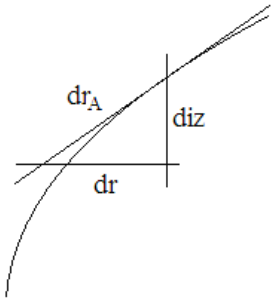
*Die Fluss-Beschleunigung ist bei Antimaterie identisch mit der Beschleunigung bei Materie. Die Newtonsche Näherung ist also in beiden Fällen gleich.*

Weshalb treten bei Antimaterie imaginäre Zahlen auf? Der Grund ist, dass hier – wie aus (28) hervorgeht

$$dr_A = (1 + \frac{m}{r})^{-1} dr$$

– 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:




(S17)

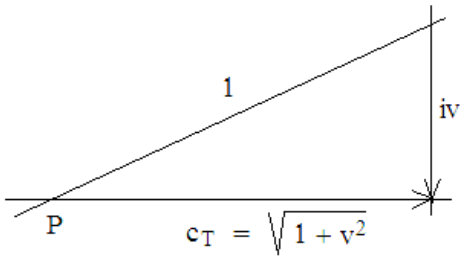
In (S17) ist $dr_A^2 = dr^2 - dz^2$

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




(S18)

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 ein Unterschied zwischen Materie und Antimaterie:

*Bei Antimaterie ist die Gravitation kleiner als bei Materie derselben Masse* |m|.

Führt man z.B. die Berechnung der Periheldrehung genau wie im Abschnitt 4.3. des vorigen Kapitels, aber gemäß (S18) mit dem Faktor

$$k \;=\; \sqrt{1+v^2} \;=\; \sqrt{1+\frac{2m}{r}}$$

durch, dann erhält man

$$\frac{\omega'}{\omega} \;=\; \left(1-\frac{2m}{r}\right)^{\frac{3}{2}} \;\approx\; 1-\frac{3m}{r} \qquad (33)$$

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 Flusssystems $S_F$ ist daher (vgl. (14))

$$dr_F = dr\,(1 + \frac{2m}{r})^{-1} \qquad (34)$$

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

$$\sqrt{1-\frac{2m}{r}}\ , \quad \text{sondern mit} \quad \sqrt{1+\frac{2m}{r}}$$

– und zwar deshalb, weil aus

$$\frac{v}{c} = \pm i\sqrt{\frac{2m}{r}}$$

für den Faktor der Lorentz-Transformation folgt:

$$k = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = \sqrt{1+\frac{2m}{r}} \qquad (35)$$

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 $dt_A$ (vgl. (17))

$$dt_A = dt\ (1 + \frac{2m}{r})^{\frac{1}{2}}$$

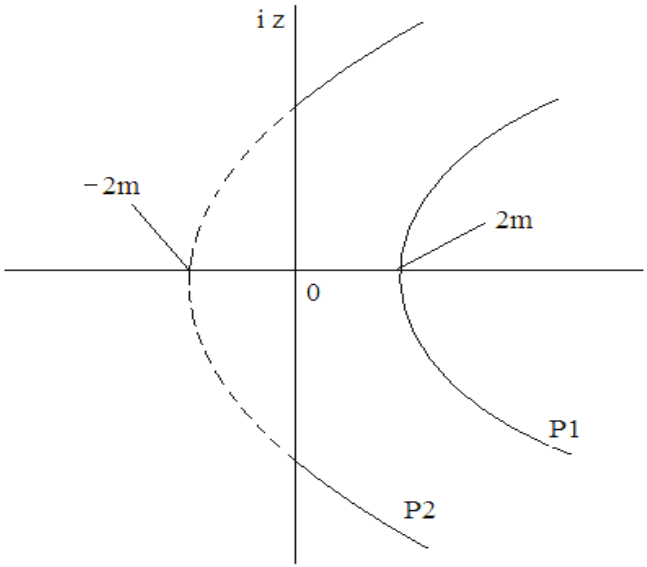
Daraus folgt die Metrik:

$$ds^2 = (1 + \frac{2m}{r})\,dt^2 - (1 + \frac{2m}{r})^{-1}\,dr^2 - r^2\,d\phi^2 \qquad (36)$$

*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 i z illustriert:




(S19)

P2 ist die Parabel, die die räumlichen metrischen Verhältnisse von (36) veranschaulicht. Die Hilfsdimension i z 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.

### 5.3. 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 (Seite 30)

$$\frac{\partial \sigma}{\partial r} = -\frac{1}{c^2}\frac{\partial v}{\partial t} \qquad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial r} = -\frac{\partial \sigma}{\partial t} \qquad (1a)$$

aus denen die Wellengleichung folgt

$$\frac{\partial^2 v}{\partial r^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \qquad (2)$$

lässt im Fall von Antimaterie das positive Vorzeichen auf der rechten Seite in (31)

$$\frac{d\sigma}{dr} = +\frac{1}{c^2}\frac{dv}{dt}$$

in Verbindung mit (1a) die Ableitung der Wellengleichung nicht zu. Stattdessen erhält man

$$\frac{\partial^2 v}{\partial r^2} = -\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \qquad (2')$$

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, aus Wellen gebildet wird, stellt diese Tatsache eine fundamentale Einschränkung dar.

*Die wichtigste Asymmetrie betrifft jedoch die **Entstehung** von Materie und Antimaterie:*

Das metrisch-dynamische Universum besteht aus *Flusslinien.*

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.

## 5.4. Zusammenfassung

Ich schließe mit einer kurzen Zusammenfassung.

Sei $K^3$ ein 3-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.[20]

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:

Materie: $v_M = \pm c \sqrt{\frac{2m}{r}}$

Antimaterie: $v_{AM} = \pm i\, c \sqrt{\frac{2m}{r}}$

[20] 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 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.

Die Metrik des umgebenden Kontinuums ist

$$ds^2 = (1 + \frac{2m}{r})\, dt^2 - (1 + \frac{2m}{r})^{-1}\, dr^2 - r^2\, d\phi^2$$

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.*

## *Zwischenbericht 1: Der metrische Aufbau der Naturbeschreibung*

Die Ableitung der metrisch-dynamischen Gravitation im Kapitel 4 ist ein Beispiel für die Methode, die ich – wie im *Vorbericht* erwähnt – für das Hauptcharakteristikum meines Aufbaus der Naturbeschreibung halte. Ich will nun ein wenig ausführlicher darauf eingehen.

Die Voraussetzungen der Ableitung und die Ableitung selbst sind zunächst *rein metrischer Art*:

Vorausgesetzt wird Gleichung (1) [ $\frac{d\sigma}{dr} = -\frac{1}{c^2}\frac{dv}{dt}$ ]. Sie handelt ausschließlich von metrischen Sachverhalten: metrische Verdichtung bewirkt metrische Beschleunigung (genauer: eine Beschleunigung des metrischen Flusses).

Dazu kommt die metrische Annahme (5) [ $\sigma = \frac{r - m}{r}$ ], die besagt, dass bei Gravitation die metrische Dichte der radialen Längeneinheiten im Außenraum geringer ist als ohne Gravitation.

Differenzieren von (5) führt in Verbindung mit (1) zum Ergebnis (6) [ $\frac{dv}{dt} = -c^2\frac{m}{r^2}$ ].

Auch dieses Ergebnis ist wiederum metrisch. Es stellt aber bereits die Newtonsche Näherung dar, wenn m als geometrische Masse aufgefasst wird.

Die Ableitung des Gravitationsgesetzes erfolgt hier also – ich bin versucht zu sagen: *ohne jede Physik*, jedenfalls ohne die Art von Physik, die wir kennen.

Die Verbindung mit bekannten physikalischen Größen und Sachverhalten erfolgt erst dadurch, dass die Länge m zur Newtonschen Masse M (in Kilogramm) durch die Definitionsgleichung $m = \frac{MG}{c^2}$ in Beziehung gesetzt wird.

Diese Definition dient hier jedoch ausschließlich dem Zweck, das Ergebnis der metrischen Ableitung – einen vollkommen abstrakten Sachverhalt – mit gegenständlichen Erfahrungen zu verknüpfen.[21]

[21] Ich kann etwa einen Gegenstand mit der geometrischen Masse m auf eine Waage legen und auf diese Weise die Verbindung mit der üblichen Masse M in Kilogramm herstellen, die dadurch *definiert* wird. "Definieren" hat hier also die Bedeutung: eine Verbindung mit einer spezifischen Erfahrung herstellen.

Die Masse M in Kilogramm ist hier also nicht mehr Teil der kausalen Struktur. Sie verliert ihren Status als unabhängige Grundeinheit.

Die kausale Struktur selbst bleibt auf rein metrische Tatsachen beschränkt. Das ist deshalb von fundamentaler Bedeutung – wie ebenfalls schon im Vorbericht erwähnt – weil nur auf diese Weise Kausalität überhaupt begründet werden kann. Ich werde das zwar im Kapitel 11 ausführlicher darstellen, will es aber dennoch auch schon an dieser Stelle skizzieren:

Die Gleichungen (0) und (1), die wir als Beschreibung des Prozesses auffassen, durch den die Wirklichkeit entsteht, sind aus einer Reihe von argumentativen Schritten hervorgegangen, von denen jeder einzelne deshalb *notwendig* ist, weil ohne ihn nichts existieren würde.

Dasselbe gilt somit auch für die Gleichungen selbst: Ohne sie wäre Nichts. Auch wenn nur irgendein Teil von ihnen weggelassen würde, wäre Nichts.

Also sind diese Gleichungen *notwendig* – als ganze und in jedem ihrer Teile.

Eine Gleichung, die einen realen Prozess beschreibt, ist aber nichts anderes als die Darstellung eines *kausalen Zusammenhangs:* Sie kann von links nach rechts und von rechts nach links gelesen werden: die rechte Seite folgt aus der linken, und die linke Seite folgt aus der rechten.

Da wir aber die Gleichungen (0) und (1) als notwendig erkannt haben, haben wir damit zugleich einen ersten kausalen Zusammenhang bewiesen.

Falls diese Gleichungen tatsächlich den Prozess beschreiben, der (permanent) die Wirklichkeit produziert, dann bedeutet das, dass die Gesetze, denen die Wirklichkeit gehorcht, aus Gleichung (0) und (1) – und weiteren metrischen Annahmen als Randbedingungen – abgeleitet werden können.

Wenn das der Fall ist, dann leisten diese Gleichungen außerdem Folgendes:

Sie vererben ihre Kausalität auf die aus ihnen abgeleiteten Gesetze und begründen damit die von diesen Gesetzen dargestellten kausalen Zusammenhänge.

Die fundamentale Gleichung (0) ist also nicht nur der *Ursprung der Wirklichkeit,* sondern auch der *Ursprung der Kausalität.*

Die im Gravitationskapitel abgeleiteten Gesetze der Gravitation illustrieren diesen Sachverhalt: Da sie logisch aus (1) folgen, erben sie die Kausalität von (1).

Im Gegensatz dazu ist es – wie am Ende des Gravitationskapitels festgestellt – *unmöglich,* Gravitation kausal zu begründen, wenn der Basiszusammenhang, wie bei Newton, *rein mechanisch,*

oder, wie bei Einstein, *mechanisch und metrisch* ist. Diese Zusammenhänge existieren nur *durch Erfahrung,* und Erfahrung ist zur Begründung von Kausalität prinzipiell nicht ausreichend.

Genauso, wie wir bei der Gravitation vorgegangen sind, werden wir auch in allen folgenden Kapiteln vorgehen. Der Begründungszusammenhang wird stets rein metrisch sein, und die Verbindung zu bekannten physikalischen Sachverhalten wird dann durch Verknüpfung der metrischen Größen und Sachverhalte mit den üblichen mechanischen Größen und Sachverhalten hergestellt, also durch Definition, und das gilt insbesondere für alle Einheiten, die bisher den Status selbständiger Grundeinheiten hatten.

(Wie bei der Gravitation dient die Definition also in jedem Fall ausschließlich dazu, die gegenständliche Wirklichkeit mit dem metrischen Begründungszusammenhang zu verknüpfen und nicht dazu, wie bei Einsteins Gravitationsgleichung, den Begründungszusammenhang *selbst* zu repräsentieren.)

Genauso wird es im folgenden Kapitel über die Spezielle Relativitätstheorie geschehen, und ebenso im darauf folgenden über Quantentheorie – hier werden der Lichtelektrische Effekt, der Compton-Effekt, das Doppelspaltexperiment und auch ganz allgemein die Struktur des quantenmechanischen Formalismus auf metrisch-dynamische Weise erklärt und begründet.

Der Atomaufbau wird sich dann wieder direkt auf Gleichung (1) stützen, vollkommen analog zur Gravitation, diesmal aber ausgehend von der Veränderung der metrischen Dichte des Winkels: $\sigma$ wird als metrische Dichte des Winkels interpretiert, Gleichung (1) wird zu Gleichung (1').

# 6. Wellen mit Lichtgeschwindigkeit → Spezielle Relativitätstheorie

## 6.1. Einleitung

Die Spezielle Relativitätstheorie (SR) folgt aus zwei Postulaten:

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 beim Übergang von einem Inertialsystem zu einem anderen zu wählen ist: jene, bezüglich der die elektromagnetischen Gleichungen kovariant sind, also die Lorentz-Transformation. Die apriorische Galilei-Transformation ist also nur näherungsweise gültig; die mit ihr verbundene Newtonsche Mechanik muss korrigiert werden.

An der Gültigkeit der SR kann kein Zweifel bestehen, sie ist vieltausendfach bestätigt. Es herrscht also kein Mangel an *Beweisen*, jedoch ein vollständiger Mangel an *Erklärungen*, die über rein formale Argumente oder den Verweis auf Experimente hinausgehen.

Der übliche Hinweis darauf, dass gegenüber dem (leeren) Raum keine Bewegung behauptet werden kann, ist offensichtlich unzureichend. Wäre er als Erklärung geeignet, dann müssten auch *beschleunigte* Systeme ununterscheidbar sein.

Außerdem gibt es Gründe für die Annahme, dass das Zeitvergehen von der Bewegung relativ zum (ruhenden) Raum abhängt. Hier ist einer davon:

Man denke sich ein geschlossenes zweidimensionales Universum, dessen geometrische Struktur der einer Kugelfläche entspricht. In diesem Universum befinden sich zwei Beobachter A und B, die sich entlang desselben Großkreises auf der Kugelfläche relativ zueinander gleichförmig bewegen. Bei der ersten Begegnung stellen beide ihre Uhren auf 0.

Die Frage ist: Wie wird der Uhrenvergleich bei der nächsten Begegnung ausfallen?

Darauf gibt es keine Antwort. A und B bewegen sich beide 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 – der Argumentation der SR zufolge – mit gleichem Recht die Vorgänge von ihrem Bezugssystem aus beurteilen und ein jeweils anderes Ergebnis erwarten. Erst ein wirklich durchgeführter zweiter Uhrenvergleich wird darüber Auskunft geben, wieviel Zeit in all diesen Systemen *tatsächlich* vergangen ist:

Offensichtlich gibt es unter allen überhaupt möglichen Beobachtern genau *einen*, der "im Recht" war, als er sein System als *ruhend* auffasste: Es ist derjenige, dessen Zeit am schnellsten vergeht. Sein Bezugssystem ist somit tatsächlich als das *absolut ruhende System* zu betrachten.

Wenn wir uns den Großkreis geöffnet und die Enden in unbegrenzte Entfernung hin ausgedehnt denken, dann scheint das nicht mehr zu gelten: A und B würden sich ja nur dann wieder begegnen, wenn einer der beiden umkehrte. Hier könnte also Relativität angenommen werden. Dagegen spricht jedoch Folgendes: Ob das Vergehen der Zeit in einem physikalischen System von dessen Relativbewegung gegenüber dem umgebenden *lokalen* Raum bestimmt wird oder nicht, kann nicht von der *globalen* Struktur des Raums abhängen.[22] Daraus folgt, dass der Raum in jedem Fall absolut ist: in einem relativ zum Raum ruhenden System vergeht die Zeit *tatsächlich* am schnellsten, aber diese Tatsache wäre – zumindest in einem offenen Universum – nicht feststellbar.

Es gibt noch weitere Gründe, den Raum als absolut zu betrachten. Ich will das aber hier nicht weiter ausführen, sondern den die SR betreffenden Gedankengang dort fortsetzen, wo wir ihn am Ende von Abschnitt 3.1 unterbrochen haben.

## 6.2. Relativitätstheorie ohne Relativität

Im Kapitel 3 haben wir folgende Behauptung bewiesen:

*Es gibt nur Lichtgeschwindigkeit. Alle anderen Geschwindigkeiten müssen daraus abgeleitet sein*.[23]

Unter dieser Voraussetzung werden wir nun die SR sowohl begründen als auch erklären und danach die Lorentz-Transformation ableiten, ohne das spezielle Relativitätsprinzip oder die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit zu postulieren.

---

[22] Ansonsten müsste z.B. (in einem Gedankenexperiment) in einem zunächst geschlossenen Universum bei stetiger Abnahme der Masse ein sprunghafter Übergang von "absolut" auf "relativ" angenommen werden, was unsinnig wäre.

[23] Weiter unten (im Abschnitt 6.5.) werden wir zeigen, dass zwischen dieser Annahme und der üblichen quantenmechanischen Darstellung von Materie ein überraschend enger Zusammenhang besteht. Dafür ist jedoch die Lorentz-Transformation erforderlich, die vorher abgeleitet werden soll.

Wie können aus Wellen mit Lichtgeschwindigkeit andere Geschwindigkeiten erzeugt werden?

Durch Überlagerung gegenlaufender Wellen. Wir werden folgendermaßen vorgehen:

Den Bewegungszustand von *ruhenden* Objekten werden wir durch Superposition von Wellen mit identischen Frequenzen – d.h. durch stehende Wellen – darstellen, den von *bewegten* Objekten durch Superposition von Wellen mit verschiedenen Frequenzen.

Frequenzen und Wellenlängen der gegenlaufenden Wellen werden wir mit Richtungspfeilen ($\rightarrow$ oder $\leftarrow$) indizieren. 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.

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

Daher gilt: $\nu_{\rightarrow}' \; (1 - v/c) \; = \; \nu_{\leftarrow}' \; (1 + v/c) \; = \; \nu_T$ (1)

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

und $v / c \; = \; ( \; \nu_{\rightarrow}' - \nu_{\leftarrow}' \; ) \; / \; ( \; \nu_{\rightarrow}' + \nu_{\leftarrow}' \; )$ (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 $\nu_T$. Nehmen wir nun an, $\Psi'$ sei durch *Beschleunigung* entlang einer Strecke AB aus einer in Bezug auf S stehenden Welle $\Psi$ mit der Frequenz $\nu$ 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

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

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:

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

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

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

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

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

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

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

oder – nach dem Herauskürzen der Frequenz

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

$$v / c = (q^2 - 1) / (q^2 + 1) \tag{9}$$

Es gilt nach (1) und (8):

$$\nu_T = \nu\, q\, (1 - v/c) = \nu\, q^{-1}\, (1 + v/c)$$

also $\nu_T^2 = \nu^2 (1 - v^2/c^2)$

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

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

Wenn es nur Wellen gibt, dann 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*

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

Nun sind wir vorbereitet, uns der grundlegenden Frage der speziellen Relativität zu stellen. Sie lautet:

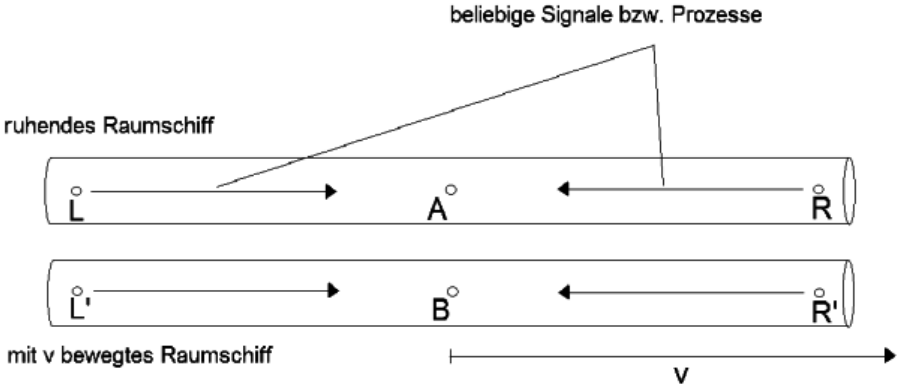
***Warum gehorcht die Natur den durch Licht bestimmten Raum-Zeit-Verhältnissen?***

Wir werden diese Frage in der folgenden, konkreteren Form analysieren und beantworten::

***Warum erreichen <u>alle</u> Signale (oder Prozesse, oder Objekte), die bei einem ruhenden Beobachter gleichzeitig eintreffen, einen gleichförmig bewegten Beobachter stets <u>mit der gleichen Zeitdifferenz wie Lichtsignale</u>, die zur selben Zeit und an denselben Orten ausgesendet wurden wie die anderen Signale?***

Führen wir uns diesen Sachverhalt 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.




(S1)

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

(Um die relativistische Längenkontraktion brauchen wir uns nicht zu kümmern – L' und R' sollen ja nicht die relativistisch transformierten Punkte L und R sein , sondern zwei Punkte, die in ihren x-Koordinaten in Bezug auf den ruhenden Beobachter A in dem Augenblick mit L und R übereinstimmen, in dem sich – wie in der Skizze – die beiden Beobachter gegenüberstehen.)

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

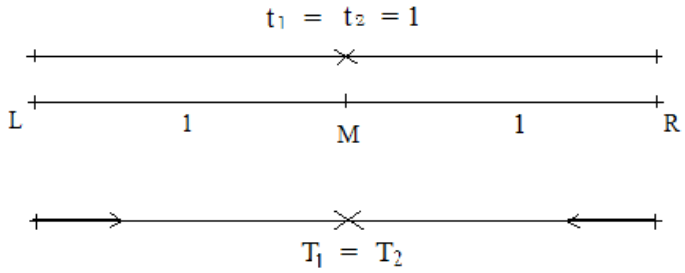
Zugleich mit den Lichtsignalen – und an denselben Orten – werden nun aber auch andere Signale erzeugt, sagen wir: Schallsignale im Metallkörper der Raumschiffe oder in der darin enthaltenen Luft. (Man könnte aber auch Gewehrkugeln abschießen oder anderswie Allotria treiben.) Zuerst treffen die Lichtsignale 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. Nur dann gilt, dass die durch Licht festgelegten Zeiten <u>universell gültig</u> sind.***

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.

Kehren wir nun wieder zu dem allgemeinen Gedankengang zurück, den wir mit diesem Beispiel illustriert haben.

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




(S2)

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

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 $v_M$ ($v_M = 0$).

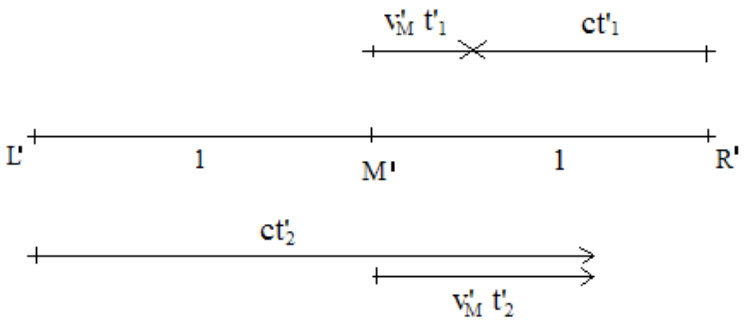
Wir gehen nun auf ein gleichförmig mit der Geschwindigkeit $v_M'$ in Richtung $\rightarrow$ bewegtes System S' über, das folgendermaßen definiert ist: Zur selben Zeit t = 0 und an denselben Orten – die wir

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, dass 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




(S3)

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

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

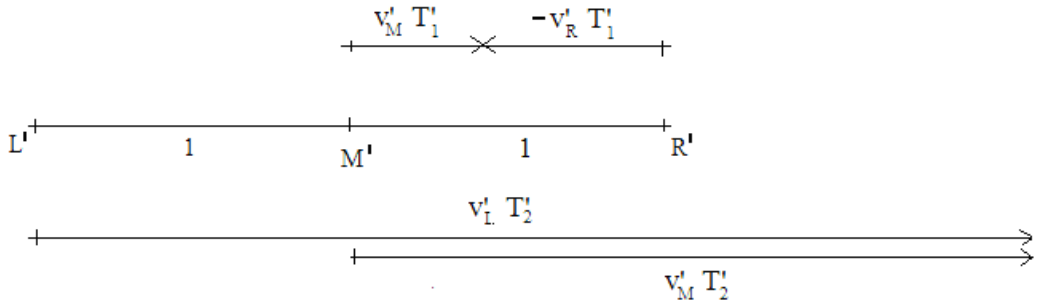
$$-(c\,(q^2 - 1)/(q^2 + 1))\,t_2' + c\,t_2' = 1\,, \qquad t_2' = (1/c)\,((q^2+1)/2)$$

Daraus folgt

$$t_2' - t_1' = (1/c)\,((q^4 - 1)/(2q^2))\,. \tag{12}$$

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.




(S4)

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

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:

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

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 Δt. 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.

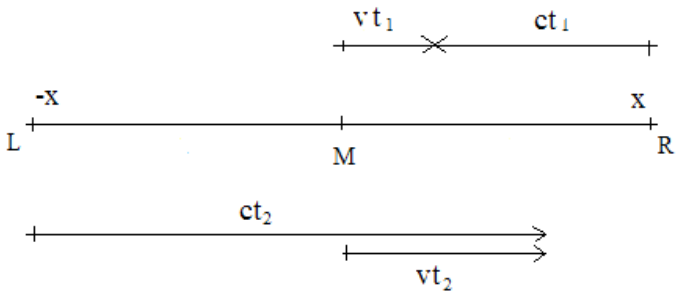
### 6.3. Ableitung der Lorentz-Transformation

Wenn *jetzt* die Zeit- und Längenverhältnisse durch Licht (auf der Basis von Δt) bestimmt werden, dann ist dies *nicht* wegen der Gültigkeit des Relativitätsprinzips und 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 folgende Szenario entspricht demjenigen, mit dem Einstein die Aufhebung der Gleichzeitig-keit.demonstriert hat.

Von L und R aus werden – gleichzeitig in Bezug auf einen in M ruhenden Beobachter – Lichtsignale ausgesendet. Die Skizze informiert darüber, wie die Zeitpunkte des Auftreffens der Lichtsignale bei einem mit v bewegten Beobachter bestimmt werden können:




(S5)

Die Skizze zeigt, dass

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

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

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 $t_R°$ des Aussendens des Signals von R (bezogen auf den bewegten Beobachter) gilt somit:

$$t_R° = -(vx/c^2)/(1 - v^2/c^2)$$

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)

$$t^\circ = t - (v\,(x - vt)/c^2)/(1 - v^2/c^2)$$

$$t^\circ = (\,t - v^2t/c^2 - vx/c^2 + v^2t/c^2\,)/(1 - v^2/c^2)$$

$$t^\circ = (\,t - vx/c^2)/(1 - v^2/c^2) \qquad (14)$$

Die Koordinate x°, die zu dieser veränderten Zeit t° gehört, ergibt sich aus

$$x^\circ = x - vt^\circ$$

$$x^\circ = x - v(\,t - vx/c^2)/(1 - v^2/c^2)$$

$$x^\circ = (\,x - xv^2/c^2 - vt + xv^2/c^2\,)/(1 - v^2/c^2)$$

$$x^\circ = (\,x - vt\,)/(1 - v^2/c^2) \qquad (15)$$

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:

$$t' = ( ( t - vx/c^2)/(1- v^2/c^2) )\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

$$t' = ( t - vx/c^2)/\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \qquad (16)$$

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

$$x' = x°\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

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

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

## 6.4. Ergänzung

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:

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

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 dem Faktor des relativistischen Dopplereffekts:

aus Gleichung (9) [ $v / c = (q^2 - 1) / (q^2 + 1)$ ] folgt

$$q = \sqrt{\frac{1 + v/c}{1 - v/c}}$$

### 6.5. Der kurze Weg zur Materie

Es hat den Anschein, als läge die Hypothese *"Es gibt nur Lichtgeschwindigkeit"* weit außerhalb, in einer geradezu absurden Distanz zur "normalen" Physik. Deshalb soll nun gezeigt werden, dass das nicht der Fall ist, sondern dass im Gegenteil sogar ein sehr kurzer Weg zu den gewohnten physikalischen Modellbildungen zurück führt.

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:

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

Transformation ins Ruhesystem S1 ergibt dann die Wellenüberlagerung

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

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 Broglieschen Darstellung, was aber natürlich auch das Maximum dessen ist, was mit unserem einfachen, eindimensionalen Modell erreichbar ist.

## 6.6. Resümee

In diesem Kapitel haben wir, wie angekündigt, die Spezielle Relativitätstheorie abgeleitet, ohne das Spezielle Relativitätsprinzip oder die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit für alle gleichförmig bewegten Beobachter zu postulieren.

Die Frage: ***"Warum gehorcht die Natur den durch Licht bestimmten Raum-Zeit-Verhältnissen?"*** haben wir wie folgt beantwortet:

***Die Natur gehorcht den durch Lichtsignale ermittelten Raum- und Zeitverhältnissen, weil es nur Lichtgeschwindigkeit und daraus abgeleitete Phänomene gibt.***

Grundlage unserer Berechnungen waren *metrische Wellen,* die sich mit Lichtgeschwindigkeit fortpflanzen.

Damit ergeben sich folgende Unterschiede zur üblichen Sichtweise:

Der Raum – was hier allerdings immer bedeutet: *der metrische Raum* bzw. *die Metrik* – ist *absolut.* Die unter gewissen Voraussetzungen (großräumige Verzerrungsfreiheit der Metrik) bestehende Symmetrie, d.h. die Gleichheit gleichförmig bewegter Systeme, betrifft somit ausschließlich die Beschreibung.

Dasselbe gilt für die Verbindung von Raum und Zeit: Sie findet nur in der Beschreibung statt, mit anderen Worten: sie gilt für Raum- und Zeit-***Messungen*** und nicht für Raum und Zeit ***selbst***. Ihre gegenseitige Abhängigkeit betrifft nur die Messwerte und ist kein Hinweis darauf, dass sie selbst ihre Eigenständigkeit verlieren und nur in Form des 4-dimensionalen Raum-Zeit-Kontinuums existieren.[24]

Das gilt auch dann, wenn Gravitation einbezogen wird: Koordinatentransformationen sind ein rein formaler Akt, der dem Informationsgewinn dient. Die *Werte der Raum- und Zeitmessungen* hängen voneinander ab und bilden eine 4-dimensionale Struktur, aber *Raum und Zeit selbst* bleiben auch hier vollkommen getrennt.

Das ist eigentlich selbstverständlich: Die Wirklichkeit *an sich* ist *Veränderung*. *An sich* gibt es keine Zeit, sondern nur Veränderung. In der Beschreibung benötigen wir jedoch *Zeit,* um diese Veränderung darzustellen. Zwischen Wirklichkeit und Beschreibung muss unterschieden werden.

Die Gleichsetzung von Wirklichkeit und Beschreibung, die Einstein vollzogen hat[25] – und viele Physiker sind ihm darin gefolgt – führt zu der falschen Idee einer Zeit, die ebenso existiert wie der Raum und bloß für uns nicht erreichbar ist; In dieser Auffassung von Zeit bleibt es dann unerklärbar, warum wir uns willentlich weder in die Vergangenheit noch in die Zukunft bewegen können.

---

[24] Vgl. 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."

[25] Nach dem Tod seines Freundes Michele Besso – am 31. 3. 1955, einige Wochen bevor er selbst verstarb – schrieb Einstein an dessen Familie: "Für uns gläubige Physiker hat die Scheidung zwischen Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft nur die Bedeutung einer wenn auch hartnäckigen Illusion."

Dazu ist zu sagen: Diese Illusion ist nicht nur hartnäckig, sondern *unüberwindbar* – einfach deshalb, weil es keine Illusion ist. Die Unbegrenztheit der Zeitkoordinate weist eben nicht, wie bei den Raumkoordinaten, auf eine unbegrenzt verfügbare Wirklichkeit hin. Tatsächlich existent ist immer nur die Gesamtheit der lokalen – miteinander kausal verknüpften und sich permanent verändernden – gegenwärtigen Momente. *An sich* gibt es nur den sich verändernden Raum, Zeit existiert nur *für uns:* wir benötigen sie, um die Veränderung des Raums zu beschreiben.

Auch in diesem Kapitel haben wir für unsere Berechnungen und Schlussfolgerungen wieder ausschließlich metrische Sachverhalte verwendet:

Die Wellen mit Lichtgeschwindigkeit, von denen wir ausgegangen sind, sind *metrische* Wellen. Sowohl Geschwindigkeit wie auch Beschleunigung wurden also auf metrische Weise definiert. Zu keinem Zeitpunkt war es erforderlich, physikalische Begriffe und Sachverhalte einzubeziehen. Alles ergab sich direkt aus dem metrischen Begründungszusammenhang.

# 7. Wellen mit Lichtgeschwindigkeit ⟶ Quantentheorie

## 7.1. Was beim Doppelspaltexperiment wirklich geschieht

Die Erkenntnisse, die wir auf dem bisher zurückgelegten Weg gewonnen haben, geben Anlass zu der Vermutung:

***Es gibt nur Wellen.***

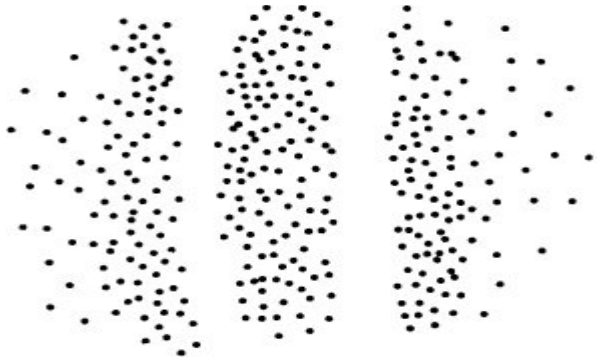
Auf diese Annahme gestützt, wenden wir uns nun der Ikone quantenmechanischer Rätselhaftigkeit zu: dem *Doppelspaltexperiment*.

Das Folgende ist ein Versuch, auf einfachst-mögliche Weise eine *realistische und lokale Interpretation* dessen zu präsentieren, was sich beim Doppelspaltexperiment tatsächlich ereignet. Um klarzustellen, um welche Art von Problemen es dabei geht, scheinen mir die Sätze geeignet, mit denen Richard Feynman, der selbst einige wesentliche Beiträge zur Quantenmechanik geleistet hat, seine Beschreibung des Experiments einleitet:

"In this chapter, we shall tackle immediately the basic element of the mysterious behavior in its most strange form. We choose to examine a phenomenon which is impossible, absolutely impossible, to explain in any classical way, and which has in it the heart of quantum mechanics. In reality, it contains the only mystery. We cannot explain the mystery in the sense of 'explaining' how it works. We will 'tell' you how it works. In telling you how it works we will have told you about the basic peculiarities of all quantum mechanics." (Feynman, Leighton, Sands, Lectures on Physics Vol. 1, 37–2, Addison-Wesley 1965)

Da es schon tausende Darstellungen des Experiments gibt, werde ich mich bei meiner Beschreibung auf das absolute Minimum an Fakten beschränken und technische Details zunächst völlig außer Acht lassen.

Wir erzeugen einzelne Elektron-Teilchen und lassen sie durch einen Doppelspalt laufen. Dabei stellen wir sicher, dass in der Versuchsanordnung jeweils nur ein einziges Elektron unterwegs ist. Hinter dem Doppelspalt befindet sich eine Detektorplatte, die das Auftreffen eines Elektrons durch einen schwarzen Punkt anzeigt. Nach einiger Zeit beobachten wir auf der Detektorplatte das folgende Muster:



Es gibt also ***Interferenz,*** und daraus folgt, dass das Elektron sich bei seinem Durchgang durch den Doppelspalt ***wellenartig*** verhalten haben muss, da aufeinanderfolgende ***Teilchen*** dieses Muster nicht erzeugen können. Die beobachtbare Folge des Erscheinens eines Elektrons auf der Detektorplatte – der schwarze Punkt – ist jedoch nur dadurch zu erklären, dass das Elektron, das dort aufgetroffen ist, nun wieder ***teilchenartig*** ist.

Der formale Zusammenhang zwischen der Welle und dem beobachteten Teilchen ist ganz einfach: die Wahrscheinlichkeit, dass das Teilchen an einer bestimmten Stelle auftritt, ergibt sich aus dem Quadrat der Wellenamplitude an dieser Stelle.

***Mathematisch*** ist also alles klar: Wir bestimmen die Gleichung der Welle und berechnen die Wahrscheinlichkeiten. Aber können wir auch ***verstehen***, was sich da ereignet?

Was ist mit der Welle, nachdem das Elektron erschienen ist? Da ja nur ***ein*** Elektron unterwegs war und wir nun ***ein*** Elektron gemessen haben, muss die Welle danach offenbar verschwunden sein. Aber wie ist das möglich? Da ihr Amplitudenquadrat die Wahrscheinlichkeit des Erscheinens des Elektrons ergibt, muss die Welle ja irgendetwas mit diesem Ereignis zu tun haben – irgendwie scheint sie es ausgelöst zu haben. Wir fühlen uns also eigentlich genötigt, ihr ***Existenz*** zuzuschreiben, umso mehr, als ja auch die Interferenz darauf hinweist, dass da ***etwas*** existiert, ***was*** interferiert – aber an der Annahme der Existenz der Welle hindert uns wiederum ihr Verschwinden. Außerdem sind wir ganz grundsätzlich mit der Frage konfrontiert, ***wie*** und ***warum*** es überhaupt zu diesem eigenartigen Übergang von der Welle zum Teilchen kommt.

Hören wir, was die Väter der Quantentheorie dazu sagen:

Nils Bohr: "There is no quantum world. There is only an abstract quantum mechanical description. It is wrong to think that the task of physics is to find out how Nature *is*. Physics concerns what we can say about Nature." (A. Petersen, Bulletin of the Atomic Scientist 19, 12 (1963))

Werner Heisenberg: "In the experiments about atomic events we have to do with things and facts, with phenomena that are just as real as any phenomena in daily life. But the atoms or the elementary particles are not as real; they form a world of potentialities or possibilities rather than one of things or facts." (Physics and Philosophy, p. 160, Allen and Unwin, London (1958))

Es verdient hervorgehoben zu werden, dass Bohrs und Heisenbergs Äußerungen die Sachlage nicht im geringsten klären. Es sind einfach Rückzugspositionen. Ich ziehe Richard Feynman's Standpunkt vor, der die Dinge beim Namen nennt und nichts beschönigt:

"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." (Richard Feynman, The Character of Physical Law, Penguin 1992, p. 129)

Auch heute, nach hundert Jahren Quantenmechanik, gibt es noch immer Physiker, Philosophen und interessierte Laien, die sich mit der Frage quälen: *Wie ist das möglich?* Aber eigentlich ist es ein *cold case.* Da ja alles zufriedenstellend funktioniert, haben sich fast alle Physiker auf einen pragmatischen Standpunkt zurückgezogen.

Wer dennoch weiter fragt, kann zwischen etlichen "möglichen Welten" wählen, die seit der Einführung der Quantenmechanik vorgeschlagen wurden. Da aber keine dieser Welten die Probleme auch nur ansatzweise löst, verzichte ich darauf, sie vorzustellen.

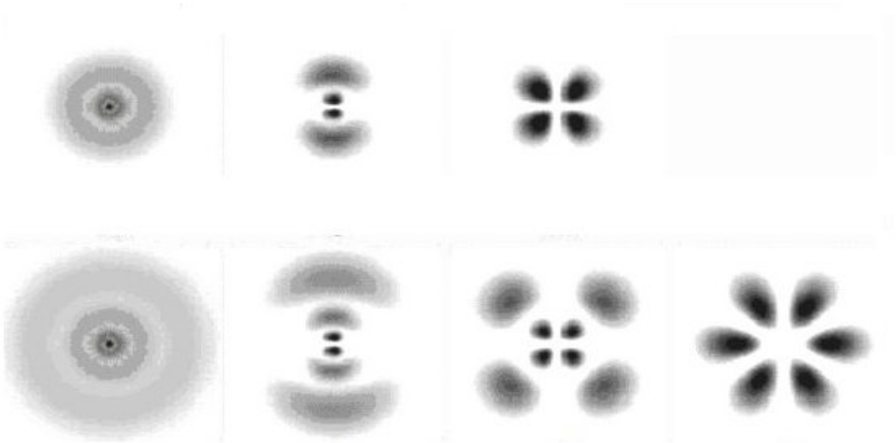
Nur eine einzige will ich erwähnen, aber eigentlich nur deshalb, weil ich ein Fan von *Fantasy* bin: die sogenannte Vielweltentheorie, die die Popkultur im Sturm erobert hat. Hier verschwindet die Welle nicht, sondern es wird angenommen, dass im Augenblick der Messung (wie auch immer man diesen Zeitpunkt bestimmen mag) das Universum sich in genau so viele fast identische Kopien seiner selbst aufspaltet, wie es mögliche Messergebnisse gibt.

Die Varianten des Universums unterscheiden sich dann voneinander nur hinsichtlich dieses Ergebnisses. Das wichtigste Element der quantenmechanischen Darstellung, die *Wahrscheinlichkeit*, geht bei diesem skurrilen Vorschlag allerdings verloren, und auch die Frage, *wie* und *warum* die Welle zum Teilchen wird, wird nicht beantwortet.

Soweit also der *Status quo.* Wenden wir uns nun, wie angekündigt, unserer eigentlichen Aufgabe zu, der Antwort auf die Frage:

***Was geschieht wirklich beim Doppelspaltexperiment?***

Zunächst betrachten wir einige mögliche Schwingungszustände einer Kugel (die Grauwerte entsprechen den Quadraten der Wellenamplituden):



(S1)

Die abgebildeten Wellenstrukturen sind *Elektronenhüllen von Atome*n.

Ausgehend von unserer Voraussetzung ***"Es gibt nur Wellen"*** nehmen wir also an:

***Elektronenhüllen <u>sind</u> dreidimensionale stehende Wellen in der Gestalt von Kugelwellen.***

*Was üblicherweise als "Zahl der Elektronen" aufgefasst wird, entspricht hier also der Zahl der Schwingungsbereiche, die durch Knotenflächen getrennt sind.*

Wenn sich ein "Elektron" aus einer solchen stehenden Welle "ablöst", dann bildet sich ein neuer Zustand mit einer Knotenfläche weniger.

Aus unserer Sicht bedeutet das: *Ein Teil der **stehenden Welle** hat sich gelöst und ist nun als **laufende Welle** unterwegs.*

Unter dieser Voraussetzung sind wir nun in der Lage, zu erklären, was beim Doppelspaltexperiment geschieht:

> Zunächst löst sich, wie soeben beschrieben, ein Elektron aus einer Hülle – ein Teil der Kugelwelle ist zu einer laufenden Welle geworden.
>
> Danach durchquert diese laufende Elektronenwelle den Doppelspalt und macht dann, wie erwartet, genau das, was Wellen tun: sie läuft auseinander und interferiert mit sich selbst. Dann trifft sie auf eine Detektorplatte.
>
> Die Detektorplatte ist aber wiederum nichts anderes als die Ansammlung einer ungeheuren Zahl von Objekten der Art, wie sie in der Skizze oben abgebildet sind. Die *laufende Elektronenwelle* trifft also überall dort, wo ihre Amplitude nicht Null ist, auf eine *stehende Elektronenwelle*.
>
> Und dann? Ganz einfach: dann addiert sich die ankommende laufende Welle zu den lokalen stehenden Wellen. Bei jeder dieser stehenden Wellen *kann* sie einen Übergang in den nächsthöheren Zustand auslösen – d.h. in den Zustand mit einer Knotenfläche mehr. Die Wahrscheinlichkeit eines Übergangs ist vom Quadrat der lokalen Wellenamplitude abhängig.
>
> In der üblichen Sichtweise bedeutet das: an dieser Stelle ist ein Elektron erschienen.
>
> Was ist mit dem Rest der laufenden Welle? Nun, sie verschwindet natürlich *nicht*, sondern addiert sich, wie gesagt, *überall* zu den stehenden Wellen und erhöht dadurch die Wahrscheinlichkeit künftiger Übergänge.

Das ist schon alles! Der ganze Vorgang ist auf diese extrem simple Weise erklärbar.[26]

Aber sogar im Rahmen dieser ultrakurzen Erklärung ist es angebracht, zumindest auf eine Frage einzugehen, die sich sofort aufdrängt.

Sie lautet: Die nach dem Doppelspalt auseinanderlaufende Elektronenwelle ist schon in geringer Entfernung vom Doppelspalt auf makroskopische Dimensionen ausgedehnt. Ihre lokale Amplitude ist somit überall winzig klein.

*Wie sollte sie also einen Übergang auslösen können?*

Die Antwort ist einfach: Es verhält sich bei stehenden Elektronenwellen genauso wie *immer* bei stehenden Wellen. Wenn wir sie in einem bestimmten, durch die Anzahl der Knotenflächen

---

[26] Die Erklärung des Spins kann erst im Kapitel 9 durchgeführt werden.

definierten Zustand beobachten, dann folgt daraus keineswegs, dass sie *identisch* sind. Einige von ihnen können sich ganz nahe am "Sprung" in den nächsthöheren Zustand befinden, andere ebenso nahe am Sprung in den nächstniedrigeren, viele werden im mittleren Bereich liegen.[27]

Es ist also bloß erforderlich anzunehmen, dass an irgendeinem Ort auf der Detektorplatte der Zustand der lokalen stehenden Elektronenwelle so nah am Sprung nach oben liegt, dass das lokale Amplitudenquadrat der laufenden Elektronenwelle ausreicht, diesen Sprung auszulösen.

Eine wichtige Folgerung aus dieser Erklärung ist, dass das Elektron, das *nach* dem Doppelspalt erscheint, keineswegs mit dem Elektron identisch ist, das *vor* dem Doppelspalt erzeugt wurde:

Der Anteil, den dieses zuvor erzeugte Elektron an der stehenden Welle hat, die soeben einen Sprung in den höheren Zustand vollzogen hat, ist nach dem soeben Gesagten verschwindend gering. Der überwiegende Teil der gesamten stehenden Welle – und damit auch der überwiegende Teil des zusätzlichen Schwingungsbereichs, der durch den Sprung entstanden ist (das "zusätzliche Elektron") – besteht aus Wellen, die schon *vor* dem Auftreffen der laufenden Welle vorhanden waren.

Kurz gesagt: ***Das detektierte Elektron ist nicht identisch mit dem zuvor erzeugten Elektron.***

(Siehe dazu auch die Ausführungen im Kapitel *Schluss* auf Seite 315.)

**Bemerkung:**

Seit mehr als hundert Jahren ist der Bereich quantentheoretischer Interpretation ein Tummelplatz der abstrusesten Ideen. Das Eingeständnis des Nicht-Wissens könnte akzeptiert werden, aber seine Verschleierung durch Produktion von Unsinn ist unverzeihlich. Ich werde auf diese Interpretationen nicht eingehen.

---

[27] Man denke etwa an stehende Luftwellen in einem Rohr, die durch Anblasen des Rohrs erzeugt werden. Auch sie können nur in einer diskreten Folge von Zuständen existieren, nämlich in genau denjenigen, bei denen die Länge des Rohrs ein ganzzahliges Vielfaches der halben Wellenlänge ist. Auch wenn der Zustand der Welle ganz nah am Sprung in den nächsthöheren – oder in den nächstniedrigeren – Oberton liegt, hören wir immer noch (fast) denselben Ton. Aber schon die geringste Änderung der Lippenspannung reicht dann aus, um diesen Sprung auszulösen.

Würde man dem Sprachgebrauch der Quantenmechanik folgen, dann müsste man die Schwingungsbereiche im Inneren der Rohre als "Teilchen" bezeichnen, und die Unterschiede zwischen den Gesamt-Schwingungszuständen in verschiedenen Rohren würde man als Unterschiede der Wahrscheinlichkeitsamplituden von Zuständen auffassen, die sich in diesen Rohren überlagern.

Nur ganz wenige Physiker haben ernsthaft versucht, vernünftige Lösungen zu finden. Die Bekanntesten unter ihnen sind Schrödinger und Einstein. Allerdings waren ihre Erklärungsversuche unzureichend:

Schrödinger hatte zunächst gehofft, er könnte mit seiner "Wellenfunktion" Wellenpakete erzeugen, die eng lokalisiert bleiben. Er wollte also *Teilchen* durch Wellen modellieren und damit die explizite Annahme von Teilchen, d.h. den Welle-Teilchen-Dualismus, vermeiden. Bohr bewies ihm jedoch, dass das nicht möglich ist, weil die Wellenpakete (fast) immer auseinanderlaufen.

Einstein hingegen wollte – zweifellos motiviert durch seinen Erfolg bei der Beschreibung des Lichtelektrischen Effekts – die klassische Vorstellung der selbständigen Existenz von Größen wie *Ort* und *Impuls* aufrecht erhalten, in der Gestalt des sogenannten "objektiven Dualismus" (Teilchen innerhalb von Führungswellen). Wie sich schließlich herausstellte, ist es aber genau diese Annahme, die den Bellschen Beweis der Nichtlokalität ermöglicht und somit dazu dient, Einsteins eigene Überzeugung zu widerlegen. (Mehr darüber im Kapitel 8.)

Sowohl Schrödinger als auch Einstein sind also letztlich durch ihr Festhalten an der Vorstellung gescheitert, dass Elektronen – und andere Elementarteilchen – lokalisierte Entitäten sind, deren Existenz durchgehend erhalten bleibt.

Gemäß der obigen Erklärung des Doppelspaltexperiments ist diese Annahme jedoch falsch.

**Über das weitere Vorgehen:**

Die Behauptung *"Es gibt nur Wellen"* steht offensichtlich im Gegensatz zum Welle-Teilchen-Dualismus, der nach allgemeiner Überzeugung für die Beschreibung quantenmechanischer Szenarien unverzichtbar ist. Um diese Überzeugung zu widerlegen, ist es erforderlich, zu zeigen, dass auf das Konzept "Teilchen" – jedenfalls in seiner üblichen Form – verzichtet werden kann.

Wir werden mit jenen Szenarien beginnen, durch die der Dualismus der Strahlung in die Physik Eingang fand: mit dem Lichtelektrischen Effekt und dem Compton-Effekt. Danach werden wir uns mit dem Dualismus der Materie befassen. Die grundlegenden Sachverhalte, die zur Beseitigung des Dualismus benötigt werden, sind bereits in der kurzen Erklärung des Doppelspaltexperiments enthalten. Sie bedürfen jedoch noch der Verallgemeinerung.

In allen Fällen wird sich herausstellen, dass der Verzicht auf das Konzept "Teilchen" nicht nur ohne Verlust durchgeführt werden kann, sondern dass er sogar notwendig ist, um eine klare und

widerspruchsfreie Vorstellung davon zu gewinnen, was sich in quantenmechanischen Szenarien wirklich ereignet.

Dem bisherigen Aufbau entsprechend werden die Begründungen in allen Fällen wieder rein metrisch sein, und die Verbindung zur bekannten Physik – und damit zugleich mit erfahrbaren Tatsachen – wird dann durch Definitionsgleichungen hergestellt.

## 7.2. 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

$$h\nu = A + \frac{m v^2}{2} \qquad (A \ldots \text{ Ablösearbeit}) \qquad (1)$$

Wenn die Wechselwirkung auf diese Weise dargestellt wird, stimmt das Resultat mit dem Experiment überein. Insofern ist es gerechtfertigt, dies als erfolgreiche Beschreibung aufzufassen.

Unseren Voraussetzungen zufolge müssen wir zu demselben Ergebnis auf Basis der Annahme gelangen, 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: Wenn das Elektron eine Welle ist, dann muss im Elektron eine Schwingung existieren. Die Frequenz dieser Schwingung bezeichnen wir mit $\nu$. Für ein ruhendes Elektron setzen wir

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

(Das ist die bekannte Voraussetzung von Louis de Broglie bei seiner Einführung der "Materiewellen".) Für ein mit der Geschwindigkeit v bewegtes Elektron ergibt die Lorentz-Transformation

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

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

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

Für nichtrelativistische Elektronen ist v klein gegen c und daher gilt

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

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[28] 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

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

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)

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

(Die zweite Frequenz diskutieren wir gleich anschließend.)

---

[28] Es kann natürlich nicht behauptet werden, das Elektron *sei* diese Schwingung. Aber aus der Tatsache, dass diese Schwingung auftritt, lassen sich Schlüsse ziehen.

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

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

***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

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

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.)

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

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

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

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

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

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

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

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 für die Geschwindigkeit der austretenden Elektronen 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 wieder der Kern der neuen Interpretation erkennbar:

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

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 $-\delta_\nu$ 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):

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

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

– 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 *kausal* und *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*.[29]

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.

[29] Vollständig ist diese Rückführung allerdings erst dann, wenn die Einheit der Masse als selbständiges Konzept beseitigt ist, so dass h seine Rolle als Bindeglied zwischen Wellen und Teilchen verliert. Das haben wir im Kapitel 4 über Gravitation durchgeführt.

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.

## 7.3. 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

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

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.

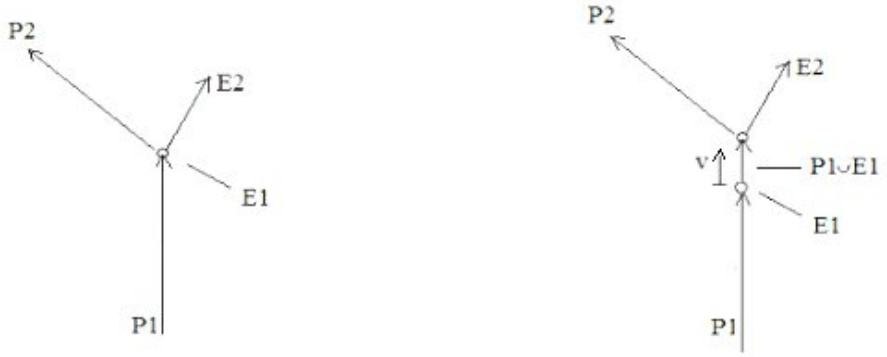
Von dem hier eingenommenen Standpunkt aus besteht der Unterschied zwischen beiden Effekten demnach darin, dass beim LE die beiden Wellen eine dauernde Superposition bilden, während sie sich beim CE wieder trennen.

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:




(S2)

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

Der ganze Prozess lässt sich also wie folgt beschreiben:

Das ruhende Elektron E1 vereinigt sich mit dem Photon P1. Es wird dadurch zu $E_+$. ($E_+ = P1 \cup E1$). $E_+$ bewegt sich mit der Geschwindigkeit v. $E_+$ gibt das Photon P2 ab und wird zum Elektron E2.

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. E1' bewegt sich also relativ zu S' mit –v.

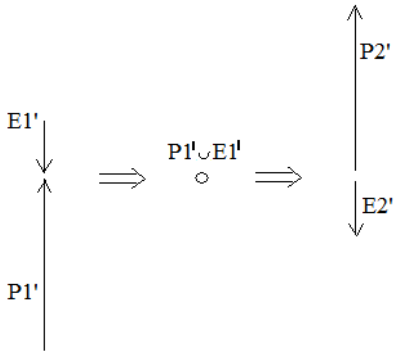
Ein mit v bewegtes Elektron hat eine de Broglie-Wellenlänge von

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

Bezüglich S' gilt also:

(1) Die Wellenlänge von E1' 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 P1' zu E1' hin bewegt hat.



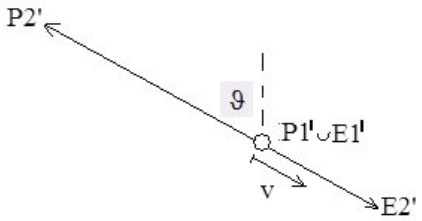

(S3)

Dann ist der Trennungsprozess TP(0°) offenbar die Umkehrung des Vereinigungsprozesses VP, und das führt zu

P2' = P1' und E2' = E1'.

E2' hat dann in S' wieder (so wie vorher E1') die Geschwindigkeit –v. P2' 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.




(S4)

Gegenüber dem Trennungsprozess TP(0°) ist dieser Trennungsprozess TP( ϑ ) 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( ϑ ) hervorgegangene Photon ist bis auf die Richtung identisch mit dem aus TP(0°) 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 $\lambda_B = \lambda_C \frac{c}{v} k$ 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° bis 360°. 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 Symmetrieannahmen 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, die Erklärung des Doppelspaltversuchs zu verallgemeinern, mit anderen Worten: den Messprozess zu analysieren.

## 7.4. Der Messprozess

"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."[30]

[30] Werner Heisenberg, Phys. Bl. 12 (1956), S. 300.

Ich habe dieses Zitat ausgewählt, weil die zwei Punkte, die Heisenberg hervorhebt, noch immer aktuell sind:

Es gibt bis heute keinen vernünftigen Vorschlag, wie sich bei der Messung "der Übergang vom Möglichen zum Faktischen vollzieht". In unserer Beschreibung des Doppelspaltexperiments wird er einfach durch Addition von Wellen und den dadurch verursachten Übergang von einem Zustand der stehenden Welle in den nächsthöheren Zustand erklärt – ein bei stehenden Wellen vollkommen selbstverständlicher Sachverhalt.

Damit ist dann zugleich das "überall zu beobachtende Element von Diskontinuität" auf einsichtige Weise erklärt, und zwar ganz offensichtlich "anders als in der üblichen Deutung", d.h. eben *nicht* durch die Annahme einer Entität namens "Teilchen".

Um diesen "Übergang vom Möglichen zum Faktischen" – die sogenannte "Reduktion der Wellenfunktion", die beim Messprozess stattfindet – zum quantenmechanischen Beschreibungsschema in Beziehung zu setzen, werden wir nun einen kurzen 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.

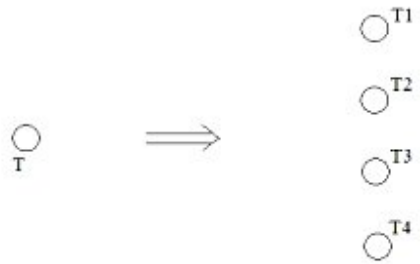
Soweit die Vorgaben, deren Gültigkeit in einem so hohen Maß bestätigt ist, dass sie als Fakten gelten können. Nun aber beginnt schon der Bereich der Interpretation:

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.

Nennen wir dies die Hypothese (H1). Sie bildet das Fundament der gegenwärtigen Interpretation des quantenmechanischen Messprozesses:

(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:




(S5)

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 im Lauf der aktuellen Mess-Serie erzeugt worden sind und von anderen, mit T formal identischen Mess-Objekten stammen.

Bei dem in (S5) dargestellten Schema gilt also – im Gegensatz zur üblichen Interpretation:

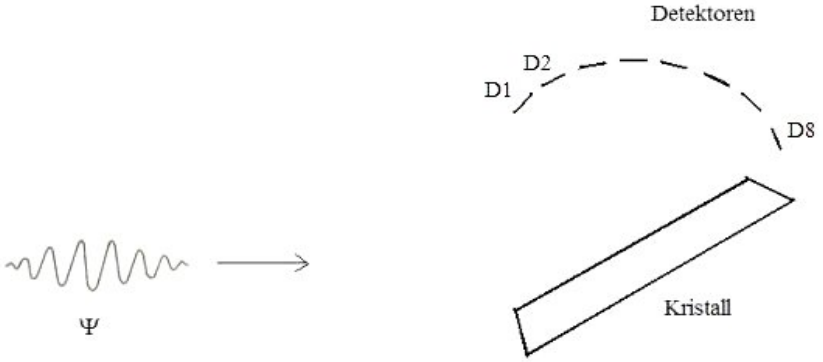
**T3 ist *nicht* dasselbe Objekt wie T**. Einerseits enthält T3 nicht nur Wellen aus T, und andererseits enthält T auch Wellen, die nicht zum Ereignis T3 beitragen, sondern zu (möglichen) späteren Ereignissen T1, T2 und T4.

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:




(S6)

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 Ψ 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 Amplituden der Wellen mit identischer Wellenlänge werden summiert, bis es im betreffenden Detektor zu einem Übergang kommt: ein charakteristisches Wellenmuster entsteht – eine Impulsmessung hat stattgefunden (die auch hier wieder im Allgemeinen nicht die Folge einer

einzelnen Wellengruppe ist, sondern der Summierung der Amplituden von Wellen aus mehreren Wellengruppen bedarf).

Hier ist 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 Wellenamplituden *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.

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 Wellenmusters X stammen, verteilen sich entsprechend ihrer formalen Beschreibung – sie laufen also *tatsächlich* auseinander – und tragen zur Entstehung eines anderen Wellenmusters X bei, das dieselbe Bezeichnung X aber nicht deshalb verdient, weil es *substanziell*, sondern weil es *formal* identisch mit dem ersten ist.

## 7.5. Die zentrale Annahme der lokalen und objektiven Interpretation

Unsere lokale und objektive Interpretation der Quantentheorie beruht im Grunde auf einer einzigen Annahme. 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.[31]

Daraus folgt unmittelbar, dass ***keine Reduktion der Wellenfunktion*** stattfindet; Was existiert, kann nicht verschwinden.

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:

***Die Phänomene, die üblicherweise als "Teilchen" bezeichnet werden, sind stationäre Zustände von Wellen – im einfachsten Fall stehende Wellen bzw. durch Knotenflächen getrennte Schwingungsbereiche stehender Wellen – oder Übergänge zwischen solchen Zuständen. Außerhalb dieser Zustände gibt es nur laufende Wellen oder auseinanderlaufende Wellengruppen; der Begriff "Teilchen" verliert dann seinen Sinn.***

***Da die Identität des anfangs durch einen Übergang erzeugten und schließlich ebenfalls durch einen Übergang gemessenen "Teilchens" nun aufgehoben ist, ist die Behauptung seiner Existenz zwischen Erzeugung und Messung irreführend.***

Wellen *und* Teilchen – oder sagen wir besser: Gegenstände – gibt es also nur im Bereich der Phänomene. Die fundamentale, ursächliche Ebene der Wirklichkeit ist wellenartig.

---

[31] 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* werden, 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.

## 7.6. Interpretation des Formalismus

Das Programm dieses Buchs ist die Errichtung der Beschreibung der Wirklichkeit auf einer rein metrischen Basis. Da die Gleichungen (0) und (1), die die Erzeugung der Wirklichkeit repräsentieren, nur metrische Sachverhalte enthalten, ist auch alles, was daraus ableitbar ist, rein metrischer Natur. Das gilt also auch für die Wellen, die wir im Kapitel 3 abgeleitet haben und von denen wir annehmen, dass sie für die Entstehung der Wirklichkeit von fundamentaler Bedeutung sind.

Ich wiederhole das an dieser Stelle, weil Existenz und Erfolg der Quantentheorie geradezu als Rechtfertigung für dieses Programm aufgefasst werden können. Wie sich herausstellen wird, kann mit guten Gründen Folgendes 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 erfahrbaren Gegenstandswelt entstammen. Sie bildet die Verbindung – gewissermaßen die "Schnittstelle" – dieser beiden Bereiche.***

Die dafür notwendige Argumentation wird dann zugleich dazu dienen, den Formalismus zu begründen und begreiflich zu machen.

Wir werden zunächst mit einem Beispiel beginnen – dem historisch ersten und immer noch populärsten Fall von *Unschärfe:* derjenigen von Ort und Impuls – und das daran erkennbare Prinzip verallgemeinern und auf den quantenmechanischen Formalismus übertragen:

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 wurde aber klar, dass es sich um eine Begrenzung handelt, die für die Natur selbst gilt.

Zu diesem Zeitpunkt war bereits bekannt, dass Objekte in atomaren Größenordnungen durch die von de Broglie entdeckten Materiewellen beschrieben werden können, und dass Energie und Impuls solcher Objekte durch die Gleichungen

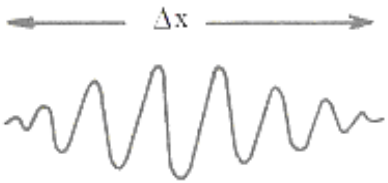
$$E = h\nu \quad \text{und} \quad p = h * 1/\lambda$$

gegeben sind. Damit waren eigentlich alle Voraussetzungen vorhanden, die für das Herstellen des Zusammenhangs zwischen den beiden Welten benötigt werden: zwischen der abstrakten kausalen metrischen Welt aus Wellen und der konkreten erfahrbaren Welt der Gegenstände, von der die Physik bis dahin handelte:[32]

Erstens war die *Wellenart* bzw. *Wellenklasse* bekannt, durch die Energie und Impuls definiert sind: Materiewellen sind *Sinuswellen* – und zweitens existierte eine umkehrbar eindeutige Beziehung zwischen den Werten der Welleneigenschaften *Frequenz* und *Wellenlänge* und den Werten der zugeordneten Objekteigenschaften *Energie* und *Impuls*.

Leider war aber keiner der Physiker imstande, diesen Zusammenhang richtig zu interpretieren – außer Schrödinger, dessen Versuch aber, wie erwähnt, scheiterte.

Hätte man erkannt, dass Elektronen oder andere Objekte dieser Größenordnung durch Wellengruppen aus Materiewellen nicht nur *dargestellt* werden können, sondern dass sie tatsächlich solche Wellengruppen *sind*, dann wäre es auch keineswegs verwirrend, sondern selbstverständlich gewesen, dass für die Größen *Ort* und *Impuls* eine "Unschärferelation" gilt. Unserer realistischen Auffassung zufolge ist das einfach deshalb der Fall, weil bei räumlich begrenzten Wellenzügen (Wellenpaketen) wie in der folgenden Skizze




(S7)

[32] Im Bereich der Gravitation hatte Einstein diese Verbindung bereits hergestellt, allerdings ohne den metrischen Begründungszusammenhang, den wir im Kapitel 4 dargestellt haben.

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 $\Delta x$ ist, umso größer ist das Intervall der benötigten Wellenlängen. Je genauer umgekehrt die Wellenlänge – und damit in unserem Fall zugleich die Geschwindigkeit (bzw. der Impuls) – festgelegt ist, desto größer wird die Ortsunschärfe $\Delta x$. In Verbindung mit der Definitionsgleichung

$$p = h * 1/\lambda$$

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 Zustände von Wellen ***sind*** und dass ***deshalb*** 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 sind Sinuswellen zugeordnet, dem Ort Pulswellen (das sind Wellen, deren Amplitude nur in einem Punkt ungleich 0 ist).

2. Voraussetzung für die Zuordnung ist, dass eine eineindeutige Beziehung zwischen der Welleneigenschaft (Wellenlänge bzw. Amplitude) und der zugeordneten Objekteigenschaft (Impuls bzw. Ort) besteht. Diese Bedingung ist hier erfüllt.

3. Zwischen den Werten der beiden Objekteigenschaften besteht eine Unschärferelation. *Diese Unschärfe ist ein rein wellenmathematisches Faktum* (mehr dazu gleich anschließend). Sie wird auf die beiden Objekteigenschaften 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, ist es bei unserer 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 ursprünglichen, einfachen 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 Kugeloberflächen – 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* besteht.[33] 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 Attribute.

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 daher eine rein wellenmathematische – und als solche vollkommen verständliche – Gesetzmäßigkeit, die auf die Attribute durch deren Definition übertragen wird.[34]

---

[33] Bei einer Zerlegung in zwei solche Wellenklassen kann das Produkt der *Bandbreiten* nicht kleiner als 1 werden.

[34] Ich betone nochmals: da es nur Wellen gibt, *müssen* alle kausalen Zusammenhänge auf Wellen zurück-

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) ein Wellenpaket, dessen Teilwellen zu verschiedenen Messereignissen beitragen. (Siehe das Schema von 7.4.)

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 mit der entsprechenden Eigenschaft – 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 7.4. 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.* Erst durch diese Neuformation der Messobjekte können die Wellen, die der Zustandsvektor enthält, zu *gemessenen Eigenschaften* werden, mit anderen Worten: kann das Mögliche zum Wirklichen werden.

---

geführt werden. Daher ist die Zuordnung der Eigenschaften von Gegenständen zu Wellenklassen ein *notwendiger* Akt, der sich in der Physik genau zu dem Zeitpunkt vollzogen hat, als sie in Größenordnungen vorgedrungen war, bei denen sich die fundamentale Wellennatur der Wirklichkeit offenbarte.

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:

Im Kapitel über Relativitätstheorie wurde Bewegung (Geschwindigkeit) von Objekten durch *Superposition von Wellen* definiert, Änderung der Bewegung durch Änderung der Frequenzen. Materiewellen wurden durch Lorentz-Transformation stehender Sinuswellen erzeugt. Damit ist die konzeptionelle Basis für die Definition von Energie und Impuls geschaffen, und es kann eingesehen werden, warum die Eigenschaft *Energie* der (ungerichteten) Größe *Frequenz der Materiewellen* zugeordnet ist und die Eigenschaft *Impuls* der (gerichteten) Größe *Wellenlänge der Materiewellen*.

Formal wurden diese Definitionen bei der Beschreibung von Photoeffekt (7.2.) und Compton-Effekt (7.3.) demonstriert und bestätigt.

Warum in atomaren und molekularen Größenordnungen Spin und Drehimpuls *Kugelflächen-funktionen* (stehende Wellen auf Kugeloberflächen) zugeordnet sind, wird im Kapitel 9 ab Seite 200 erklärt.

Damit sind bereits einige der wichtigsten Zuordnungen auf einsichtige Zusammenhänge zurückgeführt.

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.

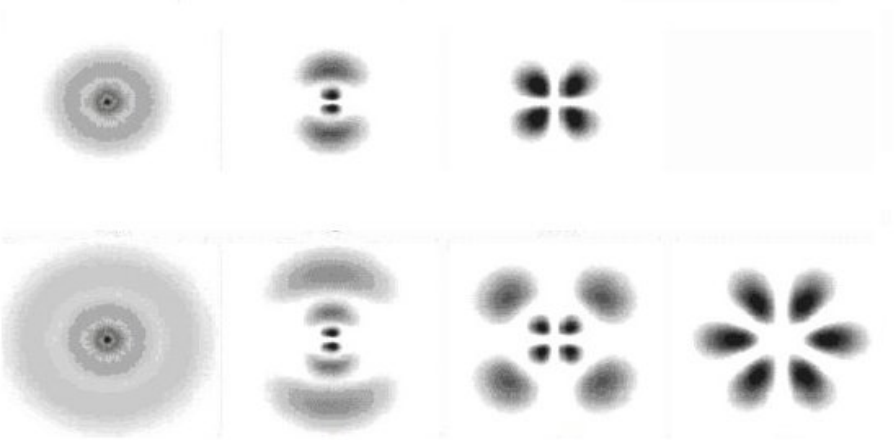
Ich wiederhole die anfangs aufgestellte Behauptung, die nun durch unsere Argumentation hinreichend begründet ist:

***Die Quantentheorie ist genau jene Theorie, die es ermöglicht, das Fundament der Wirklichkeit, das ausschließlich aus Wellen besteht, durch Größen zu beschreiben, die der erfahrbaren Gegenstandswelt entstammen. Sie bildet die Verbindung – gewissermaßen die "Schnittstelle" – dieser beiden Bereiche.***

Wie gezeigt wurde, wurzelt die mehr als 100 Jahre dauernde und bis in die Gegenwart reichende erkenntnistheoretische Verwirrung also nicht im quantenmechanischen Formalismus selbst, sondern in dessen Interpretation: erst die Unfähigkeit, sich von gegenständlichen Denkmustern zu lösen, erzeugt Paradoxien und führt zum Verlust jeglichen Verständnisses der Wirklichkeit.

## 7.7. Schlussbetrachtung

Hier nochmals die Bilder der Elektronenhüllen. In der Standardinterpretation werden die abgebildeten Strukturen als "Dichteverteilungen" bezeichnet, d.h. das Amplitudenquadrat der Welle ergibt die Wahrscheinlichkeit, dass sich dort ein Elektron befindet. (Genau wie bei der laufenden Welle nach dem Doppelspalt.)



Wir können nun entweder behaupten, diese Wellenfunktionen seien nichts als mathematische Hilfsmittel zur Bestimmung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit des (punktförmigen?) Elektrons – mit all den bekannten absurden Konsequenzen, oder wir akzeptieren, was eigentlich evident ist: dass sich

alle diese Bilder auf wirklich existierende Wellenzustände beziehen. Dann verschwinden alle Absurditäten, und die Zusammenhänge werden einsichtig.[35]

Seit ich meine Erklärung des Doppelspaltversuchs gefunden habe, hat mich die Frage beschäftigt, warum es diese Erklärung – die ich vom ersten Augenblick an für so einfach und selbstverständlich hielt, dass sie mir fast unabweisbar schien – bisher noch nicht gab. Die Schwierigkeiten, die sich ihr in den Weg stellen, sind doch den Absurditäten der üblichen Interpretationen bei weitem vorzuziehen![36]

Ich glaube, dass der Grund für ihr Fehlen vor allem in der Art liegt, wie die Physik sich entwickelt hat. Die Newtonsche Physik beruhte fast ausschließlich auf der Vorstellung von Teilchen, die miteinander wechselwirken. Diese Vorstellung war so dominant, dass z.B. Christiaan Huygens große Schwierigkeiten hatte, sich mit seinem Beweis für die Wellennatur des Lichts durchzusetzen.

Als sich schließlich neben der Teilchenmathematik doch die Wellenmathematik gleichberechtigt etabliert hatte, stieß man bei der Beschreibung der Wechselwirkung von Wellen (Licht) und Teilchen (Elektronen) auf Probleme. Die Lösungen, die Einstein und Compton fanden, führten dann zum sogenannten Welle-Teilchen-Dualismus, der die Grundlage der gegenwärtigen Interpretation bildet.[37]

Die Teilchenvorstellung ist also aus der Physik kaum wegzudenken. Tatsächlich ist der Teilchenbegriff jedoch völlig vage. Seine einzigen beiden klaren Charakteristika sind *Diskretheit und räumliche Begrenztheit* der Ereignisse – das sind aber genau die Eigenschaften stehender Wellen und der Übergänge zwischen ihren Zuständen. (Messereignisse sind *immer* solche Übergänge!)

---

[35] In meinem Buch *Der Begriff der Wirklichkeit* wird ab Seite 142 die lokale und realistische Interpretation der Quantentheorie auf bekannte Experimente angewendet. Etliche der bekannten "Paradoxien" können dadurch aufgeklärt werden.

[36] Etwa die Frage, warum nie mehrere Elektronen gleichzeitig erscheinen. Das ist offensichtlich kein grundsätzliches ontologisches Problem, sondern bloß ein Problem der korrekten Modellierung der Reihenfolge der Ereignisse. Diese lässt sich durch Austauschprozesse zwischen den stehenden Elektronenwellen darstellen – allerdings nur auf Basis von *ad-hoc* Annahmen, weshalb ich hier darauf verzichtet habe. (Im *Begriff der Wirklichkeit*, beginnend S.123 unten, habe ich diese Prozesse kurz kommentiert.)

[37] Wie wir gezeigt haben, ist aber sowohl beim Lichtelektrischen wie auch beim Compton-Effekt der Verzicht auf "Teilchen" nicht nur verlustfrei möglich, sondern sogar eine notwendige Bedingung für das Erlangen einer verständlichen Erklärung und das Zurücklassen der Absurditäten der Standardinterpretation.

Schließlich ist es aber wohl auch unser alltägliches Welt-Erleben, das uns die Teilchenvorstellung suggeriert. Wir leben in einer Welt von Objekten, die sich uns überwiegend als feste Körper präsentieren. Der erste Weg in die Abstraktion führt also fast zwangsläufig zur Annahme von "Teilchen" als Basis der Wirklichkeit.

Auch die übliche Art der Präsentation des Doppelspaltexperiments steht ganz im Bann dieser Suggestion. Die Modellvorstellung: "Ein Elektron-Teilchen löst sich von einem Atom oder Molekül, durchquert einen Doppelspalt, verhält sich dabei irgendwie wellenartig und erscheint schließlich wieder als Teilchen auf einer Detektorplatte" entspricht im Grunde der Vorstellung eines Ballwurfs: "A wirft einen Ball, dann fliegt der Ball eine Zeitlang, schließlich fängt B ihn auf" – natürlich abgesehen davon, dass der Ball, anders als das Elektron, immer ein Ball bleibt und nicht unterwegs vorübergehend in einen wellenartigen Zustand übergeht, was dann eben den unerklärbaren Teil der Beschreibung darstellt.

Vom hier eingenommenen Standpunkt aus ist diese Modellvorstellung vollkommen ungeeignet.

Schon das Verständnis des Elektrons als "Objekt" ist problematisch: ist der Schwingungsbereich einer stehenden Welle, der sich zwischen zwei Knotenflächen befindet, ein Objekt? Es mag irgendwie gerechtfertigt oder zumindest verständlich erscheinen, ihn als Objekt aufzufassen, und dasselbe gilt für die nach dem Doppelspalt auseinander laufende Welle, die dann das "Elektron" repräsentiert. Aber es ist völlig falsch, anzunehmen, dass das *detektierte Elektron* in irgendeinem Sinn *dasselbe Elektron* ist wie dasjenige, das kurz zuvor erzeugt worden ist.

(In der Ballwurf-Analogie würde das bedeuten: *Der gefangene Ball* ***ist nicht*** *der geworfene Ball.*)

Der Vorteil des soeben präsentierten Szenarios ist offenbar, dass es völlig frei von all den Absurditäten ist, die sowohl in der Standardinterpretation als auch bei allen Alternativ-Varianten unvermeidlich sind.

Einer realistischen und lokalen Interpretation scheint jedoch der Bellsche Beweis der Nichtlokalität im Weg zu stehen. Im nächsten Kapitel werden wir zeigen, dass dieser Beweis nicht mehr durchführbar ist, wenn das Erklärungsschema des Doppelspaltversuchs auf das sogenannte Einstein-Podolski-Rosen Szenario angewendet wird.

Das Modell der "Elektronenhülle", das meiner Erklärung zugrunde liegt, ist allerdings nur eine Näherung, und außerdem ist es unvollständig. Eine *Näherung* ist es, weil die obigen Bilder Lösungen der Schrödingergleichung für Ein-Elektron-Atome sind. Für mehrere Elektronen müssen

Anpassungen vorgenommen werden. *Unvollständig* ist es, weil vor allem zwei wichtige Elemente der quantenmechanischen Darstellung fehlen: Bahndrehimpuls und Spin.

Im Kapitel 9 werden wir eine metrisch-dynamische Rekonstruktion des quantenmechanischen Atommodells durchführen. Der Bahndrehimpuls lässt sich mit Hilfe der Vorstellung ergänzen, dass die in der Skizze abgebildeten Kugelwellen in Drehung versetzt werden. Die Erklärung des Spins erfordert eine etwas aufwendigere Analyse.

Für eine vollständige realistische Interpretation des Geschehens beim Doppelspaltversuch müssen außerdem noch folgende Fragen geklärt werden:

*Was schwingt bei Elektronenwellen?* Und ebenso: *Was schwingt bei "Photonen"?* Ferner: *Was haben Lichtwellen und Elektronenwellen gemeinsam, was unterscheidet sie?*

Diese Fragen werden im Kapitel 9 beantwortet. Es wird sich zeigen, dass für den metrisch-dynamischen Aufbau des quantenmechanischen Atommodells die Annahme erforderlich ist, dass Elektronen *Wellen der metrischen Dichte des Winkels* sind, die wir im Kapitel 3 abgeleitet haben.

Zuletzt soll noch auf Folgendes hingewiesen werden: Bei allen Darstellungen quantenmechanischer Messprozesse in diesem Kapitel ist erklärt worden, *wie* und *warum* das Messereignis erfolgt. Was jedoch fehlt, ist eine detaillierte Beschreibung des Ablaufs der Mess-Serien, die dem tatsächlich beobachteten Verlauf entspricht.

Es ist zwar nicht allzu schwierig, diesen Verlauf im Computer zu simulieren, aber diese Simulation erfordert Zusatzannahmen – Austauschprozesse zwischen den lokalen stehenden Wellen – die ihre Existenz hauptsächlich dem Zweck verdanken, Übereinstimmung mit der Wirklichkeit zu erreichen. Das macht sie unattraktiv. Deshalb habe ich auf solche Simulationen verzichtet. Ich glaube, dass der Weg zu einer detaillierten Beschreibung quantenmechanischer Mess-Serien nur mit experimenteller Unterstützung sinnvoll ist.

**Bemerkung:**

Bei meinen Ausführungen zur Quantentheorie geht es ausschließlich um eine Änderung der Interpretation. Der Formalismus selbst bleibt unangetastet. Ich halte es allerdings für einen schwerwiegenden Fehler, Interpretationsprobleme zu missachten: Die Interpretation trägt wesentlich zur Bestimmung künftiger Ziele der physikalischen Forschung bei, und die hier vorgeschlagene Interpretation gibt Anlass zu der Vermutung, dass die längst fällige Überwindung

des sogenannten "Standardmodells" der Teilchenphysik bisher an der Überzeugung gescheitert ist, die Weiterentwicklung der Physik beruhe vor allem auf der Entdeckung neuer "Teilchen".

Um nur einen Aspekt zu nennen: die Annahme von *Teilchen* verschleiert die bei der Annahme von *Wellen* selbstverständliche Tatsache, dass es für die Linearität der Darstellung – und das heißt: für die Quantentheorie in ihrer jetzigen Form – irgendwo eine Grenze geben muss. Ich vermute, dass das im Atomkern der Fall ist.

In diesem Bereich, der durch die Theorie der *Starken Wechselwirkung* beschrieben wird, treten die Seltsamkeiten der Standardinterpretation besonders deutlich hervor. Folgendermaßen:

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?*

Aufgrund der Interferenz kann ja nicht bezweifelt werden, dass in beiden Strahlen *irgendetwas* vorhanden sein *muss*, und dann ist die Frage, wo nun die Quarks sein sollen, offensichtlich unbeantwortbar.

Dieser Widerspruch kann nur auf zwei Arten vermieden werden: entweder durch Nicht-Fragen – oder sagen wir besser: Nicht-Denken, oder dadurch, dass das Standardmodell durch eine bessere Theorie ersetzt wird.

Aus Sicht der lokalen und realistischen Interpretation ist dieser Widerspruch ein Beweis dafür, dass die Theorie der starken Wechselwirkung – und damit zugleich das Standardmodell – bloß eine quantitative Näherung darstellt, die die tatsächlichen kausalen Zusammenhänge nicht enthält.

# 8. Quantentheorie → Lokale Interpretation

## 8.1 Widerlegung des Bellschen Beweises der Nichtlokalität

Bells Beweis (John Stewart Bell, *On the Einstein Podolsky Rosen Paradox*, Physics, 1, 195-200, 1964) bezieht sich auf das sogenannte EPR-Paradoxon, benannt nach den drei Autoren (*Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?* Phys. Rev. 47, 777, 1935).

Zum Verständnis des Paradoxons reichen einige wenige Fakten:

1. Durch die quantenmechanische Beschreibung eines Objekts wird für einige Attribute dieses Objekts 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 Objekten 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 Geschwindigkeiten in derselben Weise miteinander verknüpft wie in der klassischen Physik, d.h. es gilt jedenfalls $v_A = - v_B$.

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 die Geschwindigkeit von A gemessen, dann ist wegen (3) natürlich *im selben Augenblick* auch die Geschwindigkeit von B bekannt.

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

B ist von A beliebig weit entfernt. Die Messung der Geschwindigkeit von A kann daher keinen Einfluss auf B haben. Wenn also *nach* der Messung der Geschwindigkeit von A auch die von B gegeben ist, dann muss das Ergebnis der Messung von B schon *vor* der Messung von A festgestanden haben, oder anders gesagt: das Objekt B muss diese Geschwindigkeit schon vor der

Messung von A gehabt haben. Andernfalls hätte ja die Messung von A eine Zustandsänderung von B bewirkt. Da aber die quantenmechanische Beschreibung diese Geschwindigkeit nicht enthält, ist sie *unvollständig*. (Die Geschwindigkeit 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[38] oder der überhaupt ohne einen vermittelnden Prozess existiert und einfach als solcher hingenommen werden muss.

Wie John Bell fast 30 Jahre später zeigte, hat aber diese scheinbar so vernünftige *EPR-Annahme* – dass das Messergebnis an B schon *vor* der Messung an A feststeht, weil es einfach einer *Eigenschaft* von B entspricht – eine Konsequenz, mit der Einstein, Podolsky und Rosen nicht gerechnet hatten.

Bell bewies Folgendes:

**Unter der Voraussetzung, dass die EPR-Annahme richtig ist, gibt es Experimente, bei denen die Messresultate signifikant von den Voraussagen der Quantenmechanik abweichen.**

Solche Experimente wurden durchgeführt. Die Entscheidung war eindeutig: Die Voraussagen der Quantenmechanik wurden bestätigt, die EPR-Annahme wurde somit widerlegt. Das bedeutet: *Vor* der Messung an A hat B keine eindeutige Geschwindigkeit, *danach* aber schon. Die Messung an A hat tatsächlich eine Änderung des Zustands von B bewirkt!

EPR hatten beabsichtigt, für eine *lokale* Wirklichkeit zu argumentieren, d.h. für eine Wirklichkeit, in der ein Objekt auf ein anderes, räumlich distanziertes Objekt nicht anders einwirken kann als durch einen physikalischen Prozess. Durch Bells Intervention scheint aber nun bewiesen, dass es außerdem noch Zusammenhänge ganz anderer Art gibt: solche nämlich, die entweder mit Überlichtgeschwindigkeit vermittelt werden oder sogar ohne jede Vermittlung existieren. Einstein bezeichnete sie als "spukhafte Fernwirkungen".

John Bell hat seinen Beweis so allgemein wie möglich formuliert. In dieser verallgemeinerten Form des Beweises ist es nicht notwendig, dass es "Objekteigenschaften" sind, die das Messergebnis im voraus spezifizieren, sondern es können beliebige Parameter sein. In seinen Worten: "Let this more complete specification be effected by means of parameters $\lambda$. It is a matter of indifference in the

[38] Eine Übertragung durch einen Prozess, dessen Geschwindigkeit nicht größer ist als die des Lichts, ist experimentell ausgeschlossen worden.

following whether λ denotes a single variable or a set, or even a set of functions, and whether the variables are discrete or continuous." (John Bell, a.a.O. p. 196).

Durch diese Verallgemeinerung wird der Geltungsbereich des Beweises erweitert. Da überdies in den Beweis außer der Annahme der Parameter λ (und natürlich Logik und Mathematik) keine weiteren Voraussetzungen eingehen, scheint sich sogar zwingend Folgendes zu ergeben:

**Jede Wirklichkeit, die den Gesetzen der Quantenmechanik gehorcht, ist nichtlokal.**

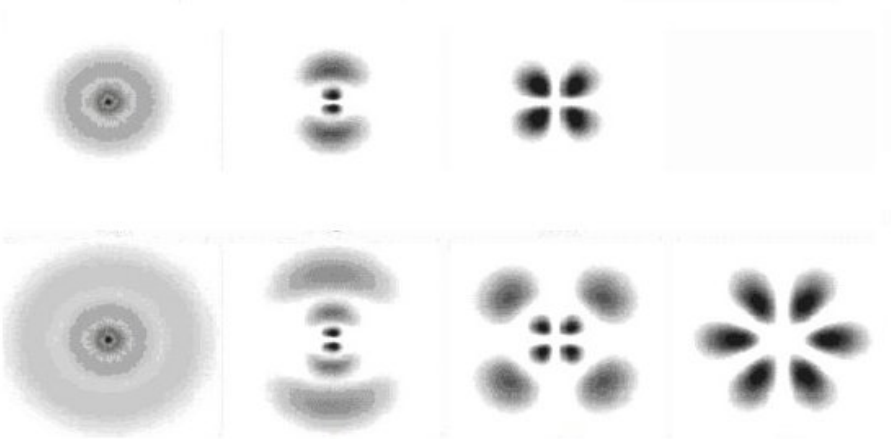
Soweit also die Sachlage. In der Physik gilt die Frage der Lokalität bzw. Nichtlokalität damit als erledigt, und *Verschränkung* ist ein vielbeachtetes, aktives Forschungsgebiet.

Für uns soll jedoch – wie schon bei der Beschreibung des Doppelspaltexperiments – die Darstellung der üblichen Sichtweise bloß als Vorbereitung dafür dienen, dass wir uns der eigentlichen Aufgabe zuwenden können, der Antwort auf die Frage:

**Warum gilt der Bellsche Beweis in unserer Wirklichkeit nicht?**

Um das zu zeigen, benötigen wir die Modellvorstellung aus dem vorigen Kapitel, die es uns ermöglicht hat, das Doppelspaltexperiment als realen und lokalen physikalischen Prozess zu begreifen. Ich werde also kurz wiederholen, was sich dort *wirklich* ereignet:

Zunächst löst sich ein Elektron aus einer Elektronenhülle. Nochmals einige Bilder von Orbitalen:



"Elektronenhüllen" entsprechen also Schwingungszuständen einer Kugel, mit anderen Worten: sie sind *dreidimensionale stehende Wellen*. Wenn sich ein "Elektron" aus einer solchen stehenden Welle löst, dann wird (sozusagen) ein Teil der stehenden Welle zu einer laufenden Welle. Die verbleibende stehende Welle hat dann eine Knotenfläche weniger. Das Elektron – die laufende Elektronenwelle – durchquert danach den Doppelspalt. Nach dem Doppelspalt läuft sie auseinander und interferiert mit sich selbst. Schließlich trifft sie auf die Detektorplatte, d.h. sie trifft überall dort, wo ihre Amplitude nicht Null ist, wiederum auf eine stehende Elektronenwelle. Da etliche dieser stehenden Wellen nahe an der Grenze sind, über der sie in den nächsthöheren Zustand "springen" – den Zustand mit einer Knotenfläche *mehr* – löst die laufende Welle mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit irgendwo einen solchen Sprung aus, und das bedeutet: an dieser Stelle erscheint ein "Elektron".

Der Rest der laufenden Elektronenwelle verschwindet nicht wie bei der Standardinterpretation, sondern addiert sich zu den anderen stehenden Elektronenwellen, wodurch überall die Wahrscheinlichkeit zunimmt, dass die nächste laufende Elektronenwelle oder irgendeine später folgende einen Sprung verursacht.

Um nun den Zusammenhang mit dem EPR-Szenario herzustellen, betrachten wir das "Objekt", das wir soeben beschrieben haben, also das "Elektron".

Fragen wir uns zunächst: *Hat dieses Elektron einen Ort?*

Dem Elektron, das schließlich auf der Detektorplatte beobachtet wird, können wir zweifellos einen relativ genau definierten Ort zuschreiben. Aber wie wir ja wissen, ist *dieses* Elektron ***nicht*** das Elektron, das vorher unterwegs war. Der neu entstandene Schwingungsbereich in der stehenden Elektronenwelle, der in unserer Sicht das beobachtete Elektron ist, enthält nur einen winzigen Bruchteil der ganzen laufenden Welle, die das Elektron vorher war. Der Rest der laufenden Welle ist nun auf alle anderen stehenden Wellen verteilt.

Wir stellen also fest: Das Elektron, das wir beobachten, hatte vor der Beobachtung keinen definierten Ort, weil es dieses "Elektron" vorher überhaupt nicht gab!

Es ist zu sehen, dass die Modellvorstellung, die dem Argument von Einstein, Podolsky und Rosen zugrunde liegt, vollkommen ungeeignet ist. Sie dachten an ein Objekt, das stets mit sich identisch bleibt und sich auf einer Bahn bewegt, so dass es zu jedem Zeitpunkt einen eindeutig definierten Ort hat.

Das bedeutet:

***Die EPR-Annahme, das Objekt-Attribut existiere bereits vor der Messung, ist falsch.***

Würde sich Bells Parameter λ auf den Wert dieses Attributs beziehen – so wie es EPR gemeint hatten – dann wäre der Beweis bereits widerlegt. Bells Verallgemeinerung erfordert allerdings eine weitergehende Analyse.

Wie aus dem obigen Zitat hervorgeht, setzt Bell die Existenz von Parametern λ voraus, die bei beliebigen Messungen an den gewählten Objekten für die "genauere Festlegung" (more complete specification) der Messwerte sorgen. ("Genauer" deshalb, weil sie ja in der Quantenmechanik nicht existieren bzw. "unscharf" sind).

*Die Existenz der Parameter λ stellt sicher, dass wir in jedem Fall voraussagen können, was das Messergebnis sein wird.*

Im Zentrum des Bellschen Beweises steht eine Ungleichung, die sowohl Resultate von Messungen enthält, die tatsächlich durchgeführt werden können, als auch Resultate weiterer, *hypothetischer* Messungen *an denselben Objekten*. ("Hypothetisch" deshalb, weil die Messobjekte natürlich kein weiteres Mal zur Verfügung stehen.)

Das bedeutet:

***Das Wissen, zu welchen Resultaten weitere Messungen an denselben Objekten führen würden, ist für die Aufstellung des Beweises notwendig. Ohne dieses Wissen gibt es keinen Bellschen Beweis.***

Kehren wir nun wieder zu unserer Modellvorstellung zurück. Ist es hier möglich, die Ergebnisse weiterer Messungen an denselben Objekten vorauszusagen?

Nehmen wir an, wir haben ein Elektron erzeugt. Es durchquert den Doppelspalt, läuft auseinander und interferiert mit sich selbst. Ein winziger Teil des Elektrons regt eine stehende Elektronenwelle auf der Oberfläche der Detektorplatte zum Sprung in den nächsthöheren Zustand an. An dieser Stelle zeigt sich ein schwarzer Punkt. Ein Elektron ist erschienen. Wir haben den Ort dieses Elektrons gemessen.

Können wir nun mit dem Elektron, das wir zuvor erzeugt haben (es ist *nicht* dasjenige, dessen Ort wir soeben gemessen haben!), eine weitere Messung durchführen? Natürlich nicht – dieses "Elektron" existiert ja nicht mehr bzw. ist jetzt auf alle Orbitale verteilt –, aber wir können ein Elektron erzeugen, das mit dem zuvor erzeugten annähernd identisch ist, und das ist im Rahmen

unseres Gedankengangs ausreichend: Wir führen zwar keine weitere Messung an demselben Objekt durch, aber wir wiederholen den Messprozess.

Jetzt zur entscheidenden Frage: Was wird geschehen, wenn *dieses* Elektron die Detektorplatte erreicht? An welchem Ort auf der Detektorplatte wird ein Elektron auftreten?

Die Antwort ist: Wir können es nicht wissen. Der Ort des nächsten Sprungs – d.h. des nächsten Erscheinens eines Elektrons – hängt eben nicht nur von der Amplitudenverteilung der Welle ab, die auf die Platte trifft, sondern auch davon, wie weit die stehenden Elektronenwellen auf der Platte jeweils von der Grenze entfernt sind, über der sie in den nächsten Zustand springen, und das ändert sich fortwährend. Es gibt keinen Messprozess, in dem bei allen Elektronenwellen die Abstände von dieser Sprunggrenze gleich denjenigen Abständen sind, die sie in irgendeinem anderen Messprozess haben. ("Abstand" ist hier dadurch definiert, wie groß das Amplitudenquadrat der auftreffenden Elektronenwelle mindestens sein muss, um einen Sprung in den nächsthöheren Zustand auszulösen).

Mit anderen Worten:

***Es ist unmöglich, den Ort des nächsten Erscheinens eines Elektrons vorauszusagen.***

Was wir soeben für eine Ortsmessung beim Doppelspaltversuch gezeigt haben, das gilt ebenso für die Messungen der Attribute verschränkter Objekte in EPR-Szenarien. Betrachten wir etwa den experimentell am besten untersuchten Fall: Polarisationsmessungen an verschränkten Photonen.

Zuerst die übliche Beschreibung: Photonen werden paarweise erzeugt. Auf ihren Wegen erreichen sie Polarisatoren, die sie mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit durchqueren. Falls sie durchkommen, treffen sie auf einen Detektor und ein Photon wird registriert. Falls sie *nicht* durchkommen, erscheint kein Photon.

Jetzt die Erklärung, was wirklich geschieht. Sie folgt demselben Prinzip wie beim Doppelspalt-Szenario: Photonen *sind* Lichtwellen. Beim Durchgang durch die Polarisatoren verringern sich ihre Amplituden um den Faktor $\cos\alpha$. ($\alpha$ ist der Winkel zwischen der Schwingungsrichtung der Welle und der Ebene des Polarisators.) Wenn eine Lichtwelle den Detektor erreicht, dann verursacht sie *vielleicht* den Übergang einer stehenden Elektronenwelle in einen höheren Zustand – dann wird ein "Photon" detektiert. Falls kein Übergang stattfindet, dann addiert sich die Lichtwelle dennoch zu einer oder mehreren Elektronenwellen und erhöht dadurch die Wahrscheinlichkeit eines Übergangs beim Auftreffen der nächsten Lichtwelle oder einer später folgenden. Das heißt: jede *spätere*

Messung wird von jeder *früheren* beeinflusst. Selbst wenn es uns also gelingen würde, *dieselben* Photonenpaare nochmals zu messen, wäre es nicht möglich, die Messresultate vorauszusagen.

Bells Beweis wäre nur dann durchführbar, wenn die Versuchsserien aus Messungen bestünden, die voneinander unabhängig sind. Es müsste also Folgendes gelten: sobald ein Messresultat vorliegt, ist der betreffende Messprozess vollkommen abgeschlossen und wirkt sich nicht auf die weiteren Messprozesse aus. (Bei einer Änderung der Reihenfolge würden die jeweiligen Messresultate unverändert bleiben.)

In unserem Modell ist das offenbar nicht der Fall: Wie soeben erläutert, verändert jede laufende Lichtwelle, die auf den Detektor trifft, einige der stehenden Elektronenwellen (Orbitale) – auch dann, wenn diese Änderung zu keinem Sprung in den nächsthöheren Zustand führt. Es gibt hier also keine Versuchsserien, die aus voneinander unabhängigen Einzelereignissen bestehen, sondern nur Versuchsserien, bei denen jede spätere Messung von jeder früheren beeinflusst wird. Somit ändern sich die Ausgangsbedingungen der einzelnen Messungen auf unvorhersehbare Weise, sodass die Resultate der Messungen nicht vorausgesagt werden können, und das bedeutet:

***Es existieren keine Parameter λ, aus denen die Messresultate folgen. Der Bellsche Beweis kann nicht durchgeführt werden.***

Um hier keine Unklarheit aufkommen zu lassen, möchte ich noch einmal auf den wesentlichen Punkt hinweisen. Natürlich gibt es in meinem Modell Parameter, durch die jedes Messresultat *vollständig* determiniert ist, aber da zu diesen Parametern jedenfalls auch zählt, wie weit die stehenden Elektronenwellen beim Auftreffen der Lichtwelle von der Grenze zum Sprung in den nächsthöheren Zustand entfernt sind, genügen diese Parameter nicht der Bedingung, die für Bells Parameter λ erfüllt sein muss: Bells Parameter machen die Messung an einem bestimmten Objekt *wiederholbar*, sie sorgen dafür, dass die Resultate weiterer Messungen an demselben Objekt bekannt sind. Die "Abstände" von der Sprunggrenze sind jedoch bei jeder neu durchgeführten Messung verändert (vermutlich sind sie auch unabhängig von jeder Messung ständigen Schwankungen unterworfen), und damit ändert sich auch das Resultat der Messung an einem bestimmten Objekt bei jeder Wiederholung. Somit gibt es keine genauere Voraussage irgendeiner Messung – es bleibt bei der quantenmechanischen Wahrscheinlichkeit.

Damit haben wir unser Ziel erreicht. Dafür war es nicht einmal erforderlich, auf den Beweis selbst einzugehen – die Analyse des Messprozesses war für unsere Argumentation vollkommen ausreichend.

Was hier allerdings fehlt, ist eine genaue Beschreibung dessen, was sich bei EPR-Versuchsserien wirklich ereignet. Wenn der Messwert vor der Messung nicht vorausgesagt werden kann – was sorgt dann eigentlich für den Zusammenhang der Messwerte der verschränkten Objekte?

In meinem Buch *"Der Begriff der Wirklichkeit"* (S.42 ff. und S.142 ff.) habe ich Formeln für die Ereigniswahrscheinlichkeiten angegeben, die auf ausschließlich lokalen Parametern beruhen und zu denselben Resultaten führen wie die Quantenmechanik. Ich denke, dass schon allein die Einfachheit dieser Formeln ein Indiz dafür ist, dass die Art der Verschränkung auf irgendeine Weise im experimentellen Setup und somit auch in der Statistik der daraus resultierenden Messergebnisse enthalten ist. Auf die Darstellung des Ablaufs der zugehörigen physikalischen Prozesse habe ich jedoch verzichtet, weil einige Zusatzannahmen sie in meinen Augen fragwürdig machen.

(Auf den Seiten 56-59 im *Begriff der Wirklichkeit* wird außerdem anhand der Originalarbeit von John Bell[39] von 1964 gezeigt, warum sich sein Beweis nicht durchführen lässt.)

Wenn man die Vorstellung von "Teilchen" in der bisherigen Form fallen lässt und durch die Annahme stetiger Veränderung der atomaren und molekularen Zustände ersetzt – so lange, bis ein unstetiger, beobachtbarer Übergang erfolgt –, dann bedeutet das, dass die Diskussion darüber, was sich *wirklich* – sozusagen "hinter den Kulissen" – bei EPR-Experimenten ereignet, eigentlich *erst jetzt* beginnt.

Dass wir etwa nach der Polarisationsmessung auf *einer* Seite das Ergebnis der Polarisationsmessung auf der *anderen* Seite voraussagen können, muss dann eine Folge der bei der Präparation und der Ausführung des Versuchs entstehenden Symmetrie beider Seiten sein, und nicht, wie EPR irrtümlich annahmen, eine Folge davon, dass das "Teilchen" diese Polarisation schon vorher hatte.

***Entscheidend ist jedoch, dass es gelungen ist, Bells Beweis zu widerlegen – oder sagen wir besser: durch die Widerlegung seiner notwendigen Voraussetzung außer Kraft zu setzen. Dadurch ist es nun möglich, die Lokalität der Wirklichkeit anzunehmen, ganz so, wie es Einstein im Sinn hatte.***

Ich muss zugeben, dass mir diese Annahme schon immer als eine selbstverständliche Forderung der Vernunft erschienen ist.

---

[39] John Stewart Bell, *On the Einstein Podolsky Rosen Paradox*, Physics, 1, 195-200 (1964).

## *Zwischenbericht 2: Fehlentscheidungen in der Physik*

Die meisten der physikalischen Fehlentscheidungen und Irrwege (von denen schon am Ende des *Vorberichts* die Rede war) haben wir nun analysiert und alternative Lösungen präsentiert. Es ist an der Zeit, rückblickend zusammenzufassen, was da alles "schiefgelaufen" ist und wie unglücklich die Ereignisse in einigen Fällen verkettet waren.

Beginnen wir mit dem Thema des letzten Kapitels, dem Bellschen Beweis der Nichtlokalität. Im Jahr 1935 hatten Einstein, Podolsky und Rosen auf das Phänomen der Nichtlokalität aufmerksam gemacht. Die folgende Stellungnahme dazu stammt vom Erfinder des Beweises der Nichtlokalität, John Bell, selbst:

"The discomfort that I feel is associated with the fact that the observed perfect quantum correlations seem to demand something like the "genetic" hypothesis. For me, it is so reasonable to assume that the photons in those experiments carry with them programs, which have been correlated in advance, telling them how to behave. This is so rational that I think that when Einstein saw that, and the others refused to see it, he was the rational man. The other people, although history has justified them, were burying their heads in the sand. I feel that Einstein's intellectual superiority over Bohr, in this instance, was enormous; a vast gulf between the man who saw clearly what was needed, and the obscurantist. So for me, it is a pity that Einstein's idea doesn't work. The reasonable thing just doesn't work."[40]

Diese Aussage ist erstaunlich: Bell bedauert hier leidenschaftlich, dass die Dinge sich nicht so vernünftig verhalten, wie Einstein annahm – obwohl er Einstein ja selbst widerlegt hat. Und Bohr nennt er einen "Obskurantisten", obwohl Bohr doch anscheinend recht hatte. Im Grunde ist also Bells Vorwurf an die Natur selbst gerichtet, die keine vernünftige Erklärung zulässt. Dann kann er aber nicht als sachliche Aussage gelten, sondern muss wohl eher als Ausdruck von Verzweiflung verstanden werden.

Was war nun die "vernünftige Annahme", von der Einstein ausging? Ganz einfach: Wenn wir durch die Messung an *einem* Objekt die Eigenschaft eines (beliebig weit) entfernten *anderen* Objekts bestimmen können, dann muss das entfernte Objekt diese Eigenschaft entweder schon *vor* der

[40] John Stewart Bell, zitiert von Jeremy Bernstein in *Quantum Profiles* [Princeton University Press, 1991, p. 84]

Messung gehabt haben, oder sie muss durch irgendwelche von der Messung unabhängige und mit den Objekten verbundenen Mechanismen ("programs") festgelegt worden sein.

Wenn man von Objekten ausgeht, die Abstraktionen von alltäglichen Gegenständen sind, also von *Teilchen*, dann ist dies tatsächlich die einzig vernünftige und damit zwingende Annahme: offensichtlich *muss* das der Fall sein – ansonsten hätte ja die *hier* vollzogene Messung eine augenblickliche, durch nichts vermittelte Zustandsänderung *dort* bewirkt, was vollkommen unsinnig erscheint.

Einstein war aber – mehr noch als andere Physiker – der Annahme von Teilchen verpflichtet, weil diese Annahme ihm seinen ersten großen Erfolg beschert hatte: die Beschreibung des Lichtelektrischen Effekts als Stoßprozess zweier Teilchen.

Leider ist aber diese Annahme, wie wir gezeigt haben, eine notwendige Voraussetzung für den Bellschen Beweis. Und da fast alle Physiker die Existenz von Teilchen für eine Tatsache halten, gilt die Frage der Lokalität durch den Bellschen Beweis für erledigt: die Einsicht, dass dieser Beweis in unserer auf *metrischen Zusammenhängen* – vor allem *Wellen* – aufgebauten Wirklichkeit nicht durchführbar ist, ist unter dieser Voraussetzung nicht möglich.

Aus dieser Sicht ist der Bellsche Beweis der Nichtlokalität der letzte und entscheidende Schlag gegen die Vernunft, die letzte Fehlentscheidung in einer Reihe von Fehlentscheidungen: Lichtelektrischer Effekt, Compton-Effekt, quantenmechanischer Messprozess, Kollaps der Wellenfunktion, Interpretation des Formalismus.

Alle diese fehlerhaften Beschreibungen und Interpretationen beruhen letztlich auf einer einzigen falschen Voraussetzung: auf der Annahme von Teilchen.[41]

Da der Formalismus der Quantenmechanik so erfolgreich ist, ziehen es viele Physiker vor, die Interpretationsprobleme für unwesentlich zu halten oder überhaupt zu ignorieren. Wie schon am Ende von Kapitel 7 (in der Bemerkung auf Seite 150) festgestellt, ist diese Haltung aber vor allem

[41] Der wichtigste Grund dafür, dass eine Interpretation der Quantenmechanik unmöglich wurde, ist aber die vollständig falsche Auffassung vom "Kollaps der Wellenfunktion": In allen bisherigen Interpretationen wurde vorausgesetzt, dass die quantenmechanische Beschreibung *vor* dem Kollaps und *nach* dem Kollaps sich auf *dasselbe Objekt* bezieht. Wie wir bei der Erklärung des Doppelspaltexperiments gezeigt haben, ist das aber ein Irrtum: Das Objekt (das "Teilchen"), das detektiert wird, ist *nicht identisch* mit dem Objekt (der Welle), die nach dem Doppelspalt durch die Schrödingergleichung beschrieben wird. Solange man also versucht, diesen "Kollaps" als *Umwandlung eines Objekts* zu verstehen, ist das Scheitern der Erklärung unvermeidlich. Folge sind die bekannten Absurditäten.

deshalb problematisch, weil die Interpretation die Richtung der physikalischen Forschung mitbestimmt. Es ist anzunehmen, dass sich eine dermaßen fundamentale falsche Grundannahme irgendwann als ernsthafte Behinderung des physikalischen Fortschritts auswirkt.

Außerdem gibt es noch eine weitere, vielleicht noch wichtigere Folge des Scheiterns der Interpretation: Durch die Preisgabe der Vernunft, die John Bell so emphatisch beklagt, trennt sich die Physik vom Projekt der Aufklärung. Die Grenze gegenüber Esoterik und Fantasy wird unscharf.

Man könnte meinen, dass das kein Problem der Physik selbst sei; Das ist aber ein Irrtum. Auch im Bewusstsein vieler Physiker gibt es diese Unschärfe, auch in der Physik selbst gedeihen Hypothesen, die sich durchaus mit Phantasien von Autoren der Populärkultur vergleichen lassen.

Damit sind wir ans Ende dieses ersten, der Quantentheorie gewidmeten Teils des Überblicks über die Fehlentscheidungen gelangt, die sich in der modernen Physik ereignet haben. Wie zu sehen war, folgen hier alle Irrtümer einem einheitlichen Schema, dessen Elemente schon im Doppelspaltexperiment erkennbar sind, das ich aus diesem Grund an den Anfang des Kapitels über Quantentheorie gestellt habe.

Weniger einheitlich und daher deutlich aufwendiger ist die Analyse der Fehlentscheidungen im anderen Hauptstrang der Entwicklung der theoretischen Physik, der fast zur Gänze Albert Einsteins Werk ist: Spezielle und Allgemeine Relativitätstheorie.

Zunächst zur SR.

"Es ist der Relativitätstheorie oft vorgeworfen worden, dass sie der Lichtfortpflanzung ungerechtfertigterweise eine zentrale theoretische Rolle zuweise, indem sie auf das Gesetz der Lichtausbreitung den Zeitbegriff gründe. Damit verhält es sich wie folgt. Um dem Zeitbegriff überhaupt physikalische Bedeutung zu geben, bedarf es der Benutzung irgendwelcher Vorgänge, welche Relationen zwischen verschiedenen Orten herstellen können. Welche Art von Vorgängen man für eine solche Zeitdefinition wählt, ist an sich gleichgültig. Man wird aber mit Vorteil für die Theorie nur einen solchen Vorgang wählen, von dem wir etwas Sicheres wissen. Das gilt von der Lichtausbreitung im leeren Raum in höherem Maß als von allen anderen in Betracht kommenden Vorgängen – dank den Forschungen von Maxwell und H. A. Lorentz."[42]

Das ist eine äußerst seltsame Aussage: Einsteins Begründung, warum "mit Vorteil" Licht zur Zeitbestimmung verwendet werden soll, ist offensichtlich völlig unzureichend. Tatsache ist, dass die

[42] Albert Einstein, *Grundzüge der Relativitätstheorie,* 4. Auflage, Vieweg und Sohn, Braunschweig 1965, S. 19.

Zeitbestimmung *ausschließlich dann* korrekt ist, wenn sie durch Licht – oder allgemeiner: durch Vorgänge mit Lichtgeschwindigkeit – ausgeführt wird. Bei *jeder* anderen Art der Zeitbestimmung würde sich die Natur widersetzen und die experimentelle Bestätigung verweigern. Es ist also keineswegs so – wie Einstein meinte –, dass wir die Wahl hätten, womit wir die Zeitverhältnisse bestimmen; wir *müssen* es mit Licht durchführen.

Um diesen Sachverhalt zu demonstrieren, habe ich im *Begriff der Wirklichkeit* (ab Seite 69 unten) die Folgen einer Zeitbestimmung durch Schallsignale beschrieben. Dadurch wird Schall für alle gleichförmig bewegten Beobachter gleich schnell. Die so definierte Zeit gilt jedoch *nur* für Schall oder daraus abgeleitete Phänomene und für nichts anderes.

Dasselbe wäre für jede andere Wahl der Fall: die Zeit würde jeweils nur für den zur Zeitbestimmung gewählten Prozess und für alle daraus abgeleiteten Phänomene gelten und für nichts sonst. Nur bei Licht ist das anders: die durch Licht bestimmten Zeitverhältnisse gelten allgemein. Und erst dann, wenn man sich das klargemacht hat, steht man vor der entscheidenden Frage: *Warum ist das so? Warum gehorcht die Natur den durch Licht bestimmten Raum- und Zeitverhältnissen?*

Wenn man diese Frage jedoch *nicht* stellt, sondern die SR durch die bekannten Postulate begründet, dann erlangt man zwar das richtige Ergebnis, aber der fundamentale Mechanismus, durch den die Zeitverhältnisse erzeugt werden – dessen Darstellung wir im Abschnitt 3.1. *Die Zeitstruktur der Wirklichkeit* vorbereitet und im Kapitel 6 über die Spezielle Relativitätstheorie ausgearbeitet haben – bleibt unentdeckt.

An anderer Stelle[43] erklärt Einstein, die Annahme, dass sich Licht in Bezug auf einen (unbeschleunigten) Beobachter in allen Richtungen mit der gleichen Geschwindigkeit bewegt, sei eine "Festsetzung, die wir nach freiem Ermessen treffen können, um zu einer Definition der Gleichzeitigkeit zu gelangen".

Auch das ist nicht korrekt. Wir können darüber keineswegs frei entscheiden. Richtig ist, dass es von der Natur so eingerichtet ist. Und auch hier gilt: Würden wir anders entscheiden, würde sich die Natur widersetzen.

Wie soll man also über die Einführung der SR urteilen? Natürlich ist sie eine großartige Errungenschaft. Es wäre geradezu absurd, sich eine Physik ohne sie vorzustellen, und es bedurfte Einsteins Genie, um die Loslösung vom Newtonschen Zeitbegriff zu vollziehen.

---

[43] A. Einstein, *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie,* Akademie-Verlag, Berlin 1973, S. 22f.

Aber andererseits ist die Weise, *wie* Einstein diese Loslösung vollzogen hat, zugleich ein Unglück für die Entwicklung der Physik. Wie wir im Abschnitt 3.1. gezeigt haben, wäre die Erkenntnis der Relativität der Zeit auch die Chance gewesen, zum ersten Mal einen Blick auf die fundamentale Ebene der Wirklichkeit zu werfen.

Dazu wäre es aber erforderlich gewesen, den wahren Grund zu begreifen, *warum* die Zeitverhältnisse durch Licht bestimmt sind. Einsteins Irrtümer, die sich in den obigen Zitaten offenbaren, machen es aber für ihn selbst und für alle, die ihm gefolgt sind, unmöglich, die wirkliche Ursache für die fundamentale Bedeutung der Lichtgeschwindigkeit zu erkennen.

Wie am Beginn von 3.1. festgestellt, liegt das daran, dass Einstein zwar die Relativität der Gleichzeitigkeit erkannt, aber dann nicht gesehen hat, dass seine Argumente eigentlich viel weiter reichen – dass sie zeigen, *dass Zeitverhältnisse durch Prozesse* ***erzeugt*** *werden, und dass deshalb die Eindeutigkeit des Zeitsystems nur dann gegeben ist, wenn es nur eine einzige Geschwindigkeit gibt*.

Gemäß dieser Argumentation gilt dann: ***Es gibt nur Lichtgeschwindigkeit***. Alle anderen Geschwindigkeiten müssen daraus abgeleitet sein.

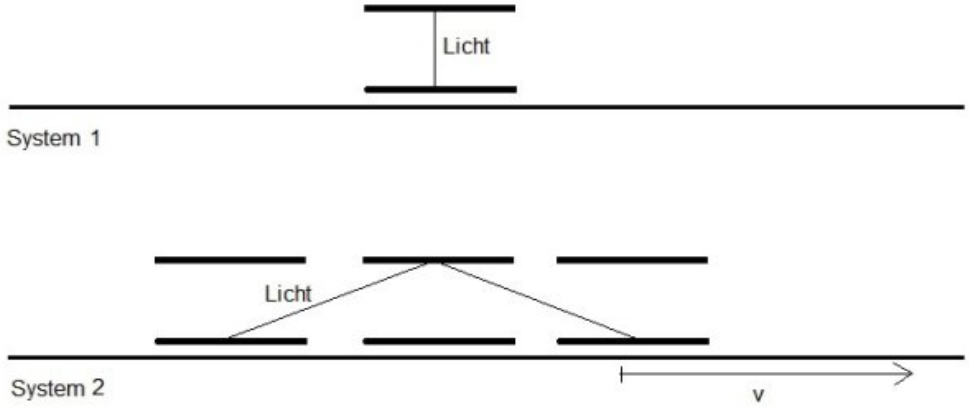
Das führt wiederum zu den Überlegungen von Kapitel 6, wo wir die relativistischen Raum- und Zeitverhältnisse aus der Annahme metrischer Wellen mit Lichtgeschwindigkeit *konstruiert* haben.

Das ist also das erste Problem bei Einsteins Einführung der SR: der eigentliche Grund der relativistischen Raum-Zeit-Struktur bleibt nicht nur unentdeckt, sondern wird hinter Schein-Erklärungen fast unsichtbar.

Außerdem wird aber auch, wie bei der Quantentheorie, das Vertrauen in unsere Vernunft und Einsichtsfähigkeit schwer beschädigt, und zwar zu unrecht. Um das zu zeigen, gehen wir wie folgt vor:

Wir betrachten zwei Inertialsysteme, die sich mit der Relativgeschwindigkeit v aneinander vorbei bewegen. In jedem System befindet sich eine Lichtuhr, in der sich Licht zwischen zwei fixierten Spiegeln auf und ab bewegt. Die Zeitspanne zwischen zwei Reflexionspunkten definiert die Zeiteinheit.

Die Skizze zeigt die Uhren zu 3 kurz aufeinander folgenden Zeitpunkten sowie die dazwischen liegenden Lichtwege:




In beiden Systemen befindet sich ein Beobachter. Für jeden der beiden Beobachter scheint das Licht in der eigenen Uhr den *kürzeren* Weg zurückzulegen, was zu dem Schluss führt, dass die auf diese Weise gemessene Zeit im jeweils anderen System *langsamer* vergeht.

Formal gibt es kein Problem. Es herrscht völlige Symmetrie. Ontologisch betrachtet, ist diese Symmetrie jedoch absurd, und zwar aus folgendem Grund:

Licht bewegt sich *im Raum*, und daher muss es im Raum einen *wirklichen Weg* des Lichts geben. Dieser "wahre Weg" wird dann, wie das bei jedem physikalischen Prozess der Fall ist, von verschieden bewegten Beobachtern unterschiedlich wahrgenommen.

Das System, in dem das Licht in der Uhr den *kürzesten* wahren Weg nimmt, muss dann dasjenige sein, in dem die Zeit am schnellsten vergeht, also das absolute Ruhesystem.

Nimmt man dagegen den üblichen Standpunkt ein – den vollständiger Symmetrie – dann ist das gleichbedeutend mit der *Behauptung, dass es diesen wahren Weg des Lichts* ***nicht gibt***.

Das ist eine Behauptung von so krasser Absurdität, dass sie nur unter äußerstem logischen Zwang akzeptierbar wäre. Ein solcher Zwang besteht aber nicht – die formale Symmetrie kann ganz einfach wie folgt begründet werden:

Wir ergänzen zunächst das Szenario: Wir stellen in beiden Systemen nicht nur *eine* Lichtuhr auf, sondern eine ganze Reihe solcher Uhren hintereinander, parallel zur Bewegungsrichtung. Der

Zeitvergleich kann dann von beiden Beobachtern auf folgende Weise durchgeführt werden: die Anzeige der Uhr, die sich direkt beim anderen Beobachter befindet, wird jeweils mit der Anzeige derjenigen Uhr des eigenen Systems verglichen, an der sie sich gerade vorbei bewegt. So ist ein (fast) direkter Vergleich des Zeitvergehens in beiden Systemen möglich.

Nehmen wir an, System 1 sei das *absolute Ruhesystem*.[44] Zuerst betrachten wir die Lage vom Standpunkt des Beobachters 1 aus, der sich in diesem System aufhält. Hier ist im Vergleich zur üblichen Sichtweise nichts verändert: der auf die soeben beschriebene Weise durchgeführte Zeitvergleich zeigt, dass die Uhr des bewegten Beobachters um den Faktor $k = \sqrt{(1 - v^2/c^2)}$ langsamer geht.

Jetzt stellen wir uns auf den Standpunkt des bewegten Beobachters 2. Wie in 3.1. erläutert, gilt für ihn Folgendes:

Da die Zeitstruktur durch kausale Prozesse mit Lichtgeschwindigkeit erzeugt wird, müssen Ereignisse, die *hinter* ihm stattfinden, *für ihn* – im Vergleich mit Beobachter 1 – *in die Zukunft versetzt* werden – einfach deshalb, weil das von den Ereignis-Orten ausgesendete Licht ihn *später* erreicht als den Beobachter 1. (Ich erinnere jedoch nochmals daran: es geht nicht nur um *Information* über Zeitverhältnisse, sondern um deren *Erzeugung*.)

Betrachten wir die Lage in genau dem Moment, in dem sich die beiden Beobachter gerade gegenüberstehen: Nehmen wir an, die Uhren, die sich direkt bei den beiden Beobachtern befinden, zeigen in diesem Moment dieselbe Zeit. Nach dem soeben Gesagten zeigen somit die *hinter* dem bewegten Beobachter aufgestellten Uhren eine *spätere* Zeit an als die ihnen jeweils gerade gegenüberliegenden des Ruhesystems.

Das heißt: die hinter dem bewegten Beobachter aufgestellten Uhren des bewegten Systems gehen im Vergleich zu denen des ruhenden Systems *vor*, und je weiter sie vom Beobachter 2 entfernt sind, desto mehr gehen sie vor.

Wenn nun der bewegte Beobachter den Zeitvergleich auf die vorher definierte Weise durchführt, dann geschieht Folgendes:

Vom bewegten Beobachter aus gesehen kommt die Uhr, die sich direkt beim ruhenden Beobachter befindet, der Reihe nach an all den Uhren vorbei, die hinter dem bewegten Beobachter liegen. Diese Uhren zeigen jedoch, wie soeben festgestellt, zunehmend spätere Zeiten an als die Uhren des

[44] Ich erinnere daran, dass wir schon am Beginn von Kapitel 6 (in 6.1.) gezeigt haben, dass die Annahme des absoluten Systems erforderlich ist, um Unsinnigkeiten zu vermeiden.

Ruhesystems. Die Uhr beim ruhenden Beobachter bleibt also hinter den jeweiligen Vergleichsuhren immer mehr zurück. Somit schließt der bewegte Beobachter auf eine *Verlangsamung* der Zeit des Ruhesystems im Vergleich zu seiner eigenen Zeit.

Diese Argumentation reicht bereits aus, um einzusehen, dass auch für den bewegten Beobachter die Zeit im anderen System verlangsamt erscheint. Um das relativistische Ergebnis auch quantitativ zu rekonstruieren, muss nur noch ermittelt werden, wie groß der Faktor dieser Verlangsamung ist.

Um diesen Faktor zu bestimmen, müssen zwei einander entgegenwirkende Umstände berücksichtigt werden:

*Einerseits* vergeht die Zeit des bewegten Systems aufgrund der längeren Lichtwege ***tatsächlich*** gegenüber der Zeit des ruhenden Systems ***um den Faktor k langsamer***.

*Andererseits* folgt aus der Versetzung der hinter dem bewegten Beobachter liegenden Ereignisse in die Zukunft – dem Vorgehen der Uhren, die nacheinander mit der Uhr des ruhenden Beobachters verglichen werden –, dass das Zeitvergehen des bewegten Systems beim sukzessiven Uhrenvergleich ***um den Faktor $1/k^2$ schneller erscheint,*** als das ohne diese Versetzung der Fall wäre.[45] (Ich will bei dieser informellen Beschreibung auf Mathematik verzichten. Für eine Überprüfung reichen aber elementare mathematische Kenntnisse aus.)

Für den Vergleich des Zeitvergehens in beiden Systemen müssen beide Faktoren kombiniert werden. Das Ergebnis ist offenbar, dass für den bewegten Beobachter die Zeit des Ruhesystems ***um den Faktor $k^2/k = k$ verlangsamt*** erscheint, in Übereinstimmung mit der Relativitätstheorie.

Das bedeutet:

***Obwohl die Uhr des ruhenden Beobachters tatsächlich schneller geht als alle Uhren des bewegten Systems, an denen sie vorbeikommt, muss der bewegte Beobachter dennoch aus den sukzessiven Uhrenvergleichen den Schluss ziehen, dass die Zeit im Ruhesystem um den Faktor k verlangsamt ist.***

Kurz gesagt: Für den bewegten Beobachter erscheint *aus einsichtigen Gründen* die Zeit des ruhenden Systems – im Vergleich mit seiner eigenen Zeit – im selben Maß gedehnt wie für den ruhenden Beobachter die Zeit des bewegten Systems.

---

[45] Wer an den Begriffen "tatsächlich" und "erscheint" Anstoß nimmt, sei nochmals an die Argumentation am Beginn von Kapitel 6 erinnert, die zeigt, dass das Zeitvergehen nicht relativ, sondern absolut ist, und an die Existenz des "wahren Lichtwegs", die dasselbe erfordert.

Also lässt sich behaupten: Die relativistischen Phänomene stehen keineswegs im Widerspruch zu unserer apriorischen Raum- und Zeitvorstellung. Im Gegenteil – konsequent auf ihre *wirklichen Voraussetzungen* hin untersucht, erweisen sie sich sogar als *notwendige Folgen* dieser Vorstellung. Das bisherige Unverständnis lag nur daran, dass noch nie eine wirkliche *Erklärung* der speziellen Relativität durchgeführt worden ist.

Konsequenterweise müsste nun weiter gefragt werden, warum nicht nur die Lichtuhren, sondern auch alle anderen Uhren und überhaupt *alle physikalischen Prozesse* sich an die durch Licht ermittelten Zeitverhältnisse halten. Aber das haben wir ja schon im Kapitel 6 durchgeführt. Die Antwort ist:

***Die Natur gehorcht deshalb den durch Lichtsignale ermittelten Raum- und Zeitverhältnissen, weil es nur Lichtgeschwindigkeit und daraus abgeleitete Phänomene gibt.***

Wir haben gezeigt, dass unter dieser Voraussetzung die relativistische Raum-Zeit-Struktur nicht nur verstanden, sondern auch *konstruiert* werden kann, und dass diese Konstruktion, so fern aller Realität sie zunächst auch scheinen mag, doch ganz unmittelbar zu Materiewellen führt. Im nächsten Kapitel wird sich herausstellen, dass durch Hinzunahme einer weiteren metrischen Voraussetzung wesentliche Teile der ganzen quantenmechanischen Wirklichkeit ins Blickfeld geraten.

Kehren wir nun aber wieder zu unserem Thema zurück. Was noch bleibt, ist die Einschätzung der Allgemeinen Relativitätstheorie aus metrisch-dynamischer Sicht.

Wir gehen von folgender Formulierung des speziellen Relativitätsprinzips aus:

SRP: *Jeder unbeschleunigte Beobachter ist berechtigt, sich als ruhend zu betrachten.*

Da diese Relativität sich zunächst der Überzeugung verdankt, dass gegenüber dem Raum keine Bewegung behauptet werden kann, bestand für Einstein von Anfang an die Notwendigkeit, das Relativitätsprinzip so zu verallgemeinern, dass es für *alle* Beobachter gilt, auch für beschleunigte. Er meinte, das durch folgendes Postulat – das allgemeine Relativitätsprinzip – zu erreichen:

ARP: *Jeder beliebig bewegte Beobachter ist berechtigt, sich als ruhend zu betrachten. Er muss nur alle Beschleunigungen, die er erfährt, auf ein Gravitationsfeld beziehen.*[46]

[46] Dass diese Möglichkeit überhaupt besteht, beruht auf der Gleichheit von träger und schwerer Masse. Seit Einstein ist klar, dass jede Gravitationstheorie diese Gleichheit als strukturelles Prinzip enthalten muss. Wie im Abschnitt 4.7. festgestellt, bietet die metrisch-dynamische Gravitation für die Gleichheit von Schwere und Trägheit eine "direkte" Erklärung: Das frei (aus dem Unendlichen mit Anfangs-

Zunächst ist klar, dass der erste Teil von ARP eine Verallgemeinerung von SRP ist. Durch die Zusatzbedingung wird jedoch der Charakter dieser "Relativität" vollkommen verändert. Die auf diese Weise "verallgemeinerte" Relativität hat keine Beziehung mehr zur Frage, ob Bewegung gegen den Raum existiert.

Die ursprüngliche Forderung, die Relativität der Bewegung gegenüber dem Raum auf beschleunigte Beobachter zu erweitern, wird somit durch diese verallgemeinerte Relativität nicht erfüllt – vielmehr stellt sie eine *rein formale Symmetrie* her.

"Rein formal" ist diese Symmetrie deshalb, weil ja – wie etwa auch in Einsteins bekanntem Beispiel des Passagiers im beschleunigten Zug – tatsächlich *kein* Gravitationsfeld existiert. Hier ist es also vollkommen klar, dass das Beobachtersystem *nicht* in Ruhe ist.

Das bedeutet: Der asymmetrischen Wirklichkeit steht ein symmetrischer Formalismus gegenüber. Zwischen Wirklichkeit und Beschreibung muss also unterschieden werden.

Da mein Buch auf dieser Unterscheidung aufbaut, ist das vom hier eingenommenen Standpunkt aus selbstverständlich. Einstein hat jedoch mit dem Schritt von der speziellen zur allgemeinen Relativität endgültig die – aus unserer Sicht unzulässige – Gleichsetzung von Wirklichkeit und Formalismus vollzogen, die sich in der SR schon angedeutet hatte.[47] Nur unter dieser Voraussetzung war es für ihn überhaupt möglich, diesen Schritt als *Verallgemeinerung* zu verstehen.

Fragen wir uns zuletzt, was Einsteins Vorgangsweise für die Entwicklung der theoretischen Physik bedeutet. Ich werde mir aber nicht anmaßen, das ganz allgemein zu beurteilen, sonder mich weiterhin darauf beschränken, die Folgen seines Vorgehens aus metrisch.dynamischer Sicht einzuschätzen.

---

geschwindigkeit 0) fallende System ruht hier *tatsächlich* relativ zum Raum, der es umgibt, weil dieser Raum, als metrischer Raum verstanden, *selbst* mit der gleichen Geschwindigkeit fließt – auf diese Weise ist ja Gravitation in der MDG definiert. Einen Körper im Gravitationsfeld am selben Ort zu halten, bedeutet daher, ihn gegen den metrischen Fluss zu beschleunigen. Mit anderen Worten: *Schwere **ist** Trägheit.*

Aus metrisch-dynamischer Sicht ist also unser Gewicht, das wir an der Erdoberfläche spüren, keine Folge der Schwere, sondern der Trägheit: Die Erdoberfläche beschleunigt uns gegen den metrischen Fluss, der mit einer Geschwindigkeit von 11 km/s (beschleunigt) durch uns fließt.

[47] Ich verweise auf das Zitat am Ende von Kapitel 6.

Einstein war der Erste, der gesehen hat, dass es eine Verbindung zwischen der beobachtbaren Wirklichkeit und der metrischen Basis dieser Wirklichkeit – also zwischen Mechanik und Metrik – gibt. Die Überlegung, die ihm das ermöglicht hat, lautet wie folgt:

Betrachten wir einen Beobachter, der eine Beschleunigung erfährt – etwa einen Beobachter auf einer rotierenden Scheibe. Gemäß ARP ist er berechtigt, sich als ruhend aufzufassen und seine Beschleunigung auf ein Gravitationsfeld zu beziehen.

Dadurch entstehen nun Verbindungen sowohl zur Metrik als auch zur Mechanik. Die metrischen Veränderungen ergeben sich aus der Speziellen Relativitätstheorie – aufgrund der Bewegung des Beobachters ist sein tangentialer Maßstab verkürzt und sein Zeitvergehen verlangsamt –, und selbstverständlich kann er die Beschleunigung, die er erfährt, auch durch mechanische Größen – Masse, Energie, Impuls – ausdrücken. Somit wird sein Zustand auf beide Arten eindeutig beschrieben, und das bedeutet, dass die metrischen Veränderungen und die mechanischen Bedingungen gleichgesetzt werden können.

So großartig dieser Gedankengang auch ist – aus metrisch-dynamischer Sicht ist er (leider) in mehrfacher Hinsicht problematisch:

1. Dadurch, dass alle Beschleunigungen gravitativ interpretiert werden, geraten auch physikalisch unmögliche Fälle in den daraus abgeleiteten Formalismus.

2. Dadurch, dass alle metrischen Veränderungen von Raum und Zeit an Gravitation gebunden sind, wird es unmöglich, die Metrik als fundamentale Struktur zu erkennen, die nicht nur Gravitation, sondern alle Wechselwirkungen und damit die ganze Wirklichkeit generiert.

3. Der zentrale Wirkmechanismus der metrisch-dynamischen Gravitation – der *metrische Fluss* – bleibt bei Einsteins Vorgangsweise unerreichbar. Um dorthin zu gelangen, ist eine Auffassung des (metrischen) Raums erforderlich, die sich von der Einsteinschen grundlegend unterscheidet.

4. Da die eigentliche kausale Struktur, die in der metrischen Basis der Wirklichkeit liegt, verborgen bleibt, erscheint der Zusammenhang zwischen Mechanik (Energie-Impuls-Tensor) und Metrik (Einstein-Tensor) als grundlegender kausaler Zusammenhang, wofür er aber nicht geeignet ist.

# 9. Prozess, der die Wirklichkeit erzeugt ⟶ Elektromagnetismus, Atomaufbau

## 9.1. Vorbemerkung

Wie im Vorbericht erwähnt, war es ursprünglich keineswegs meine Absicht, über Gravitation und Elektromagnetismus zu forschen. Ich wollte bloß herausfinden, ob die Gleichungen (0) und (1), die sich aus metaphysischen Erwägungen ergeben hatten, irgendwo hinführen.

Da die Größe σ(r) in Gleichung (0) sowohl als metrische Dichte der Länge wie auch als metrische Dichte des Winkels aufgefasst werden muss, lag es nahe, mit der jeweils einfachsten metrischen Annahme zu beginnen; Für die metrische Dichte der Länge ist das die Annahme einer kugelsymmetrischen Verdichtung, durch die der Radius eines kugelförmigen Raumbereichs um m Einheiten geringer wird. Die Oberfläche der Kugel ist dann um m Einheiten nach innen gerückt, so dass für jeden Punkt außerhalb dieser Kugel der Abstand vom Mittelpunkt O um m Einheiten kürzer erscheint. Wenn die metrische Dichte der Länge im Außenraum vorher 1 war, sollte sie nachher $(r - m)/r$ sein.

Zu meiner großen Verwunderung führte diese Annahme *sofort* – nach nur einer Zeile – zur Newtonschen Gravitation, und nach genauerem Hinsehen (Licht bewegt sich *im metrischen Fluss*) zu Ergebnissen, die mit der AR übereinstimmen. Für das angestrebte Ziel, zu erfahren, ob die Gleichungen (0) und (1) irgendeinen physikalischen Sinn ergeben, war das mehr als genug, und so wendete ich mich kurze Zeit später einem anderen Thema zu: der Antimaterie, der hier das Kapitel 5 gewidmet war.

Dann war noch zu klären, wohin man gelangt, wenn man σ als metrische Dichte des Winkels auffasst. In diesem Fall ist die einfachste metrische Annahme wiederum eine kugelsymmetrische Veränderung, die nun aber einer Verdichtung des Winkels entspricht, was dann offenbar bedeutet, dass eine vollständige Drehung nicht mehr 360° beträgt, sondern – bezogen auf das innere, veränderte Winkelmaß –, mehr oder weniger als 360°.

Nimmt man nun an, dass die metrische Änderung des Winkels zum Elektromagnetismus führt – was ohnehin nahe liegt – und definiert μ ($\mu \in \mathbb{R}, \mu > 0$) als positive geometrische Ladung (analog zur geometrischen Masse m) und -μ als negative Ladung, dann kann mit geringem mathematischen Aufwand ein Großteil des quantenmechanischen Atommodells rekonstruiert werden.

## 9.2. Zusammenhang zwischen Planck-Länge, geometrischer Masse und Teilchenfrequenz

Bevor wir uns dem Elektromagnetismus und Atomaufbau zuwenden, müssen wir uns mit einer Hypothese beschäftigen, die auf metrisch-dynamische Weise den Zusammenhang zwischen Planck-Länge, geometrischer Masse und den beiden mit dieser Masse verknüpften Größen Frequenz und Compton-Wellenlänge begründet. Für den metrisch-dynamischen Aufbau der Wirklichkeit, der das Grundthema dieses Buchs bildet, stellt diese Hypothese den ersten konkreten Schritt dar: sie liefert Hinweise, wie dieser Aufbau an der metrischen, aus Wellen bestehenden Basis beginnen könnte. Zwar handelt es sich dabei eher um ein Konzept oder eine Vision als um eine Theorie, aber selbst diese vorläufige Version ist bereits so reich an neuen (metrischen) Zusammenhängen, dass ich sie hier präsentieren möchte.

Zunächst zu den Voraussetzungen, die zu dieser Hypothese geführt haben:

Bei der Ableitung der Relativitätstheorie (Kapitel 6) haben wir den Bewegungszustand von Objekten durch Überlagerung von (metrischen) Wellen mit Lichtgeschwindigkeit repräsentiert. Daraus haben wir dann auf ganz einfache Weise auch Materiewellen erhalten.

Unsere Darstellung der Gravitation hat uns gezeigt, dass das metrische Kontinuum der Wirklichkeit aus Flusslinien aufgebaut ist. Das bedeutet, dass die Wellen nicht, wie im Rahmen der speziellen Relativität, im als ruhend gedachten metrischen Kontinuum laufen, sondern in den metrischen Flüssen. (Siehe die Wellengleichungen auf Seite 30 und 31).

Da wir diese Wellen als Basis der Wirklichkeit betrachten, liegt es nahe, sie mit einer fundamentalen Einheit in Verbindung zu bringen, d.h. mit der Planck-Länge.

Also nehmen wir an:

*In den metrischen Flüssen, deren stationärer, kugelsymmetrischer Zustand dem Gravitationsfeld einer zentralen Masse entspricht, gibt es stehende Wellen. Ihre Wellenlänge $\lambda$ ist gleich der Planck-Länge. Sie bilden die Basis der materiellen Strukturen.*[48]

[48] 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. Zum Problem, das auftritt, wenn das Universum als offene Struktur gesehen wird, werde ich mich im Kapitel 10 äußern.

Also $\lambda$ := Planck-Länge := $\lambda_{Pl}$

wobei $\lambda_{Pl} = \sqrt{\frac{hG}{c^3}} = 4.051 \ldots 10^{-35}$ (Meter).

Um zu demonstrieren, wie sich diese metrische Quantisierung auswirkt, werden wir gleich die erste Folgerung anschließen. Sie überbrückt mehr als 40 Größenordnungen und liefert die oben erwähnte metrisch-dynamische Begründung bekannter Zusammenhänge zwischen fundamentalen Größen.

### 9.3. Phasenwellen im radialen Fluss

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.

$$\text{Aus} \quad f(r,t) = \sin(2\pi\, t\, \nu_{Pl}) \cos(2\pi\, r\, \frac{1}{\lambda_{Pl}}) \qquad (\nu_{Pl}\, \lambda_{Pl} = c) \tag{1}$$

– was eine stehende Welle *im Flusssystem* darstellt –, wird für den ruhenden Beobachter

$$f'(r,t) = \sin 2\pi\, (t\, \nu_{Pl}\, \frac{1}{k} - r\, \nu_{Pl}\, \frac{v}{c^2}\, \frac{1}{k})\, \cos 2\pi\, (t\, v\, \frac{1}{\lambda_{Pl}\, k} - r\, \frac{1}{\lambda_{Pl}\, k}) \quad (k = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}) \tag{2}$$

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

$$\lambda_1 = \lambda_{Pl}\, \frac{c}{v}\, k \qquad \nu_1 = \nu_{Pl}\, \frac{1}{k} \tag{3}$$

$$\lambda_2 = \lambda_{Pl}\ k \qquad\qquad \nu_2 = \nu_{Pl}\ \frac{v}{c}\ \frac{1}{k} \qquad (4)$$

Die Gleichungen (1) und (2) sind identisch mit den Gleichungen aus 6.5. auf Seite 110. Nur $\lambda$ wurde durch $\lambda_{Pl}$ ersetzt. $\Psi_1$ ist also wieder eine Materiewelle, und $\Psi_2$ hat die Geschwindigkeit des mit dieser Welle assoziierten Teilchens.

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 (2) 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

$$r_1 = (\lambda_{Pl}\ \frac{c}{v}\ k)\ \frac{1}{k}$$

$$r_1 = \lambda_{Pl}\ \frac{c}{v} \qquad (5)$$

Wie groß ist der Fluss v(r)? Die Bedingungen entsprechen hier denen des hybriden Systems, das ab Seite 80 beschrieben wurde. Deshalb ist die in Gleichung (9h) dargestellte Flussgröße zu wählen:

$$\frac{v}{c} = -\sqrt{\frac{m}{r}} \qquad \text{(m ist die geometrische Masse)}$$

Mit $\frac{c}{v} = \sqrt{\frac{r_1}{m}}$ (hier ist nur der Betrag von v von Bedeutung) wird aus (5)

$$r_1 = \lambda_{Pl} \sqrt{\frac{r_1}{m}}$$

Somit ist

$$r_1 = \frac{\lambda_{Pl}^2}{m} \quad \text{bzw.} \quad r_1 \, m = \lambda_{Pl}^2 \tag{6}$$

$r_1$, 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

$$r_1 = \frac{\lambda_{Pl}^2}{m}$$

Das besagt aber nichts anderes als: $r_1$ ist gleich der *Compton-Wellenlänge* $\lambda_C$, denn es gilt

$$\lambda_C = \frac{\lambda_{Pl}^2}{m}$$

Z. B. für ein Elektron:

$$m_e = 6.763 \;\; 10^{-58} \text{ (Meter)}, \quad \lambda_{Pl} = 4.051 \;\; 10^{-35}$$

$$\frac{\lambda_{Pl}^2}{m_e} = 2.426 \;\; 10^{-12} = \lambda_{Ce}$$

An der Stelle $r_1$ findet sich außerdem – neben der fast unveränderten Planck-Frequenz

$$\nu_1 = \nu_{Pl} \; \frac{1}{k}$$

eine zweite, viel kleinere Frequenz (siehe (4))

$$\nu_2 = \nu_{Pl} \; \frac{v}{c} \; \frac{1}{k} = \nu_{Pl} \; \sqrt{\frac{m}{r_1}} \; \frac{1}{k} \tag{7}$$

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 Folgenden 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 folgenden Gleichungen (8) und (8')

$$\lambda_m \, m = \lambda_{Pl}^{\,2} \qquad (8)$$

( und, wegen $\lambda_m \nu_m = c$ )

$$m \, c = \lambda_{Pl}^{\,2} \, \nu_m \qquad (8')$$

sind das metrisch-dynamische Äquivalent zu $Mc^2 = h\nu$ bzw. $E = h\nu$ und $E = Mc^2$. (Siehe dazu auch Seite 228)

Setzt man alternativ $\lambda\!\!\!^{-}_{Pl} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 1.616... \; 10^{-35}$ (Meter), dann gilt (mit $\lambda\!\!\!^{-}_m = \lambda_m / 2\pi$)

$$\lambda\!\!\!^{-}_m \, m = \lambda\!\!\!^{-}_{Pl}{}^{2} \qquad (8'')$$

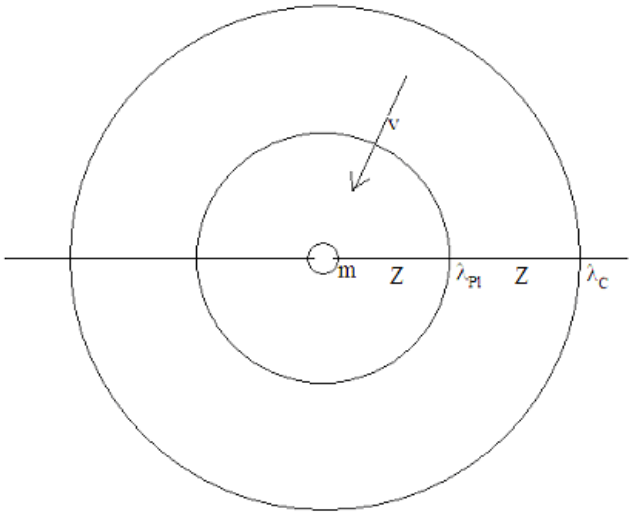
Bemerkung

In (8) ist zu sehen, dass $\lambda_{Pl}$ 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, $\lambda_{Pl}$ und $\lambda_C$, deren Zusammenhang durch den radialen Fluss v vermittelt ist, folgendermaßen darstellen:




(S1)

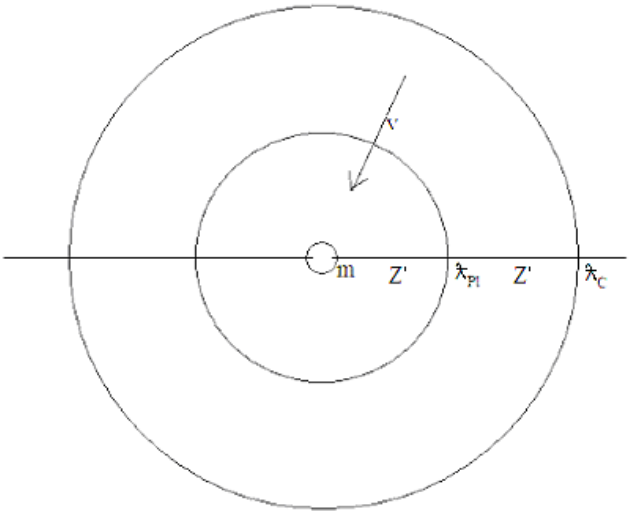
Z ist ein zur Gravitation gehörender multiplikativer Faktor, zu vergleichen mit der Feinstrukturkonstante $1/\alpha$ beim Elektromagnetismus. (Mehr darüber später.)

Es gilt: $m\,Z = \lambda_{Pl}$ und $\lambda_{Pl}\,Z = \lambda_C$ (9)

Für das Elektron ist $Z_E = 5.990\ 10^{22}$

Für das Proton ist $Z_P = 3.262\ 10^{19}$

In (S14) können $\lambda_{Pl}$ und $\lambda_C$ durch $\lambda\!\!\!^{-}_{Pl}$ und $\lambda\!\!\!^{-}_{C}$ ersetzt werden. Dann entspricht der skizzierte Sachverhalt nicht mehr (8), sondern (8''):




(S1')

Hier ist $m\,Z' = \lambda\!\!\!^{-}_{Pl}$ und $\lambda\!\!\!^{-}_{Pl}\,Z' = \lambda\!\!\!^{-}_{C}$ (9')

Für das Elektron ist $Z'_E = 2.390\ 10^{22}$

Für das Proton ist $Z'_P = 1.3014\ 10^{19}$

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.

## 9.4. Elektromagnetismus: Einleitung

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 *in* der (flachen oder gekrümmten) 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 *zwei* 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 *eine* 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 differenziellen 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 differenziellen Winkelmaßes $d\varphi$ erzeugt wird. Diese einfache Vermutung wird uns nun – ganz ohne Quantentheorie – tief in das Reich der quantentheoretischen Phänomene führen.

## 9.5. Elektromagnetismus: 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 $\sigma(r)$ ($r > m$) 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 $\mu > 0$ ($r > \mu$) 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°. Der Kreis mit Radius $\mu$ hat 0°, d.h. sein Umfang verschwindet. Für $\mu < 0$ wird jeder Kreisumfang um $2\pi|\mu|$ größer. Der Kreis mit Radius $|\mu|$ hat 720°.

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 | Elektromagnetismus | |
|---|---|---|
| $\sigma = \frac{r - m}{r}$ | $\eta = \frac{r - \mu}{r}$ | (10) |
| m ist die *geometrische Masse* | $\mu$ ist die *geometrische Ladung* | |
| $m > 0 \Leftrightarrow$ Materie | $\mu > 0 \Leftrightarrow$ positive Ladung[49] | |
| $m < 0 \Leftrightarrow$ Antimaterie | $\mu < 0 \Leftrightarrow$ negative Ladung | |
| $\sigma = \frac{dr}{dr'}$ | $\eta = \frac{d\varphi}{d\varphi'}$ | (11) |

[49] 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.

$$\boxed{dr' = (1 - \frac{m}{r})^{-1}\, dr}$$

$$\frac{r'}{r} = 1 - \frac{m}{r}$$

Das bedeutet: Jeder radiale Abstand wird um |m| Einheiten kleiner bzw. größer:

$$PO = r \quad \Leftrightarrow \quad (PO)' = r - m$$

Das Bogendifferenzial $rd\varphi$ bleibt gleich

$$rd\varphi' = rd\varphi$$

Aus (10) und (11) folgt

$$\boxed{r\, d\varphi' = (1 - \frac{\mu}{r})^{-1}\, r\, d\varphi} \qquad (12)$$

Die Bogenlängen $r\varphi'$ und $r\varphi$ verhalten sich umgekehrt wie die Bogendifferenziale $rd\varphi'$ und $rd\varphi$:

$$\frac{r\varphi'}{r\varphi} = 1 - \frac{\mu}{r} \qquad (13)$$

Aus (13) folgt: Der Umfang $2\pi r$ eines Kreises mit Mittelpunkt O wird um $|2\pi\mu|$ kürzer bzw. länger:

$$U = 2\pi r \quad \Leftrightarrow \quad U' = 2\pi(r - \mu) \qquad (13')$$

Das radiale Differenzial dr bleibt gleich

$$dr' = dr$$

## 9.6. Der um den Mittelpunkt rotierende Fluss

Im Folgenden werden wir anfangs ebenso vorgehen wie bei der Gravitation: wir bestimmen zunächst die Größe des *transversalen* (hier rotierenden) Flusses w(r) und danach die metrischen Verhältnisse in einem lokalen, nichtrelativistischen Flusssystem $S_F$. Die Gesamtheit der metrischen Verhältnisse aller $S_F$ wird wieder durch das System S repräsentiert, das relativ zu O ruht. Auf das lokale relativistische Flusssystem $S'_F$ kann allerdings verzichtet werden, da hier von $S_F$ aus ein direkter Übergang auf das globale relativistische System S' möglich ist.

Danach wenden wir uns der zweiten Aufgabe dieses Kapitels zu: der Konstruktion des metrisch-dynamischen Atommodells. Wir werden Folgendes zeigen:

Die metrischen Veränderungen, die sich aus der geometrischen Ladung des Protons sowie der geometrischen Masse des Elektrons (!) ergeben, wirken auf eine Weise zusammen, dass sich genau die stehenden Wellenzustände ausbilden, die den Zuständen des quantenmechanischen Atommodells entsprechen.

Gleichung (21) aus 4.6.

$$dr_F = dr\,(1 - v^2)^{-1}$$

zeigt den allgemeinen Zusammenhang zwischen der Flussgeschwindigkeit v(r) und dem Längendifferenzial $dr_F$ im Fluss. ***Dieser Zusammenhang muss also auch zwischen der transversalen Flussgeschwindigkeit w(r) und dem Längendifferenzial im transversalen Fluss bestehen.***

Im kugelsymmetrischen Fall rotiert der transversale Fluss um das Zentrum (siehe die folgende Skizze (S2) ), und das Längendifferenzial im transversalen Fluss wird zum Bogendifferenzial $r\,d\varphi_F$. Gemäß (21) aus 4.6. gilt dann für w(r)

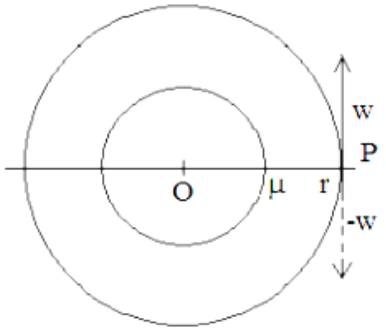
$$r\,d\varphi_F = r\,d\varphi\,(1 - w^2)^{-1} \qquad (r\,d\varphi \text{ unverändertes Differential}) \quad (14)$$

Dann ist $$1 - w^2 = \frac{r\,d\varphi}{r\,d\varphi_F} = \eta = 1 - \frac{\mu}{r}$$

und daher[50] $w = \pm\sqrt{\frac{\mu}{r}}$ (15)

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.




(S2)

Da (S2) 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

[50] Auch hier gelten wieder, wie im Abschnitt 9.3, die Bedingungen des hybriden Systems, da die übliche Beschreibung des Elektromagnetismus vor-metrisch ist. Der Faktor 2 entfällt also, sodass $dr_F = dr'_F$, d.h.das Differenzial des nichtrelativistischen Systems $S_F$ ist gleich dem des relativistischen Systems $S'_F$.

*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 μ 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 $-\mu$ (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.)

## 9.7. 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 $r\varphi$.

Das Folgende gilt für S und daher auch für $S_F$, das dieselben differenziellen Maßgrößen hat wie S:

Wenn positive Ladung nach (12) durch $\quad r\,d\varphi_F = (1 - \frac{\mu}{r})^{-1}\, r\,d\varphi \qquad (\mu > 0)$

definiert ist – mit der Folge, dass für den Umfang $U_F$ eines Kreises um den Mittelpunkt O im durch die Ladung μ veränderten Kontinuum gilt:

$$U_F(r) = 2\pi(r - \mu)$$

– dann ist die gleich große negative Ladung dadurch definiert, dass

$$r\, d\varphi_F \;=\; (1 + \frac{\mu}{r})^{-1}\, r\, d\varphi$$

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: $w_{pos} \;=\; \pm\sqrt{\frac{\mu}{r}}$

Negative Ladung: $w_{neg} \;=\; \pm i\sqrt{\frac{\mu}{r}}$

Und somit: $w_{pos}^{\,2} \;+\; w_{neg}^{\,2} \;=\; 0$

## 9.8. 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' dienen.

Gemäß (14) und (15) ist ein lokales, mit dem rotierenden Fluss mitfließendes System $S_F$ charakterisiert durch

$$S_F : (\, dr_F \;=\; dr,\;\; d\varphi_F \;=\; (1 - \frac{\mu}{r})^{-1}\, d\varphi\,) \qquad (16)$$

Die radialen Abstände r bleiben gleich, das Bogendifferenzial ist verändert. (Das Bogendifferenzial $r\, d\varphi_F$ ist zugleich das tangentiale Längendifferenzial des lokalen Flusssystems $S_F$.)

(Zur Erinnerung: Die differenziellen Maßgrößen von $S_F$ sind gleich denen von S.)

Nun kann von $S_F$ (d.h. von der Umgebung eines beliebigen mitfließenden Punktes P mit PO > μ) auf ein lokales, relativ zu O ruhendes (nicht rotierendes) relativistisches Beobachtersystem S' transformiert werden,[51] und zwar mit dem Faktor der Lorentz-Transformation

$$k = \sqrt{1 - w^2} = \sqrt{1 - \frac{\mu}{r}} \tag{17}$$

Jeder lokale Bereich von S' hat relativ zum lokalen, mit dem Fluss bewegten System $S_F$ die Geschwindigkeit –w. Zur Bestimmung der Differenziale von S' gehen wir daher genauso vor wie bei der Gravitation: das (tangentiale) Längendifferenzial rdφ' von S' ergibt sich durch Multiplikation des Längendifferenzials von $S_F$ mit k, und das Zeitdifferenzial dt' durch Multiplikation des Zeitdifferenzials des feldfreien Raums mit k:

Somit gilt für das (tangentiale) Längendifferenzial rdφ' von S' nach (16)

$$r d\varphi' = r d\varphi_F \, k = r d\varphi \, (1 - \frac{\mu}{r})^{-1} \, (1 - \frac{\mu}{r})^{\frac{1}{2}}$$

$$r d\varphi' = r d\varphi \, (1 - \frac{\mu}{r})^{-\frac{1}{2}} \tag{18}$$

und für das Zeitdifferenzial dt'

$$dt' = dt \, (1 - \frac{\mu}{r})^{\frac{1}{2}} \tag{19}$$

Das radiale Differenzial dr bleibt unverändert.

---

[51] 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.

Aus (18) folgt, dass in Bezug auf einen relativ zu O ruhenden Beobachter für den Umfang U' eines Kreises mit Mittelpunkt O gilt:

$$U' = U \left(1 - \frac{\mu}{r}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (20)$$

Aus (19) 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 (17) langsamer, bei negativer Ladung schneller als ohne Ladung.***

(Im Fall von negativer Ladung ist in (17) und (19) $\mu < 0$ 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.

## 9.9. 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 7. Kapitel. Dort wurden der Lichtelektrische Effekt und der Compton-Effekt durch das einfachste Modell einer solchen Wechselwirkung beschrieben. Der wichtigste Punkt war: Photonen und Elektronen sind keine Teilchen, sondern nur Wellen. Für die elektromagnetische Wechselwirkung bedeutet das, dass sie nicht durch "Austausch von Teilchen" erfolgt. Die "virtuellen" Photonen haben keine Entsprechung in der Wirklichkeit – alles beruht auf Überlagerung von Wellen.)

Mit dem oben Gesagten ist auch 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 Existierenden, 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 Wirkungs-mechanismus 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.

## 9.10. 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 Quantenmechanik im Kapitel 7 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 in einigen Fällen 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 Kapitel 7 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.

## 9.11. Zustände des Wasserstoffatoms

(Das relativ zu O ruhende relativistische Bezugssystem bezeichnen wir weiterhin als S', das mit dem rotierenden Fluss mitbewegte Bezugssystem wie bisher als $S_F$. Da unter den Bedingungen des hybriden Systems die Bogendifferenziale in $S_F$ und $S'_F$ identisch sind, entfällt die Bezeichnung $S'_F$.)

Sei also 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) $r\,d\varphi' = r\,d\varphi\,(1 - \frac{\mu}{r})^{-\frac{1}{2}}, \quad dt' = dt\,(1 - \frac{\mu}{r})^{\frac{1}{2}}$ (siehe (18) und (19))

b) $r\,d\varphi_F = r\,d\varphi\,(1 - \frac{\mu}{r})^{-1}$ (siehe (12). $\varphi_F$ entspricht $\varphi'$)

c) $w(r) = \pm c\sqrt{\frac{\mu}{r}}$ (siehe (15))

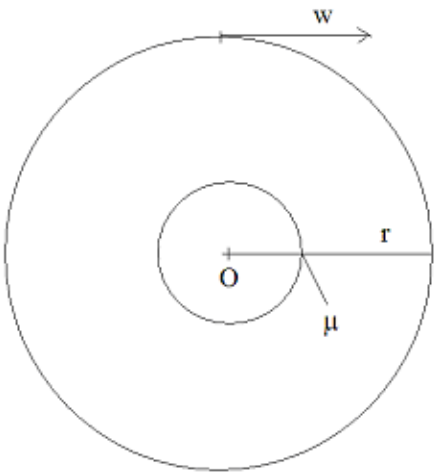
Für den Umfang U'(r) eines Kreises vom Radius r, der im System S' gemessen wird, gilt nach a)

$$U'(r) = 2\pi r\,(1 - \frac{\mu}{r})^{\frac{1}{2}}$$

Vom System $S_F$ aus gesehen hat nach b) derselbe Kreis den Umfang $U_F(r)$:

$$U_F(r) = 2\pi r\,(1 - \frac{\mu}{r})$$

Hier eine Skizze. Sie zeigt eine beliebige Ebene durch O. (Für w ist eine der zwei möglichen Richtungen ausgewählt.)




(S3)

Soweit die Voraussetzungen, die das Feld betreffen.

(Im folgenden steht der Faktor k wieder für: $k = \sqrt{1-\frac{w^2}{c^2}} = \sqrt{1-\frac{\mu}{r}}$ )

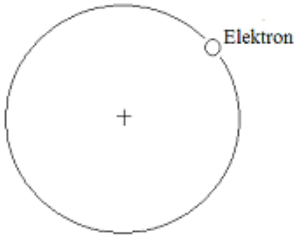
Als weitere Voraussetzung dient der Sachverhalt, der im Abschnitt 9.3. abgeleitet wurde:

*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 μ versetzt.

Zunächst ist es notwendig, zu klären, was von unserem Standpunkt aus bedeutet, "ein Elektron in das Feld einer positiven Ladung μ 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:



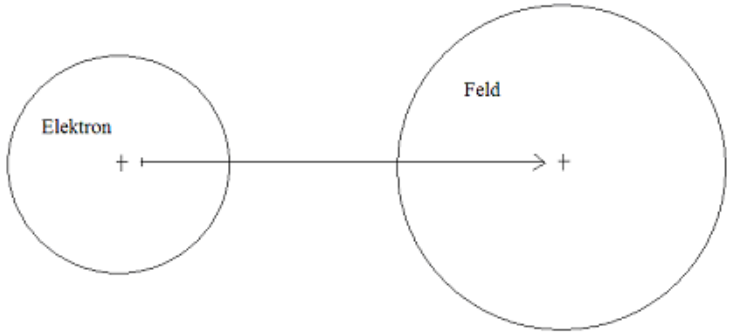

(S4)

– d.h. das Elektron um den Atomkern kreisen zu lassen.

Wir gehen stattdessen, genau wie im Kapitel 7 über Quantentheorie, von folgender Vermutung – oder sagen wir: Arbeitshypothese – aus:

*Das Elektron ist ein Schwingungszustand eines Bereichs des metrischen 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:




(S5)

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 Zustands des Kontinuum 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.

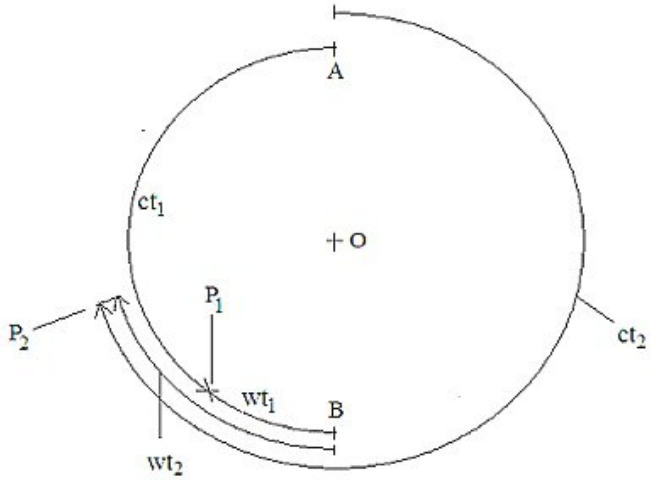
In Bezug auf das rotierende Flusssystem $S_F$ ist die Gleichheit der Phase dieser Schwingung aufgehoben, d.h. in Bezug auf $S_F$ existiert eine *Phasenwelle*. Die Wellenlänge dieser Phasenwelle liefert die Bedingung, aus der sich der Radius $r_1$ des einfachsten stationären Schwingungszustands für das 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 $r_1$.*

Zur Bestimmung der Phasendifferenzen in Bezug auf $S_F$ werden wir diesmal nicht, wie bei der Gravitation, die Lorentz-Transformation anwenden, sondern direkt auf die relativistische Zeitdefinition – oder besser: *Zeit-Erzeugung* – durch Prozesse mit Lichtgeschwindigkeit zurückgreifen, die wir im Abschnitt 3.1 begründet und im Kapitel 6 durchgeführt haben.

Die folgende Skizze dient der Veranschaulichung der Verhältnisse, aus denen die Zeitverschiebungen ermittelt werden können, die für einen Beobachter in $S_F$, d.h. einen mit dem Fluss rotierenden Beobachter, im Vergleich zu einem in S' ruhenden Beobachter gelten:




(S6)

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 Bezugssystem $S_F$, 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 (S6) zu entnahmen ist, gilt:

$$ct_1 + wt_1 = U_F/2 \qquad ct_2 - wt_2 = U_F/2$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{U_F/2}{c - w} - \frac{U_F/2}{c + w}$$

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 $\Delta t = 2\pi r_1 \frac{w}{c^2}$ (21)

Diese Zeitdifferenz muss einer Periode der Schwingung gleichgesetzt werden. Die Frequenz der Schwingung ist gleich $f_e$, der Frequenz des Elektrons, und daher ist die Periode gleich $1/f_e$. (Da sich Licht *im Fluss* bewegt, ist die lokale Lichtgeschwindigkeit im Fluss immer gleich, und deshalb ist auch die lokale Zeit gleich der außerhalb des Feldes und nicht entsprechend (19) verlangsamt. Daher ist die Frequenz eines *freien* Elektrons zu wählen.)

Damit kann nun der Radius $r_1$ abgeleitet werden. Ausgangspunkt ist

$$\Delta t = 1/f_e \quad (22)$$

$2\pi r_1 \frac{w}{c^2} = \lambda_{Ce} \frac{1}{c}$ ( $\lambda_{Ce}$ ist die Compton-Wellenlänge des Elektrons: $f_e \lambda_{Ce} = c$ )

$$2\pi r_1 = \lambda_{Ce} \frac{c}{w} \quad (23)$$

$$r_1 = \lambda\!\!\!^{-}_{Ce} \frac{c}{w} \quad (23')$$

Mit $\frac{c}{w} = \sqrt{\frac{r_1}{\mu}}$ ergibt sich

$$r_1 = \frac{\lambda\!\!\!^{-}_{Ce}{}^2}{\mu} \quad (24)$$

Hier ist $\lambda\!\!\!^{-}_{Ce}$ das geometrische Mittel von $r_1$ und $\mu$. (Vgl. (8) und (8'') )

Wird die geometrische Ladung μ dem klassischen Elektronenradius $r_e$ gleichgesetzt

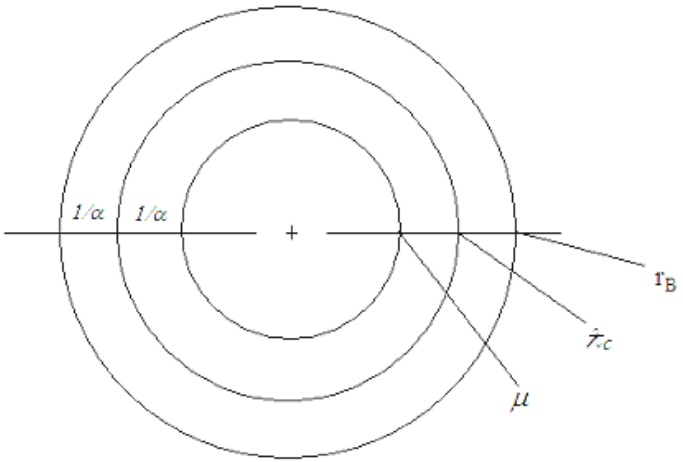
$$\mu = r_e \qquad (25)$$

– dann ist $r_1$ gleich dem Bohr-Radius, und (24) wird zu der bekannten Gleichung:

$$r_B = \frac{\lambda\!\!\!^{-}_{Ce}{}^2}{r_e} = \lambda\!\!\!^{-}_{Ce}\,\frac{\lambda\!\!\!^{-}_{Ce}}{r_e} = \lambda\!\!\!^{-}_{Ce}\,\frac{1}{\alpha} \qquad (24')$$

μ wird durch (25) zur ***geometrischen Elementarladung***.

Hier eine (logarithmisch skalierte) Skizze zu den Verhältnissen im tangentialen Fluss w:




(S7)

*Der Zusammenhang zwischen den drei Größen klassischer Elektronenradius – der hier der geometrischen Elementarladung μ 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 existiert – mit einer Frequenz, die wir im nächsten Abschnitt bestimmen werden – sondern auf einer *Kugelfläche* mit Radius $r_B$.

*Wird ein Elektron ins Feld einer positiven Ladung μ 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 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

$$k = \sqrt{1 - \frac{w^2}{c^2}} = \sqrt{1 - \frac{\mu}{r_B}}$$ (siehe (19) und die zugehörigen Erläuterungen)

langsamer vergeht. Also ist diese Frequenz – nennen wir sie $f_e'$

$$f_e' = f_e\, k \qquad (26)$$

Der Standardwert der Frequenz $f_e'$ eines Elektrons im Grundzustand des Wasserstoffs ist

$$f_e'/f_e \;=\; 1 - \frac{\alpha^2}{2} \qquad (27)$$

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

$$f_e'/f_e \;=\; \sqrt{1-\alpha^2} \;=\; 1 - \frac{\alpha^2}{2} + \frac{\alpha^4}{8} - \ldots\ldots \;\approx\; 1 - \frac{\alpha^2}{2} \qquad (28)$$

Der metrisch-dynamische Wert für $f_e'/f_e$ in (28) ist also geringfügig verschieden vom Standardwert in (27) [ $\alpha^4/8 = 3.54\ 10^{-10}$ ]. 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. (Siehe Abschnitt 9.6.)

In jedem ebenen Schnitt durch den Kugelmittelpunkt gibt es für die Flussgröße w(r) im Abstand $r_B$ genau zwei Möglichkeiten:

$$w = c\sqrt{\frac{\mu}{r_B}} \qquad \text{und} \qquad w = -c\sqrt{\frac{\mu}{r_B}}$$

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 Flussgröße $w(r_B)$ zur Definition einer Größe benutzen, die das metrisch-dynamische Analogon zum Spin der Quantenmechanik darstellt.

Der quantenmechanische Spin hat die Dimension eines Drehimpulses Θ, wobei

$$\Theta = M\, r\, w \qquad \text{(M die "normale" Masse, w die Tangentialgeschwindigkeit)}$$

Im metrisch-dynamischen System gibt es nur Längen und Zeiten und keine anderen Maßgrößen. Statt weitere Einheiten einzuführen, definieren wir den metrisch-dynamischen Spin $S_{md}$ analog zum "normalen" Spin (siehe dazu auch die Ausführungen am Ende dieses Kapitels im Addendum):

$$S_{md} = m_e\, r_B\, w_{r_B} \qquad (m_e \text{ geometrische Masse des Elektrons})$$

$$w_{r_B} = \pm\, c \sqrt{\frac{\mu}{r_B}}$$

$$S_{md} = \pm\, m_e\, r_B\, c \sqrt{\frac{\mu}{r_B}} = \pm\, m_e\, c \sqrt{\mu\, r_B}$$

Es gilt nach (24) $\qquad \sqrt{\mu\, r_B} = \lambda\!\!\!^{-}_{Ce}$

Also ist $\qquad S_{md} = \pm\, m_e\, c\, \lambda\!\!\!^{-}_{Ce}$

Nach (8") ist $\qquad m_e\, \lambda\!\!\!^{-}_{Ce} = \lambda\!\!\!^{-}_{Pl}{}^2$

Allerdings ist hier zu bedenken, dass (8") aus (6) folgt, und dass (6) aus dem nicht-relativistischen Wert für v (die gravitative metrische Flussgeschwindigkeit) abgeleitet wurde, die $\sqrt{(m/r)}$ beträgt. Da der Spin sich erst bei relativistischer Betrachtung ergibt, ist aber hier der relativistische Wert für v zu wählen, also $v = \sqrt{(2m/r)}$. (Siehe Gleichung (9) aus Kapitel 4.) Bei der Ableitung von (6) ist daher m durch 2m zu ersetzen.

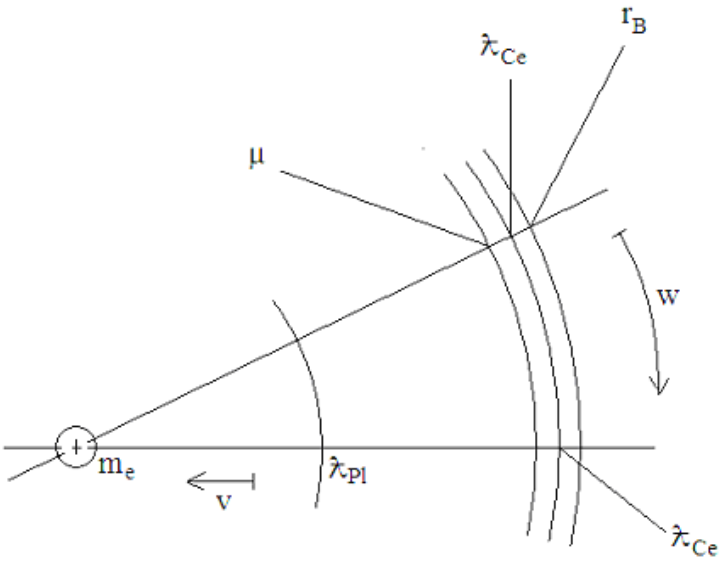
Anstelle von (8") gilt somit: $2 m_e\, \lambda\!\!\!^{-}_{Ce} = \lambda\!\!\!^{-}_{Pl}{}^2$, sodass schließlich folgt

$$S_{md} = \pm \tfrac{1}{2}\, c\, \lambda\!\!\!^{-}_{Pl}{}^{2} \qquad (29)$$

Die Dimension der Wirkung W ist $kg\,m^2\,s^{-1}$. Für das metrisch-dynamische Analogon W* muss kg durch m ersetzt werden, die Dimension von W* ist demnach $m^3\,s^{-1}$. Die rechte Seite in (29) hat also die Dimension der metrisch-dynamischen Wirkung. (29) nimmt dadurch folgende Gestalt an und entspricht somit der bekannten Gleichung:

$$S_{md} = \pm \tfrac{1}{2}\, W^*_{Planck} = \pm \tfrac{1}{2}\, \hbar^* \qquad (29')$$

Bei der Ableitung von (29') ist zu erkennen, wie der durch den ***gravitativen*** radialen Fluss v(r) vermittelte Zusammenhang zwischen den 3 Größen [ $m_e$ | $\lambda\!\!\!^{-}_{Pl}$ | $\lambda\!\!\!^{-}_{Ce}$ ] und danach der durch den ***elektromagnetischen*** tangentialen Fluss w(r) vermittelte Zusammenhang zwischen den 3 Größen [ $\mu$ | $\lambda\!\!\!^{-}_{Ce}$ | $r_B$ ] es ermöglichen, den Spin auf die elementare Wirkung zurückzuführen:




(S8)

Die Skizze (S8) ist logarithmisch skaliert (aber dennoch nicht maßstabsgetreu).[52]

Zur Erinnerung: Es gilt nach (9')

$$m_e Z'_E = \lambda\!\!\!^{-}_{Pl} \quad \text{und} \quad \lambda\!\!\!^{-}_{Pl} Z'_E = \lambda\!\!\!^{-}_{Ce} \quad \text{mit} \quad Z'_E = 2.390\ 10^{22}$$

– und nach (24) und (24')

$$\mu\ 1/\alpha = \lambda\!\!\!^{-}_{Ce} \quad \text{und} \quad \lambda\!\!\!^{-}_{Ce}\ 1/\alpha = r_B \quad \text{mit} \quad 1/\alpha = 137.036$$

### 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." *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.

---

[52] Eigentlich wird der halbzahlige Spin erst durch den metrisch-dynamischen Zugang verständlich: das Konzept der veränderlichen Winkeldichte erlaubt es zu begreifen, dass eine Drehung um 360° nicht ausreicht, um den ursprünglichen Zustand wiederherzustellen. So ist bei negativer Ladung $\mu < 0$ der Umfang eines Kreises mit $r = |\mu|$ gleich $4\pi|\mu|$, sodass ein voller Kreis einem Winkel von 720° entspricht – und das ist genau der Sachverhalt, der in der Quantenmechanik mit Spin ½ verknüpft ist.

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. Fluss-geschwindigkeit 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.

### 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 (21)

$$\Delta t = 2\pi r_n \frac{w}{c^2} \qquad (30)$$

Nun muss aber statt (22) $\Delta t = 1/f_e$

für die n-te Kugelfläche gesetzt werden:

$$\Delta t = n / f_e \qquad (31)$$

– 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

$$2\pi r_n \frac{w}{c^2} = n \lambda_{Ce} \frac{1}{c} \qquad (\lambda_{Ce} \text{ Compton-Wellenlänge des Elektrons. } f_e \lambda_{Ce} = c)$$

$$2\pi r_n = n \lambda_{Ce} \frac{c}{w} \qquad (32)$$

$$r_n = n \lambda\!\!\!^{-}_{Ce} \frac{c}{w} \qquad (32')$$

Mit $\frac{c}{w} = \sqrt{\frac{r_n}{\mu}}$ ergibt sich

$$r_n = n^2 \frac{\lambda\!\!\!^{-}_{Ce}{}^2}{\mu} \qquad (33)$$

$$r_n = n^2 \lambda\!\!\!^{-}_{Ce} \frac{1}{\alpha} = n^2 r_B \qquad (34)$$

Die zugehörige Frequenz $f_e(r_n)$ folgt aus

$$f_e(r_n) = f_e \sqrt{1 - \frac{\mu}{r_n}} = f_e \sqrt{1 - \frac{\mu}{n^2 r_B}} = f_e \sqrt{1 - \frac{\alpha^2}{n^2}}$$

$$f_e(r_n) / f_e = \sqrt{1 - \frac{\alpha^2}{n^2}} = 1 - \frac{\alpha^2}{2n^2} + \frac{1}{8}\frac{\alpha^4}{n^4} - .....$$

Das ist bis auf die Terme $\frac{1}{8}\frac{\alpha^4}{n^4} - .....$ identisch mit dem üblichen Wert

$$f_e(r_n) = f_e \left(1 - \frac{\alpha^2}{2n^2}\right) \qquad (35)$$

*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 ≠ 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:

$$L_{md} = m\, r\, v_t \qquad (36)$$

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 (32) mit k erweitern, dann steht links der Umfang des Kreises in Bezug auf S', und rechts steht die Zahl der Wellen mal der Phasenwellenlänge:

$$2\pi\, r_n\, k = n\, (\lambda_{Ce}\, \frac{c}{w_{(r_n)}}\, k)$$

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 $S_F$ herrscht dann Phasengleichheit.)

Es gilt 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 die obige Definition (36) 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

$$L_{md} = m_e\ n^2\,r_B\ l\ \sqrt{\frac{\mu}{n^2 r_B}}\ \frac{1}{n}$$

$$L_{md} = l\ m_e\ \sqrt{\mu\,r_B} \qquad [\ \mu\ r_B = \lambda\!\!\!^{-}_{Ce}{}^2 \qquad (24)\ ]$$

$$L_{md} = l\ m_e\ \lambda\!\!\!^{-}_{Ce} \qquad [\ m_e\ \lambda\!\!\!^{-}_{Ce} = \lambda\!\!\!^{-}_{Pl}{}^2 \qquad (8'')\ ]$$

Also ist schließlich

$$L_{md} = l\ \lambda\!\!\!^{-}_{Pl}{}^2 \qquad (37)$$

*l ist die Bahndrehimpulsquantenzahl.*

Wie beim Spin (siehe (29)) kann auch hier statt $\lambda\!\!\!^{-}_{Pl}{}^2$ die metrisch-dynamische Wirkung ħ* gesetzt werden: (siehe dazu wieder Seite 228 im *Addendum*)

$$L_{md} = l\,\hbar^* \qquad (37')$$

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*** (in der Umgebung einer geometrischen Ladung) und somit eine *Voraussetzung* des Schwingungszustands, den wir als das "Objekt" auffassen. Der Bahndrehimpuls ergibt sich dagegen aus der Annahme einer *Drehung des Schwingungszustands selbst*, d.h. er ist eine ***Eigenschaft des Objekts***.

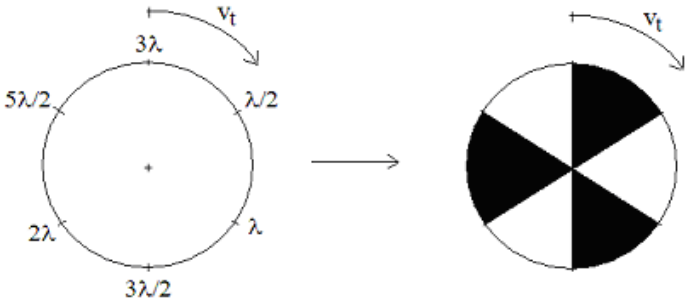
Bei Zuständen *ohne* Bahndrehimpuls ist es möglich, die gleichphasigen Schwingungen entlang von Kreisen mit Radius $r_n$ auf allen Ebenen durch O zu einer gleichphasig schwingenden Kugelfläche zusammenzusetzen.

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 ≠ 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.

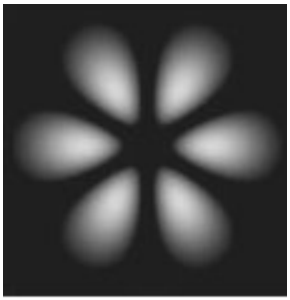
Hier eine Illustration am Beispiel des Zustands mit n = 4 und $l = 3$:




(S9)

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.

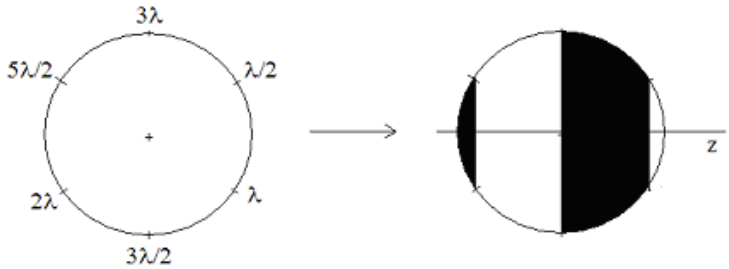
Der Drehimpuls des auf der rechten Seite skizzierten Schwingungszustands entspricht dem Drehimpuls des in der folgenden Skizze abgebildeten quantenmechanischen 4f-Zustands:



(S10)

(In (S10) 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 (S9). Z.B. wie in dieser Skizze:



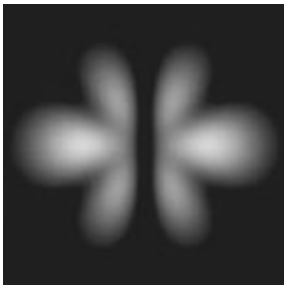

(S11)

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 (37) 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 (S11) 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 (S11) ist also $m = 0$, und der Zustand rechts in der Skizze (S11) kann mit dem 4f ($m$=0) Zustand in der folgenden Skizze identifiziert werden:



(S12)

(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 Kugelflächen-funktionen. 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 μ" 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 (37) 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: $l_A < n$ $(1 \le n \le n_A)$.

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.)

## 9.12. 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 (32')):

$$r_n = n \, \lambda\!\!\!^{-}_{Ce} \, \frac{c}{w}$$

Mit $\frac{c}{w} = \sqrt{\frac{r_n}{Z\mu}}$ folgt dann

$$r_n = n^2 \, \frac{\lambda\!\!\!^{-}_{Ce}{}^2}{\mu} \, \frac{1}{Z} \qquad (38)$$

$$r_n = n^2 \, \lambda\!\!\!^{-}_{Ce} \, \frac{1}{\alpha} \, \frac{1}{Z} = n^2 \, r_B \, \frac{1}{Z} \qquad (39)$$

Bei Zuständen mit Drehimpuls ≠ 0 ist wie zuvor:

$$L_{md} = m\, r\, v_t$$

$$m = m_e, \quad r = r_n = n^2\, r_B\, \frac{1}{Z}, \quad v_t = l\, w(r_n)/n = l \sqrt{\frac{Z\mu}{n^2 r_B \frac{1}{Z}}}\, \frac{1}{n} = l\, Z \sqrt{\frac{\mu}{r_B}}\, \frac{1}{n^2}$$

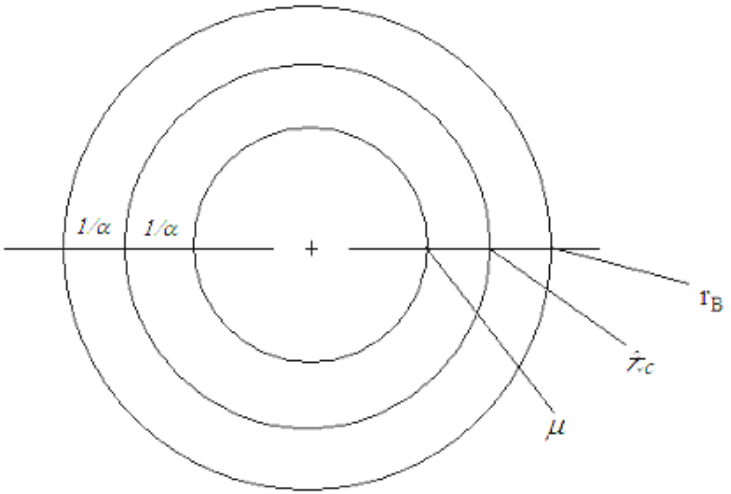
Die Faktoren Z kürzen sich weg, und damit ist das Ergebnis wieder wie in (37)

$$L_{md} = l\, \lambda\!\!\!^{-}_{Pl}{}^2$$

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 (S7) von Seite 198:




(S7)

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.

## 9.13. Interpretation: Was ist eine Elektronenhülle?

*Was ist die "Elektronenhülle" eines Atoms?*

Diese Frage wurde schon im Kapitel 7 über Quantentheorie 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 Zμ 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 –Zμ 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 Kapitel 7 die Basis für die Erklärung des *Kollaps' der Wellenfunktion* und für dessen Beschreibung als gewöhnlichen physikalischen Prozess.

Diese Hypothese, deren Stärke zunächst darin lag, dass sie eine konsistente lokale und objektive Interpretation der Quantentheorie ermöglichte, hat sich nun dadurch bestätigt, dass es gelungen ist, den Entwurf eines beträchtlichen Teils der physikalischen Wirklichkeit allein durch die Größen metrische Dichte und metrischer Fluss zu erstellen.

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 Zμ. Erst durch das Zusammenwirken beider Bedingungen entsteht die räumliche Wellenstruktur, die sich uns als Elektronenhülle präsentiert.

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. (Siehe die Wellengleichungen (2), (2'), (3), (3') und (4) in Kapitel 3.) [53]

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 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 Kapitel 7 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 Zμ 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

---

[53] 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.

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?)[54]

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.

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.

---

[54] 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.

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 mehrfach festgestellt habe: Das Elektron als Teilchen aufzufassen führt zu unbehebbaren 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.

## 9.14. 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 abzubrechen; es gibt zu viele offene Fragen.

Vor allem fehlt eine Beschreibung der *eigentlichen* elektromagnetischen Wechselwirkung. Allerdings sind die metrisch-dynamischen Voraussetzungen der Wechselwirkung bestimmt 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 )

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[55], 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. Allerdings habe ich es auch nicht sehr lange versucht – das angestrebte Ziel war längst erreicht, und meine Erwartungen hatte ich weit übertroffen.[56]

Andererseits ist es aber durchaus gerechtfertigt, hier abzubrechen. Das Hauptziel des physikalischen Teils dieses Buchs ist, bekannte Tatsachen und 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.

### Bemerkungen

1. Die Überlegungen dieses Kapitels haben die Hypothese bestätigt, die im Kapitel 7 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 einfachstmöglichen lokalen Schwingungszustände. Deshalb ist auch die Quantenmechanik einfach.

---

[55] 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 Kapitel 7 in den Abschnitten 7.2. und 7.3. 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.

[56] Leider fehlte später ein Anlass – wie bei der Gravitation das Problem der Galaxienrotation – der mich motiviert hätte, ein Upgrade zu versuchen.

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 eines Blasinstruments *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) unstetigen 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 unstetige 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 Einsteins Theorie der Gravitation (AR) *metrisch* ist und die Theorie des EM *mechanisch.* 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 (vorgegebenen) 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.

4. So wie bei der Darstellung der Gravitation haben wir auch bei der Rekonstruktion des quantenmechanischen Atommodells ausschließlich metrische Sachverhalte zugrunde gelegt – alle Erklärungen, Begründungen und Ableitungen waren rein metrischer Art. Da sie die Kausalität von Gleichung (1) erben, werden sie selbst Teil der kausalen Struktur.

Während jedoch bei der Gravitation die Verbindung zur Standardphysik gleich zu Beginn hergestellt wurde – durch die Gleichung $m = MG/c^2$ , die hier als Definitionsgleichung für M, die Masse in Kilogramm, aufzufassen ist –, sind wir beim Atommodell völlig im Bereich der Metrik geblieben – außer bei den Vergleichen der jeweiligen Ergebnisse mit den quantenmechanischen Vorgaben.

5. Zuletzt möchte ich mich nochmals zur Unfertigkeit und Skizzenhaftigkeit dieses Kapitels äußern. Ich habe es aus meinem Buch *Der Begriff der Wirklichkeit* fast unverändert übernommen. Als ich meine metrische Darstellung des Atomaufbaus vor mehr als zehn Jahren verfasste, war es das fortgesetzte Erstaunen darüber, dass man mit solch einfachen metrischen Ideen ein so komplexes mathematisches Modell wie das quantenmechanische Atom nachbilden kann, das mich dazu motiviert hat, diese Rekonstruktion immer weiter zu treiben.

Wie schon mehrfach erwähnt, ging es mir damals eigentlich nur darum, zu untersuchen, ob meine aus metaphysischen Überlegungen entstandenen Gleichungen (0) und (1) physikalisch sinnvoll sind. Die Übereinstimmung mit der quantenmechanischen Vorgabe empfand ich daher bloß als Bestätigung dafür. Erst viel später ist mir klar geworden, dass es sich bei diesem metrischen Atomaufbau nicht bloß um einen neuen Zugang zu einer bereits existierenden Theorie handelt, sondern um einen Schritt zu einer vollkommen neuen Theorie.

Wie im *Vorbericht* beschrieben, lag der Anlass für diese Änderung meiner Sichtweise in einem anderen physikalischen Bereich: Überlegungen zur Galaxienrotation haben mir gezeigt, dass mein metrischer Zugang nicht zur AR führt, sondern zu einer neuen Theorie, und dass sich daraus eine wesentlich größere Rotationsgeschwindigkeit ergibt als aus der AR. Diese Entdeckung hat mich so stark motiviert, dass ich nach langer Unterbrechung die Arbeit an meiner Beschreibung der Gravitation wieder aufnahm und sie zumindest so weit entwickelte, dass die Unterschiede zur AR deutlich wurden.

Inzwischen bin ich davon überzeugt, dass die Veränderungen beim Elektromagnetismus noch dramatischer sein werden als bei der Gravitation, wenn die hier vorgelegte Skizze zu einer Theorie

ausgearbeitet wird. Die Theorie des EM – auch in ihrer gegenwärtigen Form als Quantenelektrodynamik – ist *vor-metrisch,* in dieser Hinsicht also in dem Stadium, in dem die Gravitation vor Einstein war. Aus dieser Sicht fehlt der Theorie des EM somit der entscheidende Entwicklungsschritt. (Das gilt dann natürlich genauso für die Theorien der starken und schwachen Wechselwirkung.)

Der Ausbau meines Konzepts zu einer Theorie würde diesen Mangel beheben. Und das ist auch der Grund dafür, warum ich dieses Konzept – trotz seiner Unvollständigkeit – in mein neues Buch übernommen habe.

### Addendum: Umstellung auf ein rein metrisch-dynamisches System?

Aus metrisch-dynamischer Sicht gilt Folgendes:

1. Die *Begründung* einer physikalischen Theorie – z.B. der Gravitationstheorie – ist stets rein metrisch. Es gibt also nur die Dimensionen *Länge* und *Zeit*.

2. Es existiert aber bereits eine Beschreibung, die den (erfahrbaren) Eigenschaften *Schwere* und *Trägheit* (die in der metrisch-dynamischen Betrachtung *dasselbe* sind) eine eigene Dimension *Masse* mit der Einheit kg zuordnet.

3. Diese der Erfahrung entstammende Qualität *Masse* kann durch eine Definitionsgleichung – das ist hier die Gleichung $m = MG/c^2$ – mit der kausalen metrischen Struktur verknüpft werden.

Aber dann drängt sich doch die Frage auf:

*Hat die Masse in Kilogramm dann überhaupt noch eine Existenzberechtigung?* Kann sie nicht einfach ***überall*** durch die geometrische Masse mit der Dimension *Länge* ***ersetzt*** werden? – und ich meine damit eine *direkte* Ersetzung, also ohne den dimensionsbehafteten Faktor $G/c^2$.

Ich will das zunächst an einigen Beispielen demonstrieren.

(Der Einheitlichkeit halber werde ich die metrischen Größen, durch die die Standardgrößen ersetzt werden, mit * kennzeichnen. Die geometrische Masse wird also ab jetzt mit $M^*$ bezeichnet statt wie bisher mit m. Die Dimensionen werde ich durch die zugehörigen Einheiten ausdrücken.)

| | Dimension der *mechanischen* Größe: | Dimension der *metrisch-dynamischen* Größe: | |
|---|---|---|---|
| *Kraft:* | $\dim F = kg\ m\ s^{-2}$, | $\dim F^* = m^2\ s^{-2}$ | |
| *Energie*: | $\dim E = kg\ m^2\ s^{-2}$ | $\dim E^* = m^3\ s^{-2}$ | |
| *Wirkung*: | $\dim W = kg\ m^2\ s^{-1}$ | $\dim W^* = m^3\ s^{-1}$ | usw. |

In allen Gleichungen, die die Größe *Masse* beinhalten, wird also die Dimension dadurch verändert, dass [Kilogramm] durch [Meter] ersetzt wird. Das Set elementarer Maßeinheiten wird reduziert.

Die Gleichungen gehen dann in formal identische Gleichungen über. Dazu einige Beispiele:

Newtons Gleichung [Kraft = Masse mal Beschleunigung]

$F = Ma$ oder, in differenzieller Schreibweise: $F = d(Mv/dt$

wird zu $F^* = M^* a$ bzw. $F^* = d(M^* v)/dt$

Offenbar gilt: $M^* = M \frac{G}{c^2}$

Daraus folgt, dass das metrisch-dynamische Wirkungsquantum $h^*$ zum üblichen Wirkungsquantum h in folgender Beziehung steht:

$$h^* = h \frac{G}{c^2} \qquad (\dim h^* = m^3\ s^{-1})$$

Dann folgt aus $E = h\nu$

$$E^* = h \frac{G}{c^2} \nu$$

$$E^* = h^* \nu$$

Für die fundamentale Länge $\lambda_{Pl}$ gilt:

$$\lambda_{Pl}^{\,2} = \frac{hG}{c^3} = h\,\frac{G}{c^2}\,\frac{1}{c} = h^*\,\frac{1}{c}$$

Das *metrisch-dynamische Wirkungsquantum* $h^*$ ist also gleich dem Quadrat der Elementarlänge mal der Lichtgeschwindigkeit:

$$h^* = \lambda_{Pl}^{\,2}\, c$$

Damit nehmen einige der in dieser Arbeit abgeleiteten Gleichungen die übliche Form an.

Z.B. wird aus Gleichung (37) auf Seite 209 das metrisch-dynamische Analogon zum quanten-mechanischen Drehimpuls:

Aus $\quad L_{md} = l\,\lambda\!\!\!^{-}_{Pl}{}^2$

wird $\quad L_{md} = L^* = l\,\hbar^*$

(Hier ist berücksichtigt, dass in der Ableitung von Gleichung (37) w für w/c steht.)

Gleichung (8') $\quad M^*c = \lambda_{Pl}^{\,2}\,\nu$ $\quad$ (Seite 176)

wird zu $\quad M^*c = h^*\,\frac{1}{c}\,\nu$

Also ist $\quad M^*c^2 = h^*\nu = E^*$

– und damit erscheint diese Beziehung – die im Abschnitt 9.3. 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 $G^* = c^2$

Das bedeutet: *die Gravitationskonstante G verliert ihre Bedeutung als eigenständige Naturkonstante* (was aber hier eigentlich selbstverständlich ist).

Die Newtonsche Näherung

$$F = G \frac{M_1 M_2}{r^2}$$

geht über in $F^* = c^2 \frac{m_1 m_2}{r^2}$

Diese (willkürlich ausgewählten) Beispiele stützen die Vermutung, dass es tatsächlich möglich ist, die Masse in Kilogramm aus dem physikalischen Beschreibungssystem zu entfernen und durch die Masse in Metern zu ersetzen. Insbesondere stellen die Beispiele, in denen sich durch diese Ersetzung ein rein metrisch abgeleitetes Resultat in eine bekannte fundamentale Gleichung verwandelt, weitere Indizien dafür dar, dass die ganze Physik auf einer metrischen Grundlage beruht.

Analog zur Gravitation, wo die Masse in Kilogramm durch die Masse in Metern ersetzt wurde, müsste beim Elektromagnetismus die elektrische Ladung in Coulomb durch die elektrische Ladung in Metern ersetzt werden – vermutlich im Gaußschen Einheitensystem. Da aber noch keine metrische Theorie des Elektromagnetismus vorliegt, haben wir hier leider das Ende der Ausbaustrecke erreicht.

Nach wie vor bin ich aber von der Möglichkeit eines rein metrischen Beschreibungssystems fasziniert, und es schien mir passend, das Kapitel über den metrisch-dynamischen Atomaufbau mit dieser Vision abzuschließen.

## 10. Wellen mit Lichtgeschwindigkeit → Keine Dunkle Energie

Um messen zu können, werden Einheiten benötigt. Unsere Einheiten Meter und Sekunde sind durch atomare Vorgänge definiert. "Sekunde" folgt aus der *Frequenz* und "Meter" aus der *Wellenlänge* des Lichts, das bei einem atomaren Übergang ausgestrahlt wird bzw. mit diesem Übergang in Resonanz ist.

Alle gemessenen Abstände – auch die von weit entfernten Objekten im Kosmos – werden zu der Wellenlänge, die wir als Grundlage für die Definition der Längeneinheit gewählt haben, in Relation gesetzt: es sind Vielfache dieser Wellenlänge.

Messen ist also das Herstellen einer Relation. Im Alltag sind wir berechtigt, einen der beiden Partner der Relation – den *Maßstab – absolut* zu setzen, d.h. anzunehmen, er sei vollkommen konstant. Wenn wir an demselben Objekt zu zwei verschiedenen Zeitpunkten verschiedene Längen messen, dann nehmen wir an, das sich das Objekt verändert hat und nicht der Maßstab.

In diesem "alltäglichen" Fall gibt es allerdings einen guten Grund für diese Einschätzung: im Normalfall bleibt ja *alles andere* gleich groß, sodass es unsinnig wäre, anzunehmen, die Größe unseres Maßstabs hätte sich geändert.

Was wäre aber, wenn *alles* sich in Relation zu unserem Maßstab verändert hätte – sagen wir: größer geworden wäre? Dann würden wir selbstverständlich annehmen, dass unser Maßstab sich verkürzt hat – es sei denn, es gäbe zwingende Gründe dafür, das auszuschließen.

Betrachten wir nun den Fall, den wir tatsächlich vorfinden – den Fall, das sich *alles* von uns zu entfernen scheint, und zwar je weiter, umso schneller. Nun müssten wir doch eigentlich annehmen, dass unser Maßstab – die Wellenlänge – sich im Lauf der Zeit verkürzt, was offenbar hinsichtlich der beobachteten Rotverschiebung völlig äquivalent zur üblichen Annahme ist, dass sich alles *tatsächlich* entfernt.

Hier ist außerdem zu bedenken, dass das, was wir zuvor beim "alltäglichen" Fall so unbekümmert "alles" genannt haben, nun ***wirklich*** "alles" ist: *alles, was existiert*, *ja das ganze Universum* wird durch unseren als absolut postulierten Maßstab gemessen und in seiner veränderlichen Entfernung bzw. Ausdehnung bestimmt.

Es darf wohl behauptet werden, dass in diesem Fall die Absolutsetzung unseres Maßstabs – der von uns gewählten Wellenlänge – unter starken Druck gerät, wenn sie nicht sogar absurd erscheint: kann

es tatsächlich gerechtfertigt sein, irgendetwas Existierendes absolut zu setzen und aus seinem Maß auf eine veränderliche Größe des Universums zu schließen? Muss *Größe* nicht *auf jeden Fall* ein relativer Begriff sein?

Bevor wir uns weiter in diese Frage vertiefen, wollen wir aber klären, ob es Gründe dafür gibt, eine der beiden zur Wahl stehenden alternativen Hypothesen vorzuziehen:

Hypothese 1: ***Das Universum dehnt sich aus.***

Hypothese 2: ***Unser Maßstab schrumpft.***

Was den historischen Grund für Hypothese 1 betrifft – die Rotverschiebung – sind, wie erwähnt, die beiden Hypothesen logisch äquivalent.

Gründe, die gegen Hypothese 1 sprechen, werden wir gleich anschließend diskutieren. Zunächst fragen wir uns: Was spricht eigentlich gegen Hypothese 2? Wie es scheint, Folgendes:

Es ist unsere Entscheidung, welche Wellenlänge wir zur Definition unserer Längeneinheit wählen. Im Grunde betrifft das alle Wellenlängen, die von Atomen oder Molekülen ausgesendet werden. Das bedeutet, dass sich nicht nur unser Maßstab, sondern überhaupt *alles, was existiert*, im selben Maß verkleinern müsste – auch wir selbst.

Im Rahmen der Standardphysik erscheint diese Bedingung grotesk. Im Rahmen des metrischen Aufbaus der Naturbeschreibung hingegen wird sie (fast) zu einer Selbstverständlichkeit. Folgendermaßen:

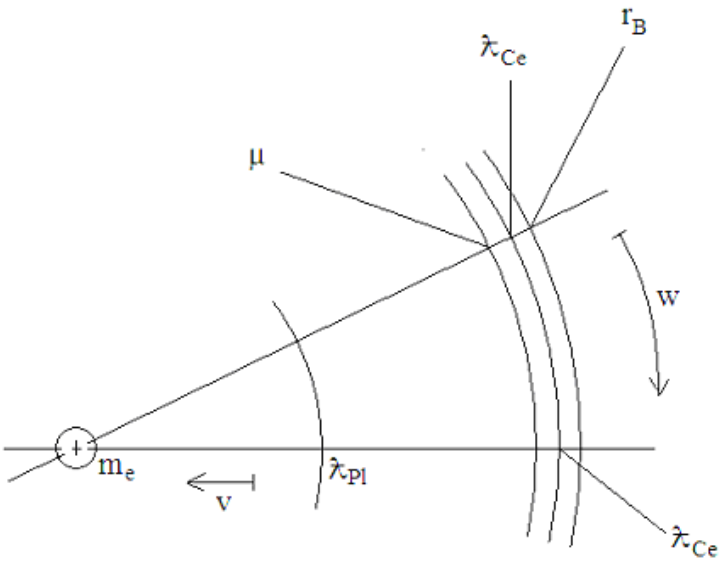
Im vorigen Kapitel haben wir eine fundamentale Wellenlänge angenommen, die der Planck-Länge entspricht. Wir haben sie den Wellen zugeordnet, die wir schon im Kapitel 3 abgeleitet und als Basis der Wirklichkeit aufgefasst haben.

Im Kapitel 6 über Relativität haben wir gezeigt, dass sich aus diesen Wellen die speziell-relativistische Raum-Zeit-Struktur ableiten lässt.

Aus Kapitel 4 über Gravitation folgt, dass diese Wellen nicht im unverzerrten Kontinuum der SR laufen, sondern in den metrischen Flüssen der Gravitation.

*Unter Verwendung der geometrischen Masse m des Elektrons sowie der geometrischen Einheitsladung μ haben wir unter diesen Voraussetzungen im Kapitel 9 auf rein metrische Weise eine Wellenstruktur errichtet, die dem quantenmechanischen Atom entspricht.*

Hier nochmals die (logarithmisch skalierte) Übersichts-Skizze (S8) von Seite 202 und die zugehörigen Gleichungen. Beim metrisch-dynamischen Aufbau sind alle diese Beziehungen durch Wellen vermittelt:




(S8)

$m_e\, Z'_E = \lambda\!\!\!^{-}_{Pl}$ und $\lambda\!\!\!^{-}_{Pl}\, Z'_E = \lambda\!\!\!^{-}_{Ce}$ mit $Z'_E = 2.390\ 10^{22}$

$\mu\ 1/\alpha = \lambda\!\!\!^{-}_{Ce}$ und $\lambda\!\!\!^{-}_{Ce}\ 1/\alpha = r_B$ mit $1/\alpha = 137.036$

( $m_e$ ist die geometrische Masse des Elektrons, $Z'_E$ ist ein multiplikativer Faktor, $\lambda\!\!\!^{-}_{Pl}$ ist die fundamentale Wellenlänge, die wir als metrische Basis aller materiellen Strukturen annehmen, $\lambda\!\!\!^{-}_{Ce}$ ist die Compton-Wellenlänge; μ ist die geometrische Einheitsladung, α ist die Feinstruktur-konstante, $r_B$ ist der Bohr-Radius. )

Nehmen wir an, $\lambda\!\!\!^{-}_{Pl}$ ändere sich um den Faktor q ($q \in \mathbb{R}$), Masse $m_e$ und Ladung μ bleiben gleich.

Also: $\lambda\!\!\!^{-}_{Pl} \rightarrow \lambda\!\!\!^{-}_{Pl}\, q$

Gemäß den unterhalb der Skizze dargestellten Beziehungen ändert sich daher $\lambda\!\!\!^{-}_{Ce}$ um den Faktor $q^2$. Aus der zweiten Zeile folgt dann, dass sich $r_B$ um den Faktor $q^4$ ändert.

Für den n-ten Radius haben wir abgeleitet (Z Kernladungszahl):

$$r_n = n^2 \frac{1}{Z} r_B \qquad (39)$$

Somit gilt für alle Radien:

$$r_n \rightarrow r_n\, q^4$$

Die Radien sind aber aus der Bedingung abgeleitet, dass auf der zugehörigen Kugelfläche eine gleichphasige Schwingung existiert. Die auf diese Weise ermittelten Wellenlängen gelten dann für die Zustände mit Bahndrehimpuls 0. Zustände mit Bahndrehimpuls ≠ 0 ergeben sich aus der Bedingung, dass der Umfang ein Vielfaches der Wellenlänge der Phasenwelle ist, die sich durch die Aufhebung der Gleichphasigkeit infolge der Rotation ergibt. Der Faktor $q^4$ bleibt also auch für die Wellenlängen dieser Zustände erhalten.

Das bedeutet:

***Wenn sich die Planck-Wellenlänge um den Faktor q ändert, dann ändern sich alle (auf Elektronen-Zustände bezogenen) Wellenlängen der Atome um den Faktor $q^4$.*** [57]

Die Bedingung, dass sich *alles* um denselben Faktor verkleinern muss, falls Hypothese 2 gelten soll, hat sich damit auf die Bedingung reduziert, dass sich die Planck-Wellenlänge ändert.

Die solchermaßen vereinfachte Entscheidung, die zu treffen ist, lautet demnach:

***Verändert sich die Größe des Universums oder verändert sich die fundamentale Wellenlänge?***

Damit hat sich das argumentative Gleichgewicht eindeutig zu Gunsten von Hypothese 2 verschoben.

---

[57] Da die obigen Beziehungen nur innerhalb von Atomen und Molekülen gelten, bleiben die Wellenlängen *nach* dem Aussenden konstant.

Diese Verschiebung wird noch wesentlich deutlicher, wenn wir nun weitere Gründe anführen, die gegen Hypothese 1 sprechen.

Geht man von Hypothese 1 aus und interpretiert somit die Rotverschiebung als Folge der Fluchtgeschwindigkeit, dann ist es aufgrund der Messwerte unumgänglich, eine *Zunahme* dieser Geschwindigkeit anzunehmen.

Das ist die Geburtsstunde der *Dunklen Energie* – aus metrisch-dynamischer Sicht eines der dunkelsten Kapitel der Standardphysik.[58] Auf Basis der Hypothese 1 ist sie, wie gesagt, unvermeidbar; aber man fragt sich doch unwillkürlich, was eigentlich geschehen müsste, um diese Hypothese in Frage zu stellen. Bekanntlich ist es ja immer möglich, eine Hypothese durch *Ad-hoc-Annahmen* gegen Widerlegung zu immunisieren.

Ganz anders stellt sich der Sachverhalt auf Basis der Hypothese 2 dar. Hier gibt es ja überhaupt keine Expansion – die Einführung Dunkler Energie ist somit überflüssig. Außerdem führt schon die einfachste Annahme – die Annahme einer zeitlich konstanten Verringerung der fundamentalen Wellenlänge – zu einer Rotverschiebung, die unter Voraussetzung von Hypothese 1 als beschleunigte Ausdehnung erscheinen würde. (Ich überlasse es dem Leser, das zu überprüfen.)

Das bedeutet:

***Geht man von Hypothese 2 aus – davon, dass sich die Wellenlänge, mit der wir messen, verkürzt – dann gibt es keinen Grund mehr für die Annahme "Dunkler Energie". Ihre Einführung erübrigt sich.***

Ein überaus erhellendes und erfreuliches Resultat.

---

[58] In ihrer einfachsten Form entspricht diese "Dunkle Energie" der *kosmologischen Konstante,* die Einstein 1917 vorgestellt hatte. Sie war seine einzige *ad hoc* eingeführte Hypothese – sie sollte dazu dienen, ein statisches Universum zu ermöglichen. Einstein versuchte zunächst – unzureichend, wie er später selbst meinte – sie durch einen negativen Druck zu erklären. (A. Einstein, *Grundzüge der Relativitätstheorie*, 4. Auflage, Vieweg und Sohn, Braunschweig 1965, S.68 und S.72) Im Grunde wird aber einfach eine mathematische Freiheit genützt, Terme bestimmter Art in die Einsteinschen Feldgleichungen einzufügen. Einstein hat diese kosmologische Konstante später als "größte Eselei" seines Lebens bezeichnet. Sie tritt aber seither (in verschiedensten Größenordnungen) immer wieder auf, immer *ad hoc,* immer dann, wenn Widersprüche nicht anders beseitigt werden können. Nach wie vor stellt sie bloß eine mathematische Freiheit dar; Bei keinem ihrer Auftritte ist sie physikalisch motiviert – außer bei einem einzigen: als Vakuumenergie, die sich aus der Quantenfeldtheorie ergibt: hier ist sie aber mindestens $10^{100}$ mal zu groß!

Ich möchte noch kurz auf das Problem der Absolutsetzung des Maßstabs eingehen. Im metrisch-dynamischen Aufbau der Naturbeschreibung ist es in viel höherem Maß als in der Standardphysik fragwürdig, irgendeiner Länge ein absolutes Maß zuzuschreiben:

Dasjenige, was die Wirklichkeit hervorbringt, ist *in sich unterschiedslos.* Es hat keine Struktur und kein Gedächtnis. Daraus folgt jedoch unmittelbar, dass es auch *keine Größe* hat. Ihm eine Größe zuzuschreiben, ist daher unzulässig.

Der *Ursprung des Seienden* ist kein Objekt. Dass es die Größe des Universums nicht gibt, ist somit keine *logische*, sondern eine *ontologische* Tatsache. Als formaler Parameter, der zu einem *Beschreibungssystem* gehört, existiert die Größe des Universums ja nach wie vor: ich kann sie zur Größe jeder im Universum befindlichen Struktur in Beziehung setzen.

Als Attribut des *wirklichen* Universums existiert "Größe" jedoch nicht. Sie kann sich daher nicht ändern – es gibt keine Expansion. Und deshalb gibt es auch keine Dunkle Energie.

Die Beziehung zwischen Wirklichkeit und Formalismus lässt sich wie folgt darstellen:

Die korrekte *ontologische* Aussage lautet: *Das Universum hat keine Größe.*

Die zugehörige korrekte *formale* Aussage lautet: *Die Größe des Universums ist unveränderlich.*

Wenn es also eine zeitlich veränderliche Relation zwischen der Größe des Universums *selbst* und der Größe eines Objekts *im* Universum gibt, dann muss diese Änderung in jedem Fall dem Objekt zugeschrieben werden.

**Bemerkung:**

Hinter der Entwicklung des kosmologischen Standardmodells steckt ein ungeheurer personeller und materieller Aufwand. Wird dadurch nicht auch das logische Gewicht der Hypothese vergrößert, dass sich das Universum (beschleunigt) ausdehnt?

Ich denke nein. Es sind zu viele Joker im Spiel. Der wichtigste ontologische Joker ist *Dunkle Materie.* Über sie kann völlig frei verfügt werden: wieviel ist vorhanden, wann entkoppelt sie sich von der Strahlung, wie groß ist die anfängliche Fluktuation usw. – alles kann genau so angepasst werden, wie es das Modell erfordert. Der wichtigste mathematische Joker ist *Inflation. Ad hoc* wird ein neues Skalar-Feld eingeführt – abermals eine Version der *kosmologischen Konstante!* –, das mit einem Gewaltstreich alles ausradiert, was die Urknall-Hypothese gefährden könnte.[59] Außerdem

[59] Auch die Ad-hoc-Hypothese *Inflation* wird überflüssig, wenn statt der Ausdehnung des Kosmos das

kann Inflation für eine Version des *Multiversums* benützt werden, wodurch man wiederum die Möglichkeit gewinnt, für alles, was nicht erklärt werden kann, den Zufall heranzuziehen.

Ich verstehe durchaus die Begeisterung darüber, wie ähnlich die Simulationen, die nach dem kosmologischen Standardmodell durchgeführt werden, dem wirklichen Universum sind. Aber ich glaube, dass das logische Gewicht der Hypothese 1 dadurch kaum größer wird. Bei derart mächtigen Jokern ist der Schluss auf die Korrektheit des Spiels nicht mehr zulässig.

**Bemerkung:**

Falls man annimmt, dass die fundamentale Wellenlänge – und mit ihr zugleich alle anderen Wellenlängen – zeitlich veränderlich sind, steht man vor der Frage, *warum* das der Fall ist, und vor der damit zusammenhängenden Frage, wie der *Verlauf* dieser Änderung ist.

Zur Auswahl stehen: *monoton abnehmend, periodisch* und *unregelmäßig*. Sollte die Periode deutlich kürzer sein als das Alter des Universums in der Standardkosmologie, dann müsste sich das in den Beobachtungsdaten äußern. Falls *monoton abnehmend* zutrifft, würde das auf ein Entstehen der Strukturen zum Zeitpunkt des Urknalls hinweisen (der aber hier natürlich nicht stattfindet). Die zugehörige Kosmologie wäre dann vermutlich in mancher Hinsicht mit dem kosmologischen Standardmodell verwandt. Außerdem gibt es bei *monoton abnehmend* zwei Möglichkeiten: *bis zu einem bestimmten Zeitpunkt* (und ab dann wieder zunehmend – vielleicht bis zur Auflösung der Strukturen und einem Neubeginn?), oder *für immer*.

Jedenfalls ist klar, dass der Prozess der Wellenlängen-Änderung im Rahmen der metrischen Selbstorganisation des Kosmos stattfindet, und es ist zu hoffen, dass die Antworten auf die obigen Fragen weniger absurde Hypothesen erfordern als die Annahme Dunkler Energie.

Zuletzt sei noch darauf hingewiesen, dass aus der Annahme veränderlicher Wellenlängen anstelle beschleunigter Expansion folgt, dass das Universum eine geschlossene metrische Struktur ist. Dadurch wird nahegelegt, dass eine Selbstorganisation in der Form stehender Wellen in mehreren Größenordnungen stattfindet.[60]

---

Schrumpfen des Maßstabs angenommen wird: Ohne Urknall keine Inflation.

[60] Für den Radius des Universums muss gelten: $R(U) = m(U)$, ( $m(U)$ geometrische Masse des Universums, $m = M\,G/c^2$), da *jede* geometrische Masse m genau den Raumbereich mit Radius m abschließt (siehe 4.4).

( $R(U) = M(U)\,G/c^2$ ist eine Beziehung, auf die besonders von *Paul Dirac* hingewiesen wurde.)

# 11. Prozess, der die Wirklichkeit erzeugt ⟶ Begründung der Kausalität

## 11.1. Der Ursprung der Kausalität

Genau genommen bezieht sich die Begründung von Kausalität nur auf die Herstellung eines Zusammenhangs zwischen Ursache und Wirkung. Wir werden sie aber auf die Begründung der Existenz von Naturgesetzen erweitern.

Zunächst zur Ursache-Wirkung Frage. Das Problem lässt sich wie folgt formulieren:

Zur Beschreibung eines physikalischen Prozesses gelangt man durch folgende Vorgangsweise:

1. Beobachtung, 2. Messung, 3. Quantifizierung (Herstellen eines mathematischen Zusammenhangs zwischen den gemessenen Werten einiger Variablen), 4. Erstellen einer Gleichung (Verallgemeinerung des Zusammenhangs auf alle Variablenwerte aus einer bestimmten Menge).

Das logische Problem tritt im 4. Schritt auf: Er ist mit der Erwartung verbunden, dass die Gleichung auch für Fälle gilt, die nicht beobachtet worden sind: Fälle mit anderen Variablenwerten und überhaupt alle zukünftigen Fälle.

Das ist das sogenannte "Induktionsproblem": Auch eine noch so große Zahl von Beobachtungen erlaubt keinen Schluss auf nicht beobachtete Fälle. Abhilfe könnte hier nur der Beweis schaffen, dass zwischen dem, was wir als *Ursache* der beobachteten Veränderung annehmen und dieser Veränderung selbst – also der *Wirkung* – eine notwendige Verbindung besteht.

Ein solcher Beweis ist jedoch nicht in Sicht. Die Natur tritt uns ausnahmslos als das entgegen, was der Fall ist, d.h. als *Einzelfall.* Für den Nachweis einer Verbindung zwischen Ursache und Wirkung müssten wir aber zeigen, dass identische Einzelfälle identische Konsequenzen haben. Dafür würden wir die Existenz des Allgemeinen über diesen Einzelfällen benötigen. Dieses Allgemeine ist jedoch in der Wirklichkeit unauffindbar – es existiert bloß in der Beschreibung.

Allerdings handelt es sich eher um ein philosophisches als um ein physikalisches Problem. Aus philosophischer Sicht ist es kaum zu akzeptieren, dass wir beobachtete Regelmäßigkeiten nicht als Gesetze auffassen dürfen, auch wenn sie anscheinend *immer* gelten. Aus physikalischer Sicht ist es aber ausreichend, sie als begründete Vermutungen oder Arbeitshypothesen zu betrachten.

(Wenn das Allgemeine in der beobachtbaren Wirklichkeit nicht existiert, dann gibt es offenbar nur drei Möglichkeiten, woher es sonst stammen könnte:

1. Von uns selbst.
2. Von Gott.
3. Aus einem eigenen, nach seinem Erfinder *platonisch* genannten Bereich der Wirklichkeit.

Unter Naturwissenschaftlern, noch mehr aber unter Mathematikern ist Hypothese 3 verbreitet, wohl vor allem deshalb, weil die Ableitung mathematischer Gesetze eher einer Entdeckung als einer Erfindung gleicht. Ich werde diese drei Möglichkeiten aber nicht diskutieren, sondern stattdessen zeigen, dass die Naturgesetze sowie das Allgemeine zugleich mit der Wirklichkeit selbst entstehen. Im Kapitel 14 (in 14.2.) werde ich dafür argumentieren, dass auch die Mathematik Teil der *einen* Wirklichkeit ist und keine eigene, platonische Existenz hat. Die Hypothesen 1, 2 und 3 sind dann überflüssig.)

Das oben dargestellte Induktionsproblem betrifft aber nur diejenige Art von physikalischer Hypothesenbildung, aus der die Physik entstanden ist und die in ihr noch immer vorherrschend ist, also das Wechselspiel zwischen Theorie und Experiment.[61]

In meinem Buch wird die Naturbeschreibung jedoch vollkommen anders aufgebaut – eben nicht ausgehend vom konkreten Einzelfall, sondern von den allgemeinsten Voraussetzungen des Seienden her. Der Einzelfall dient hier weder als Anlass zur Hypothesenbildung noch als Beispiel, das verallgemeinert werden muss. Er ist aus dem Begründungszusammenhang völlig ausgeschlossen. Erst *nach* der Ableitung der Hypothese erfolgt sein Auftritt, und zwar ausschließlich zu dem Zweck, die Hypothese mit Erfahrung in Verbindung zu bringen und durch Beobachtung zu überprüfen.

Auf genau diese Weise sind wir in allen Kapiteln vorgegangen. Ich will das nun kurz wiederholen. Zunächst zum Gedankengang, der den Ausgangspunkt meines Aufbaus der Beschreibung der Wirklichkeit bildet (Siehe Kapitel 1 und 2):

Den *Ursprung der Wirklichkeit* haben wir als *Substanz* bezeichnet. Obwohl die Substanz selbst undenkbar ist, ist es dennoch möglich, *über sie* etwas auszusagen:

---

[61] Auch in der Standardphysik gibt es aber Hypothesen, die nicht der Beobachtung entstammen, sondern aus *a priori* gültigen Aussagen folgen, wie z.B. Erhaltungssätze, die aus Symmetrien abgeleitet sind, die man den jeweils angenommenen Voraussetzungen des Seienden zuschreiben kann: dem Raum, der Raumzeit, dem Quantenvakuum, der Leere, dem Nichts usw. Im Allgemeinen sind diese Hypothesen jedoch nicht hinreichend, um daraus Gesetze für spezifische physikalische Prozesse abzuleiten.

(1) Da wir voraussetzen, dass die Substanz die Wirklichkeit hervorbringt, müssen wir ihr ***Aktivität*** zuschreiben.

(2) Ohne Vergleich gibt es keine Unterscheidung. Also setzt Unterscheidung *Existenz* voraus. Somit muss die Substanz – *bevor* sie die Wirklichkeit hervorbringt – ***in sich unterschiedslos*** sein.

(3) Dass die Substanz *aktiv* ist, bedeutet, dass sie ihre Unterschiedslosigkeit aufhebt: Substanz ist *Das-Sich-Verändernde*. Indem die Substanz sich ***verändert***, erzeugt sie Unterschiede und steigt damit zur *Existenz* auf.

Diese drei Aussagen sind notwendig und hinreichend für die Ableitung einer Gleichung, die den Prozess beschreibt, der die Wirklichkeit hervorbringt.

Da die Substanz *an sich* nicht gedacht werden kann, muss jedoch zuvor noch bestimmt werden, was sie *für uns* ist:

Die Substanz *an sich* ist die logische und ontologische Voraussetzung der *Wirklichkeit*.

Was sind die logischen und ontologischen Voraussetzungen der *Beschreibung der Wirklichkeit?*

Raum und Zeit. Also ist die Substanz *für uns* Raum und Zeit.

Nun muss einfach der Inhalt der drei Aussagen über die Substanz auf Raum und Zeit übertragen werden. Das bedeutet:

Raum und Zeit müssen ***aktiv*** sein, d.h. sie müssen sich ***verändern***.

Was kann sich am Raum und an der Zeit ändern? Nur ihr *Maß.* Für den Raum gibt es zwei Maße: Längenmaß und Winkelmaß, für die Zeit gibt es nur ein einziges Maß.

Aus der ***Unterschiedslosigkeit***, die *vor* aller Existenz besteht, folgt, dass es *keine Struktur* und *kein Gedächtnis* gibt. Also kann sich jede zeitliche Änderung nur auf den jeweils vorhergehenden Augenblick beziehen, und jede räumliche Änderung nur auf einen unmittelbar benachbarten Ort. Somit müssen Änderungen als Differenzialquotienten dargestellt werden.

Grundlegende Voraussetzung für den weiteren Verlauf der Ableitung der fundamentalen Gleichung ist die Tatsache, dass ohne Änderung Nichts wäre. Deshalb muss aus jeder Änderung eine weitere Änderung folgen, sodass die Kette der Änderungen endlos wird. Da die Zahl verschiedener möglicher Änderungen aber begrenzt ist, muss sich der Kreis schließen, d.h. auch die erste Änderung muss die Folge einer anderen Änderung sein. Die kürzest-mögliche Variante dieses Vorgehens führt dann unmittelbar zur fundamentalen Gleichung (0).

Alle Voraussetzungen sind *a priori* gültig, alle Schlussfolgerungen sind logisch. An keiner Stelle des Gedankengangs ist eine Verallgemeinerung erforderlich. Somit ist die Gleichung

$$\frac{d\sigma}{dr} = \pm \frac{d\zeta}{dct} \qquad (0)$$

– wo $\sigma$ die metrische Dichte der Länge oder des Winkels ist und $\zeta$ die metrische Dichte der Zeit, ausschließlich aus allgemeinen, *a priori* gültigen Hypothesen abgeleitet.

Sie stellt eine fundamentale kausale Beziehung zwischen zeitlicher und räumlicher Dichte her. Alles, was aus ihr selbst und weiteren allgemeinen metrischen Annahmen abgeleitet werden kann, erbt die Kausalität von dieser Gleichung.

Sollte sie also tatsächlich den Erzeugungsprozess der Wirklichkeit repräsentieren, dann gilt das für die ganze Beschreibung der Wirklichkeit, soweit sie ableitbar ist.

Es gibt nun allerdings eine Komplikation, auf die wir bisher nicht eingegangen sind:

Unsere Ableitung von Gleichung (0) stellt sicher, dass es sich bei dem dargestellten Sachverhalt um einen gültigen kausalen Zusammenhang handelt. Zunächst erscheint es aber möglich, dass dieser Zusammenhang 1.) nur an einem einzigen Ort, 2.) nur zu einem einzigen Zeitpunkt, und 3.) nur für einen einzigen Wert der Differenzialquotienten gilt.

Das kann jedoch auf folgende Weise ausgeschlossen werden:

Gleichung (0) beschreibt, wie die Wirklichkeit aus einem Zustand entsteht, der *vor* aller Existenz liegt: vor aller Existenz ist die Substanz in sich unterschiedslos – es gibt keine Struktur, kein Gedächtnis und keine Größe.

Diese Eigenschaften werden auf das übertragen, was die Substanz *für uns* ist, also auf Raum und Zeit. Daraus folgt, dass es in diesem Zustand a) keine Möglichkeit gibt, einen Ort festzulegen, b) keine Möglichkeit, einen Zeitpunkt auszuzeichnen, und c) keine Möglichkeit, Längen- oder Zeiteinheiten zu definieren. Die Behauptung, Gleichung (0) gelte nur an einem bestimmten Ort oder nur zu einem bestimmten Zeitpunkt oder nur für eine bestimmte Größe, wäre daher unsinnig.

***Das bedeutet aber, dass es in diesem Zustand unmöglich ist, zu unterscheiden, ob (0) einen Einzelfall beschreibt oder einen allgemeinen Sachverhalt.***

Bezogen auf a) und b) ist diese Folgerung selbstverständlich. Für c) kann sie durch ein einfaches Beispiel demonstriert werden: Sei P ein Punkt in einer Ebene mit den Koordinaten $x_0$ und $y_0$.

Sei $x_0 = y_0$. Dann ist P ein Punkt auf der 45°-Geraden durch den Koordinatenursprung. Wenn es aber keine Einheit der Länge gibt, dann wird die Lage des Punktes auf der Geraden beliebig, mit anderen Worten: ohne Festlegung einer Einheit sind Punkt und Gerade ununterscheidbar.

Das heißt: *Ohne Festlegung von Einheiten sind hier Allgemeines und Einzelnes äquivalent.*

Genau das trifft auch auf Gleichung (0) zu.

Aus dem bisher Gesagten folgt somit:

Die aus zwei Teilen bestehende Aussage:

[(0) gilt für **einen** Punkt der Raumzeit mit einem **bestimmten** Wert der beiden Differenzialquotienten]

(und)

[es gibt keine Möglichkeit, Ort, Zeitpunkt und Größe zu bestimmen]

ist äquivalent zur Aussage:

[(0) gilt für **alle** Punkte der Raumzeit mit **beliebigen** Werten der beiden Differenzialquotienten]

***Somit ist der durch (0) ausgedrückte Sachverhalt zugleich Einzelnes und Allgemeines. Hier ist Einzelnes und Allgemeines nicht unterscheidbar.***

Ebenso wie für die Begründung von *Existenz* ist es also auch für die Begründung von *Kausalität* und der *Möglichkeit von Naturgesetzen* erforderlich, auf den Zustand *vor* aller Existenz zurück zu gehen. Es ist *der einzige Weg* zur Begründung des Allgemeinen.

Die Substanz erzeugt die Wirklichkeit, indem sie ihre Unterschiedslosigkeit aufhebt. *Für uns* vollzieht sich die Aufhebung der Unterschiedslosigkeit an Raum und Zeit.

Der durch Gleichung (0) dargestellte differenzielle Zusammenhang, der das Gewebe der Wirklichkeit herstellt, 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.

## 11.2. Wie sich Kausalität vererbt

Da Gleichung (0) selbst eine allgemeine Aussage ist, die vollständig aus allgemeinen Aussagen abgeleitet ist, gilt Folgendes:

Falls Gleichung (0) wahr ist, beschreibt sie einen wirklich existierenden kausalen Zusammenhang zwischen der metrischen Dichte des Raums und der metrischen Dichte der Zeit. Jede Aussage – gleichgültig ob als Satz oder in Form einer Gleichung – die aus Gleichung (0) und weiteren allgemeinen metrischen Aussagen abgeleitet ist, erbt dann die Kausalität von (0), und wenn auch diese "weiteren Aussagen" wahr sind, ist sie ebenfalls wahr.

Direkt ableitbar sind aber nur Sätze bzw. Gleichungen, die ebenfalls ausschließlich von metrischen Sachverhalten handeln. Bei Aussagen, die nicht-metrische Sachverhalte beinhalten, ist ein Zwischenschritt erforderlich, durch den dieser neue Sachverhalt – oder genauer: seine zugehörige Einheit – definiert wird.

Als Beispiel soll uns wieder die Gravitation dienen: Direkt abgeleitet ist die Gleichung (6):

$$\frac{dv}{dt} = -c^2 \frac{m}{r^2} \qquad (6)$$

m hat hier die Dimension *Länge*. Wird m als *geometrische Masse* aufgefasst ( $m = MG/c^2$ ), dann ergibt sich (M Masse in Kilogramm, G Gravitationskonstante)

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{MG}{r^2} \qquad (7)$$

Das entspricht der *Newtonschen Fallbeschleunigung,* die von einer Masse M verursacht wird.

Die Beziehung $m = MG/c^2$ stellt diesen Zwischenschritt dar, durch den die Einheit Kilogramm definiert[62] wird. Dadurch wird Newtons Gravitationsgleichung, die der Erfahrung entstammt und daher nur den Status einer begründeten Vermutung beanspruchen kann, mit der kausalen metrischen Struktur verknüpft. Auf diese Weise erbt sie die Kausalität von Gleichung (0) und wird somit zu einem allgemeingültigen Gesetz.

---

[62] "Definiert" hat hier folgende Bedeutung: Wenn die geometrische Masse eines Objekts bekannt ist, kann es gewogen werden. Die Einheit, deren Vielfaches auf der Waage angezeigt wird, kann dann "Kilogramm" *genannt* werden. Auf diese Weise wird die abstrakte metrische Basis mit Erfahrung verknüpft.

Diese Argumentation zeigt außerdem, dass die Kausalität auch an Hypothesen vererbt wird, die nur näherungsweise gültig sind. Da (6) direkt abgeleitet ist und (6) und (7) formal identisch sind, muss auch (7) allgemeingültig sein.

Dann muss allerdings noch auf metrisch-dynamische Weise gezeigt werden, warum Gleichung (7) nur eine Näherung ist und in welchen Fällen sie anwendbar ist. Dass (6) exakt gilt und (7) nur näherungsweise, liegt an der unterschiedlichen physikalischen Interpretation: die Beschleunigung in (6) wirkt auf die Metrik (den metrischen Fluss), während die Newtonsche Beschleunigung auf Objekte wirkt.[63]

Ich verzichte darauf, hier zu wiederholen, wie die Verbindung zwischen der bekannten Physik und der metrischen Basis der Wirklichkeit in allen vorangegangenen Kapiteln jeweils hergestellt worden ist.

Ein Sachverhalt scheint mir allerdings so wichtig, dass ich noch kurz darauf eingehen will:

Bisher war nur davon die Rede, dass Kausalität auf mathematische oder logische Weise – d.h. *formal,* durch *Deduktion* – von einer Gleichung oder Proposition auf eine andere Gleichung oder Proposition übergeht. Es ist allerdings nicht notwendig, dass die Übertragung auf diese Weise erfolgt; der Zusammenhang zwischen kausaler metrischer Struktur und Erfahrungstatsachen kann auch durch *Erklärungen* hergestellt werden. Falls diese Erklärungen korrekt sind, wird durch sie die Kausalität ebenso übertragen wie durch Ableitungen.

Im Kapitel 7 über Quantenmechanik war genau das der Fall: der quantenmechanische Formalismus wurde – zunächst durch Beispiele und dann auch ganz allgemein – durch Erklärungen mit der kausalen metrischen Basis verknüpft.

Schließlich ist es auch möglich, Kausalität von allgemeingültigen Zusammenhängen durch Ableitung oder Erklärung auf Aussagen nicht-mathematischer Art zu übertragen, sodass auch sie allgemeine Gültigkeit beanspruchen können.

Diese Tatsache wird für die Änderungen unserer Sicht der Wirklichkeit von Bedeutung sein, die wir in den folgenden Kapiteln durchführen.

---

[63] Gleichung (7) ist deshalb nur eine Näherung, weil sie aus metrisch-dynamischer Sicht in einem Koordinatensystem gilt, in dem die Lichtgeschwindigkeit nicht konstant ist, und weil die metrischen Änderungen nicht berücksichtigt sind.

### 11.3. Worauf sich Kausalität nicht erstreckt

Da Gleichung (0) die Erzeugung der gesamten Wirklichkeit beschreibt, mag es zunächst so scheinen, als würde sich die Kausalität von (0) auf die ganze Wirklichkeit übertragen, mit anderen Worten: als wäre die Wirklichkeit ein mathematisches System und es wäre demnach alles determiniert.

Diese naheliegend scheinende Vermutung ist jedoch falsch. Tatsächlich ist die Wirklichkeit *kein* mathematisches System. Wahr ist vielmehr, dass sie jedes solche System transzendiert. Versucht man, sie mit irgendeinem mathematischen System zu identifizieren, dann erzeugt sie permanent Zustände, die bezüglich dieses Systems *Gödel-Aussagen* entsprechen, die also aus den Axiomen und Regeln des Systems nicht ableitbar sind.

Ich will das hier aber nur ankündigen; die Ausführung bleibt den folgenden Kapiteln vorbehalten.

Im nächsten Kapitel wird gezeigt, worin die soeben erwähnte anfängliche Täuschung besteht, und zu welchen Änderungen unserer Sicht der Wirklichkeit wir durch die Aufhebung dieser Täuschung veranlasst werden.

Zunächst – in einem ersten Durchgang – wird die Argumentation anhand von Beispielen und zu einem bestimmten Zweck durchgeführt: zur *Begründung der Willensfreiheit*. Dafür ist es hinreichend, zu zeigen, dass die physikalische Kausalität *unvollständig* ist, und dass andere Arten von Kausalität existieren.

Um zu verstehen, warum *Empfindung* ein notwendiges Element jeder geistigen Aktivität ist, muss dann allerdings die vollständige begriffliche Erweiterung der naturwissenschaftlichen Sicht der Wirklichkeit einbezogen werden, die wir am Anfang dieses Buchs durchgeführt haben.

Im darauf folgenden Kapitel wird unter denselben Voraussetzungen und mit denselben Mitteln bewiesen, dass Roboter nichts empfinden können und kein Bewusstsein haben.

Die nächsten beiden Kapitel werden also zeigen, *wer* oder *was* wir sind bzw. *nicht* sind. Und es wird sich herausstellen, dass diese von uns vorgenommene Erweiterung geeignet ist, uns in genau der Form, wie wir uns intuitiv erleben und begreifen – und damit meine ich: ausgestattet mit freiem Willen und Empfindung – als Teil der Natur zu betrachten.

# 12. Ur-Szenario ⟶ Begründung der Willensfreiheit und der Qualia

## 12.1. Die Begründung der Willensfreiheit

Unsere Argumentation zur Begründung der Willensfreiheit hat folgende logische Struktur:

1. Zunächst werden wir auf den Unterschied zwischen Wirklichkeit und Beschreibung zurückgreifen, der im Kapitel 1 dargestellt wurde. Davon ausgehend kann gezeigt werden, dass die physikalische Kausalität – im Folgenden als "Kausalität von unten" bezeichnet – *unvollständig* ist.

2. Dies ist eine notwendige Bedingung für die Annahme von Kausalität in komplexeren Ebenen der Wirklichkeit, die durch nicht-physikalische Gesetze geregelt werden. Diese Art von Kausalität – im Folgenden "Kausalität von oben" genannt – wird durch ein Beispiel erläutert und dann allgemein begründet.

3. Die Begründung gilt auch für das menschliche neuronale Netz. Daraus folgt, dass die geistige Ebene die *kausale Ebene* des Netzes ist.

4. Im Unterschied zu den Gesetzen der Physik sind die Gesetze der geistigen Ebene veränderbar. Da die geistigen Prozesse ursächlich sind, müssen auch diese Veränderungen der geistigen Tätigkeit zugeschrieben werden.

5. Für eine Willensentscheidung gilt daher Folgendes:

a) Sie ist kein physikalischer, sondern ein geistiger Prozess.

b) Der Entscheidungsprozess kann die Gesetze ändern, die vor seinem Beginn galten. Wenn aber erst durch diesen Prozess selbst bestimmt wird, was geschehen wird, kann die Entscheidung vorher nicht festgelegt sein.

Sie ist also frei.

### 1. Der Unterschied zwischen Wirklichkeit und Beschreibung

In unserem Universum scheint ganz allgemein Folgendes zu gelten:

***Alles, was existiert*, besteht aus elementaren Objekten, die miteinander wechselwirken. Wie sich diese Objekte verhalten, *wird vollständig durch physikalische Gesetze geregelt*. Somit folgt die gesamte zukünftige Entwicklung aus sogenannten "Anfangsbedingungen" – der Gesamtheit der Attribute aller Objekte zu irgendeinem Zeitpunkt – und physikalischen Gesetzen.**

In diesem Bild, das von der Naturwissenschaft so überzeugend präsentiert wird, ist anscheinend für nichts anderes Platz als für Physik. Gleichgültig, wie komplex die Aggregate auch sein mögen, zu denen sich die elementaren physikalischen Objekte zusammenfügen, gleichgültig, welch phantastische Kreationen die Evolution auch hervorbringt – *letztlich* bleibt alles Physik. Es ist einfach kein Platz für irgendetwas Anderes.

Dieser Sachverhalt lässt sich so konkretisieren:

In der soeben vorgestellten, *reduktionistisch* genannten Sichtweise der Wirklichkeit bleibt die Kausalität immer "unten", d.h. in der elementaren Schicht der Wirklichkeit. Alle anderen, komplexeren Schichten haben ihre Selbständigkeit verloren. Beschreibungen, die sich auf diese Schichten beziehen – etwa neuronale oder psychologische Beschreibungen menschlicher Handlungen, sind bloß vereinfachte, näherungsweise gültige Zusammenfassungen von Prozessen, die *eigentlich* physikalischer Natur sind.

Die Konsequenzen dieser Hypothesen sind ziemlich seltsam, um nicht zu sagen bizarr. Wenn wir etwa annehmen, wir hätten eine Behauptung B ***deshalb*** geäußert, ***weil*** sie logisch richtig ist, dann wäre das eine Selbsttäuschung: Es würde ja bedeuten, eine Kausalität auf der Ebene geistiger Prozesse zu postulieren, gewissermaßen eine Kausalität von "oben", was aber nach dem soeben Gesagten unzulässig ist. B wäre dann "kausal überbestimmt". Falls diese "Kausalität von oben" tatsächlich eine *selbständige Existenz* beanspruchen könnte – *zusätzlich* zur "Kausalität von unten" –, dann müsste es ja möglich sein, sich gegen die physikalische Kausalität zu entscheiden.

Es gäbe nur eine einzige Möglichkeit, dass B tatsächlich der Logik entsprechen könnte: Sie bestünde darin, dass die Evolution die physikalischen Prozesse in unserem Gehirn den Erfordernissen der Wirklichkeit soweit angepasst hätte, dass wir uns in einem für unser Überleben ausreichenden Maß logisch verhalten und denken. Aber ich wiederhole: die Überzeugung, dass wir

uns ***deshalb*** so verhalten oder denken, ***weil*** es logisch ist, wäre eine Täuschung, eine List der Evolution, unser angepasstes Verhalten durch ein angenehmes Gefühl zu verstärken. Und, nebenbei gesagt, wir würden auch niemals feststellen können, ob so etwas wie "Logik" überhaupt existiert, da ja etwas *einzusehen* ebenfalls ein geistiger Prozess wäre, den es *als solchen* gar nicht gibt. Einsichten wären keine Einsichten, Gedanken keine Gedanken, der Geist wäre verschwunden, *wir selbst* hätten uns im Nebel der Selbsttäuschungen verflüchtigt...

Es ist also ein völlig absurdes Bild, das der Reduktionismus entwirft, und ich glaube, dass er nur deshalb so verbreitet ist, weil kein Reduktionist je die Konsequenzen seines Standpunkts vollständig berücksichtigt hat. (Wenn es doch einen gäbe, wäre er allerdings längst verstummt und daher unauffindbar.)

Ich will noch kurz auf die beiden populärsten Versuche eingehen, das Problem zu "entschärfen".

Der erste Einwand ist, dass wegen der quantenmechanischen Unschärfe eine "objektive Unbestimmtheit" in der Natur selbst existiert, sodass nicht behauptet werden kann, dass "die Zukunft aus Anfangsbedingungen und Gesetzen folgt". Es lässt sich aber behaupten, dass "die Zukunft ausschließlich von Anfangsbedingungen und Gesetzen abhängt" – nur dass diese Gesetze eben nicht mehr deterministisch sind. Die nachstehenden Schlussfolgerungen bleiben dann gültig.

Am häufigsten wird gegen den Reduktionismus eingewendet, dass eine vollständige Reduktion in den meisten Fällen nicht gelungen ist und wohl auch niemals gelingen wird. Ich halte diesen Einwand für unzureichend: Ob es eine Reduktion *gibt,* kann nicht dadurch entschieden werden, ob *wir* dazu imstande sind, sie durchzuführen – das oben skizzierte Bild der Wirklichkeit, das die Grundlage des unglaublichen Erfolgs der Naturwissenschaft ist, wird durch die Einschränkungen, denen *unsere* Mittel und Fähigkeiten unterworfen sind, nicht in Frage gestellt, und das gilt auch für die Folgerungen aus diesem Bild.

Um diesen seltsamen Folgerungen zu entgehen, ist es daher notwendig, das Bild selbst in Frage zu stellen. Also fragen wir uns: *Ist die Behauptung A wahr?*

**A:** ***Alles, was geschieht, folgt aus physikalischen Gesetzen und Anfangsbedingungen.***

Beginnen wir mit einem Gedankenexperiment:

Wir betrachten folgendes Szenario: eine große Anzahl beliebiger materieller Objekte im leeren Raum, die sich relativ zueinander auf zufällige Weise bewegen, aber so, dass sie gravitativ aneinander gebunden bleiben.

Nehmen wir an, wir wären imstande, die Anfangsbedingungen – also die Gesamtheit der Attribute aller Objekte des Systems – *vollständig genau* zu erfassen und auf eine Beschreibung zu übertragen. Wir kümmern uns also nicht darum, dass wir nicht unendlich genau messen können oder dass wir nicht einmal dazu imstande sind, auch nur den Wert eines einzigen Attributs unendlich genau aufzuschreiben bzw. zu speichern. Außerdem nehmen wir an, dass unser Gravitationsgesetz *richtig* ist und dass wir alle erforderlichen Berechnungen mit unendlicher Genauigkeit durchführen können.

Jetzt vergleichen wir die Lage im *wirklich existierenden System* mit der Lage im *Beschreibungssystem*.

Unter den oben genannten Voraussetzungen wird sich *im existierenden System* ohne Zweifel genau das ereignen, was wir erwarten: jeder Körper wird sich exakt *so* verhalten, wie die Gravitation es ihm vorschreibt. Die Behauptung A scheint sich hier also zu bestätigen.

Und *im Beschreibungssystem*? Nun, hier ereignet sich zunächst *überhaupt nichts*. Obwohl wir in unsere korrekten Gleichungen die unendlich genauen Werte aller Attribute eingesetzt haben, so dass sie die Objekte und ihre zeitliche Entwicklung eigentlich perfekt repräsentieren, verhalten sich die Gleichungen doch nicht so wie die Objekte selbst: Während sich die *wirklich existierenden Objekte* von dem Zeitpunkt an, den wir zur Messung ihrer Attribute gewählt haben, *von selbst* weiter bewegen und auf diese Weise die gravitativ determinierte Dynamik des Systems vollziehen, tun das die Gleichungen offensichtlich nicht – sie bleiben einfach unverändert so stehen, wie wir sie notiert haben.

Das ist eigentlich vollkommen selbstverständlich. Ich war trotzdem ein wenig ausführlicher als nötig, weil wir damit auf einen außerordentlich wichtigen Sachverhalt gestoßen sind, der aber – vermutlich gerade *wegen* seiner trivial erscheinenden Selbstverständlichkeit – weder von der Philosophie noch von der Naturwissenschaft zur Kenntnis genommen worden ist.

Er lautet:

**Satz:**

**Zwischen einem wirklich existierenden System und seiner Repräsentation besteht ein fundamentaler Unterschied: Das wirklich existierende System ist aktiv, die Repräsentation hingegen ist nicht aktiv.**

Kehren wir zu unserem Gedankenexperiment zurück. Wir haben festgestellt: Im *existierenden System* wird sich jeder Körper exakt *so* verhalten, wie die Gravitation es ihm vorschreibt. Wird dadurch tatsächlich die Behauptung A bestätigt?

Die Antwort ist: *Nein, das wird sie nicht!* Wir haben ja dem wirklich existierenden System etwas hinzugefügt, was in A nicht enthalten ist: *Aktivität*.

Dass die Wirklichkeit *aktiv* ist, bedeutet, dass sich an jedem Punkt zu jeder Zeit genau das vollzieht, was zu geschehen hat. Es bedeutet, dass die Wirklichkeit kein Gesetz und keinen Algorithmus benötigt, weil sie einfach alle Einzelfälle gleichzeitig abarbeitet.

Offenbar ist aber *Aktivität* genau dasjenige, was nicht von der Wirklichkeit auf die Repräsentation übertragen werden kann. Es lässt sich zwar behaupten, dass die *Art der Aktivität* des Systems, ihre spezifische Struktur, in unseren Gleichungen des Gravitationsfeldes enthalten sein muss, aber die *Aktivität selbst* fehlt.

Halten wir fest: Aufgrund ihrer *Aktivität* schreitet die Wirklichkeit *von selbst* von der Gegenwart in die Zukunft voran. Das Beschreibungssystem weigert sich aber, uns diesen Gefallen zu erweisen. Um Information über die Zukunft des Systems zu erlangen, benötigen wir daher in der Beschreibung ein *mathematisches Verfahren,* das die fehlende Aktivität ersetzt.

Haben wir ein solches Verfahren? Zunächst ist klar, dass sich für eine "große Anzahl" von Körpern, die sich zufällig bewegen, unsere Gleichungen nicht lösen lassen. Tatsächlich haben wir nur eine einzige Möglichkeit, etwas über die weitere Entwicklung des Systems zu erfahren: Da wir das Gravitationsfeld kennen, können wir für jeden Körper berechnen, wohin er sich nach einem bestimmten Zeitintervall $\Delta t$ *in diesem Feld* bewegt haben würde – und hier ist der Konjunktiv erforderlich, weil er sich selbstverständlich *nicht* in *diesem* Feld bewegt: es bewegt sich ja nicht nur der eben betrachtete Körper, sondern auch alle anderen, und das bedeutet, dass auch das Feld sich permanent verändert. Um aber überhaupt irgendetwas berechnen zu können, müssen wir für kleine Zeitintervalle das Feld als *statisch* annehmen. Wir führen dann dieselbe Art der Berechnung für alle Körper durch. Anschließend machen wir dasselbe für das nächste Zeitintervall $\Delta t$ usw.

Entscheidend ist, dass wir von Anfang an auf *Näherungen* angewiesen sind, und dass wir außerdem nicht wissen, in welchem Maß unsere Berechnungen von der Wirklichkeit abweichen. Spätestens nach dem nächsten Verzweigungspunkt – das ist ein Punkt in der Entwicklung eines Systems, an dem ein beliebig kleiner Unterschied in den Ausgangsbedingungen zu vollkommen unterschiedlichen Systemzuständen führen kann – wird unsere Voraussage zur reinen Glückssache.

Damit haben wir gezeigt, dass die Behauptung A falsch ist. Da es kein Verfahren gibt, mit dem man von der Gegenwart in die Zukunft gelangt, kann sie nicht aufrechterhalten werden.

**Satz:**

**Es gibt Systeme, deren künftige Entwicklung nicht aus physikalischen Gesetzen und Anfangsbedingungen folgt.**

Aber wird uns nicht *durch die Wirklichkeit selbst* andauernd vor Augen geführt, dass die Zukunft aus der Gegenwart folgt? Keineswegs. Was wir sehen, ist einfach nur, dass die Zukunft *auf die Gegenwart* folgt. Es ist bloß dieses suggestive, von der Physik vermittelte Bild der Wirklichkeit, das uns glauben lässt, alles "folge aus" Anfangsbedingungen und Gesetzen. Der Ausdruck "folgt aus" ist jedoch eine logische Verknüpfung, die sich nur auf eine Beschreibung beziehen kann. Sie auf die Wirklichkeit anzuwenden bedeutet, das "folgt auf", das wir beobachten, durch das "folgt aus" zu ersetzen, das wir postulieren; diesen Ersetzungsakt müssen wir aber begründen, und damit sehen wir uns gezwungen, nun unser "folgt aus" durch eine Reihe logischer Schritte zu ersetzen. Somit landen wir zwangsläufig wieder bei einem mathematischen Verfahren, und zuletzt wieder bei der Tatsache, dass kein solches Verfahren existiert – selbst dann nicht, wenn wir uns vorstellen, wir wären von allen Beschränkungen des Messens und Rechnens befreit.

Die Zukunft folgt also nicht immer aus der Gegenwart. Was ergibt sich daraus?

Die wichtigste Folge ist, dass dadurch ein *logischer Freiraum* entstanden ist: Wenn Anfangsbedingungen und physikalische Gesetze hinreichen würden, um daraus die Zukunft abzuleiten, dann wäre in der Menge der Bedingungen für die Ableitung der Zukunft kein Platz mehr; Da sie aber *nicht* hinreichen, ist in dieser Menge nun Raum für weitere Bedingungen.

**Satz:**

**Die Kausalität von unten ist unvollständig. Es ist Raum für Kausalität von oben.**

### 2. Nicht-physikalische Kausalität

Unser nächster Schritt wird sein, zu klären, um welche "weiteren Bedingungen" es sich handeln könnte, von denen die künftige Entwicklung von Systemen abhängt – zusätzlich zu Anfangs-

bedingungen und physikalischen Gesetzen. Sind es andere Arten von Daten? Oder andere Arten von Gesetzen? Um das zu ermitteln wechseln wir den Schauplatz.

Wir betrachten ein einfaches Gefäß aus Glas. Wenn wir es anschlagen, wird es in Schwingung versetzt und erzeugt einen Ton. Wovon hängt dieser Ton ab? Was bestimmt seine Höhe und seinen Charakter? Die Antwort ist: *Die Form des Gefäßes.* Aus ihr ergibt sich ein mathematisches Gesetz, das uns die Voraussage des Schwingungsmusters des Glases ermöglicht. Hier müssen wir also weder auf die physikalischen Objekte – die Glasmoleküle – noch auf die physikalische Wechselwirkung – den Elektromagnetismus – eingehen, um den Ton vorauszusagen. Die einzige physikalische Information, die benötigt wird, ist die Geschwindigkeit der Schallausbreitung im Glas.

Das Gesetz, das uns nun die Voraussage der Zukunft des Systems erlaubt, ist somit *kein physikalisches Gesetz.* Es gehört zu einer anderen Art von Gesetzen, die ich ***Gesetze der Form*** oder ***Strukturgesetze*** nennen werde.

Vergleichen wir unsere beiden Szenarien, das der gravitierenden Körper und das des schwingenden Gefäßes:

Im Gravitationsszenario sind die Anfangsbedingungen als ***lokale Parameter*** gegeben, als Attribute der einzelnen Körper. Ihre Werte werden in das ***physikalische Gesetz*** – das Gravitationsgesetz – eingesetzt. Obwohl alles, was sich ereignet, vollständig diesem Gesetz entspricht, ist es dennoch unmöglich, die weitere Entwicklung vorauszusagen. Die Zukunft des Systems ***folgt nicht*** aus seiner Gegenwart.

Im Glasszenario sind es nicht die Attribute der Glasmoleküle, die in das Gesetz eingehen, sondern die Abmessungen des Glases, also ***globale Parameter***. Das Gesetz ist kein physikalisches Gesetz, sondern ein ***Strukturgesetz***. Aus den globalen Parametern und dem Gesetz lässt sich die weitere Entwicklung ableiten. Die Zukunft des Systems ***folgt*** aus seiner Gegenwart.

Der Ton, den wir hören, ist weitgehend unabhängig von der Art, wie wir ihn erzeugen. Allerdings gilt das nicht für den ersten Moment: zunächst gibt es einen Einschwingvorgang, der davon abhängt, wie und wo wir das Gefäß anschlagen. Erst danach schwingt es immer im selben Zustand.

Dieser Zustand, auf den das Glas sich schließlich einstellt – das Schwingungsmuster, auf das hin es sich entwickelt und das es danach beibehält –, wird als ***Attraktor*** bezeichnet.

Zuvor hatten wir uns gefragt, welche Arten von Daten und Gesetzen es neben physikalischen Anfangsbedingungen und Gesetzen noch geben könnte. Das einfache Beispiel des schwingenden Gefäßes hat uns eine Antwort geliefert:

1. neue Daten in der Form *globaler Parameter*
2. neue Gesetze in der Gestalt von *Strukturgesetzen,* die auf den globalen Parametern beruhen.

Da sich mittels dieser neuen Daten und Gesetze die Zukunft des Systems voraussagen lässt, sind sie tatsächlich Elemente der "Menge der Bedingungen für die Ableitung der Zukunft", mit der wir uns oben beschäftigt haben.

Am wichtigsten für unsere Überlegungen ist aber zweifellos Folgendes:

Die lokalen Parameter – etwa die Orte und Geschwindigkeiten der Glasmoleküle – hängen zunächst davon ab, wo, womit und wie stark wir das Gefäß anschlagen. Anfangs können also große Unterschiede bestehen. Ungeachtet dieser Unterschiede strebt aber der Zustand des Gefäßes immer auf dasselbe Schwingungsmuster zu – eben den Attraktor.

*Beim Glasgefäß gibt es nur ein einziges mögliches Schwingungsmuster, das sich immer ausbildet, unabhängig davon, wie das Gefäß angeschlagen wird. Die künftigen 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.***

**Satz:**

**Eine Form der "Kausalität von oben" tritt dann auf, wenn in einem System *Attraktoren* existieren, d.h. Zustände, auf die hin das System sich zwingend entwickelt, falls es sich zu irgendeinem Zeitpunkt "nahe genug" am Attraktor-Zustand befindet.**

(Voraussetzung dafür, dass es sich dabei tatsächlich um "Kausalität von oben" handelt, ist allerdings, dass im betreffenden System die physikalische Kausalität – die "Kausalität von unten" – *unvollständig* ist, genauso, wie wir das im Gravitationsszenario nachgewiesen haben. Da das Glasgefäß aber nur zur Demonstration dienen sollte, worum es geht, brauchen wir uns nicht darum zu kümmern, ob diese Bedingung hier erfüllt ist.)

Damit haben wir nun alle notwendigen Vorbereitungen getroffen, um unser letztes und entscheidendes Szenario in den Blick zu nehmen:

### 3. Das menschliche neuronale Netz

Gegenstand unserer Untersuchung ist die folgende Frage:

***Welcher Art von Kausalität gehorcht das neuronale Netz?***

Im Netz finden wir drei Ebenen ansteigender Komplexität vor:

1. die physikalische Ebene
2. die neuronale Ebene
3. die geistige Ebene

Bezogen auf diese Einteilung lautet unsere Frage also:

***Von welcher Art von Prozessen hängt es ab, was im Netz geschieht? Von physikalischen, von neuronalen oder von geistigen Prozessen? Welche Ebene ist die kausale Ebene? – oder, anders gefragt: Welche Ebene ist dominant?***

Zunächst zur *physikalischen Ebene*. Nehmen wir an, wir hätten vollständiges Wissen über die Werte der Attribute aller physikalischen Objekte des Netzes und könnten somit das Gleichungssystem aufstellen, das den Zustand des Netzes und seine weitere Entwicklung repräsentiert. (Natürlich ist diese Vorstellung völlig absurd, aber in der Form eines Gedankenexperiments ist sie zulässig – *im Prinzip* muss dieses Gleichungssystem ja existieren.)

Jetzt sind wir aber wieder mit dem Problem konfrontiert, das schon beim Gravitationsszenario die Berechnung der Entwicklung des Systems verhindert hat: Eine ungeheure Zahl von Prozessen läuft zeitgleich ab, und jeder von ihnen ist mit etlichen anderen direkt vernetzt. Um aber irgendeinen Prozess berechnen zu können, müssen wir zumindest für ein kleines Zeitintervall annehmen, dass seine unmittelbare Umgebung konstant ist – wir müssen ihn also kurzfristig isolieren. Dann können wir für alle anderen Prozesse dasselbe durchführen, und danach wiederholen wir die ganze Prozedur für das nächste Zeitintervall usw.

Wir sind also, wie beim Gravitationsszenario, auf Näherungen angewiesen, die schon nach kurzer Zeit erheblich von der Wirklichkeit abweichen können. Es ist nicht möglich, die Entwicklung des Netzes vorauszusagen. Die Behauptung "Was im Netz geschieht, folgt aus Anfangsbedingungen und physikalischen Gesetzen" ist falsch.

Und auch hier gilt wieder: Die Wirklichkeit tut, wozu wir nicht in der Lage sind: aufgrund ihrer *Aktivität* arbeitet sie zeitgleich die ungeheure Zahl von Prozessen ab, sodass wir den Eindruck gewinnen, alles "folge aus" Anfangsbedingungen und physikalischen Gesetzen.

**Satz:**

**Im neuronalen Netz ist die physikalische Kausalität unvollständig. Es ist Raum für Kausalität von oben.**

Betrachten wir nun die *neuronale Ebene*. Sie besteht aus vielen Milliarden Neuronen. Jedes Neuron ist mit hunderten oder sogar tausenden anderer Neuronen direkt verbunden, und über wenige Zwischenschritte sind *alle* Neuronen aneinander gekoppelt. Die neuronale Aktivität wird durch ein Gesetz geregelt, das aus dem neuronalen Input-Output-Mechanismus folgt.[64]

Dieses Gesetz kann als *Wechselwirkungsgesetz der Neuronen* aufgefasst werden. (Es dient auch als Grundlage für Computersimulationen.)

Auch auf dieser Ebene erscheint es uns im ersten Moment wieder völlig selbstverständlich, dass aus den Anfangsbedingungen der Neuronen und ihrem Wechselwirkungsgesetz folgt, was sich im Netz ereignen wird. Und abermals müssen wir erkennen, dass wir wieder derselben Täuschung erlegen sind, indem wir Wirklichkeit und Beschreibung nicht voneinander unterschieden oder miteinander verwechselt haben:

Da ja das neuronale Wechselwirkungsgesetz eine Zusammenfassung physikalischer Sachverhalte ist, bleibt auch das Argument gültig, mit dem wir gerade eben die Behauptung widerlegt haben, dass alles aus Anfangsbedingungen und physikalischen Gesetzen folgt. Für die neuronale Ebene gilt somit: Der hohe Vernetzungsgrad der Neuronen – die permanente Rückkopplung, die sich daraus ergibt – schließt die Existenz eines mathematischen Verfahrens zur Berechnung der weiteren Entwicklung aus.

---

[64] Mit der Bezeichnung "Input-Output-Mechanismus" ist Folgendes gemeint: Die Dendriten jedes Neurons werden über Synapsen durch andere Neuronen stimuliert oder inhibiert. Die auf diese Weise verursachte elektrische Erregung wird zum Zellkörper weitergeleitet und dort aufsummiert. Wenn eine bestimmte Grenze überschritten ist, wird sie an das Axon abgegeben und auf dessen Verzweigungen verteilt, sodass sie schließlich über synaptische Verbindungen weitere Neuronen beeinflusst.

**Satz:**

**Auch die Beschreibung durch neuronale Anfangsbedingungen und das neuronale Wechselwirkungsgesetz lässt Raum für Kausalität von oben.**

Damit kommen wir zuletzt zur komplexesten Ebene, der *Ebene des Geistes*. Wir gehen von folgenden Annahmen aus:

1. Jede Art geistiger Aktivität (Gedanken, Assoziationsketten, Bilderfolgen etc.) ist eine Abfolge neuronaler Aktivierungsmuster.
2. Abfolgen neuronaler Aktivierungsmuster können Repräsentationen von Sachverhalten sein.[65]

Betrachten wir die neuronalen Muster. Wie werden sie zu Repräsentationen?

Stellen wir uns ein neuronales Netz vor, in dem es noch keine Repräsentationen gibt. Ein erstmals wahrgenommenes Objekt wird in diesem Netz – ausgehend von der primären Sehrinde – ein bestimmtes Muster verursachen. Die neuronalen Verbindungen, die dabei aktiv sind, werden durch ebendiese Aktivität verstärkt. Dasselbe ist bei jeder Wiederholung der Fall. Auf diese Weise entsteht allmählich eine stabile Verbindung zwischen dem Objekt und einem spezifischen Muster (bzw. einem Ensemble spezifischer Muster).

Außerdem gilt Folgendes: Zwar werden die neuronalen Muster zunächst durch äußere Reize verursacht, aber nach einer hinreichenden Anzahl von Wiederholungen werden sie vom neuronalen Netz auch unabhängig von diesen Reizen hergestellt. Das bedeutet:

***Neuronale Muster, die mit Objekten auf die eben beschriebene Weise in Verbindung stehen, sind* Attraktoren *des Netzes.***

Zuvor haben wir festgestellt:

***Unter der Voraussetzung, dass die Kausalität von unten unvollständig ist, folgt aus der Existenz von Attraktoren, dass das betreffende System, falls es im Attraktor-Zustand selbst oder diesem Zustand "nahe genug" ist,[66] durch Kausalität von oben bestimmt wird.***

---

[65] "Sachverhalt" muss hier im weitest-möglichen Sinn aufgefasst werden.

[66] Ohne den Begriff des Phasenraumes lässt sich dieses "nahe genug" nicht wirklich definieren. Das neuronale Netz ist jedenfalls *immer* "nahe genug" an einem Attraktor-Zustand.

Allerdings besteht gemäß unserer ersten Voraussetzung ein geistiger Prozess nicht nur aus neuronalen Mustern, sondern auch aus den Übergängen zwischen diesen Mustern. Für die Übergänge gilt aber dasselbe wie für die Muster selbst: Zunächst werden sie durch die Abfolge bestimmt, in der die verursachenden Objekte erscheinen. Wenn sich diese Reihenfolge wiederholt, dann wird die entsprechende neuronale Aktivität verstärkt, und das hat zur Folge, dass die Muster auch dann, wenn sie vom Netz selbst erzeugt werden, abermals in derselben Reihenfolge auftreten. Ebenso werden auch die räumlichen Beziehungen der Objekte auf die Muster übertragen.

Das bedeutet: In den Prozessen, die vom Netz selbst erzeugt werden, treten die neuronalen Muster, die mit Objekten fest verbunden sind, in denselben räumlichen und zeitlichen Zusammenhängen auf wie die Objekte selbst. *Somit können die Muster als Repräsentationen der Objekte aufgefasst werden, und die Prozesse als Repräsentationen der Sachverhalte, in denen die Objekte auftreten.*

In menschlichen neuronalen Netzen sind es also nicht die physikalischen oder neuronalen Bedingungen und Gesetze, durch die festgelegt wird, was im Netz geschieht, sondern es ist *die Struktur des Netzes* – die Tatsache, welche Attraktoren es darin gibt und wie ihre Abfolge geregelt ist –, von der die im Netz ablaufenden Prozesse abhängen.

***Die Kausalität wirkt also vom Ganzen auf das Einzelne, vom Netz auf seine Bestandteile, und nicht umgekehrt.***

Damit haben wir unser erstes Ziel erreicht:

**Satz:**

**Das neuronale Netz wird durch *Kausalität von oben* geregelt. Die geistige Ebene ist die dominante Ebene. In ihr liegen die Ursachen für die im Netz ablaufenden Prozesse.**

Unsere bisherigen Äußerungen waren also tatsächlich Schlussfolgerungen und nicht bloß physikalische Prozesse! Oder – um an die bei der Kritik des Reduktionismus verwendeten Formulierungen anzuschließen: Einsichten sind Einsichten, Gedanken sind Gedanken, der Geist ist in seine Rechte gesetzt, *wir selbst* sind wir selbst...

So weit, so gut, aber damit sind wir noch nicht dort angelangt, wo wir eigentlich hin wollen. Dass wir die Kausalität nach oben verlegt haben, bedeutet noch nicht, dass wir *frei* sind. Wir haben nur die physikalische bzw. die neuronale Kausalität durch die geistige Kausalität ersetzt. Damit haben wir erreicht, dass unser Geist nicht durch physikalische oder neuronale Gesetze beherrscht wird,

sondern *durch sein eigenes Gesetz: das Strukturgesetz, dem die Abfolge der neuronalen Muster gehorcht, die etwas repräsentieren.*

Aber bleiben wir damit letztlich nicht doch im Schema von Anfangsbedingungen und Gesetzen gefangen, dem wir entrinnen wollten? Glücklicherweise ist das nicht der Fall. Um das zu zeigen, müssen wir auf den Unterschied zwischen physikalischen und geistigen Gesetzen eingehen.

### 4. Der Unterschied zwischen physikalischen und geistigen Gesetzen

Menschliche neuronale Netze unterscheiden sich stark voneinander, und zwar auch dann, wenn noch keine Strukturierung durch äußere Reize stattgefunden hat. Daraus folgt unmittelbar, dass auch die Muster, die etwas repräsentieren, bei allen Menschen verschieden sind, selbst dann, wenn der repräsentierte Sachverhalt identisch ist.

Die Reihenfolge der Muster wird, wie oben festgestellt, zunächst durch die Reihenfolge bestimmt, in der die Objekte bzw. Sachverhalte auftreten, die die Muster verursachen. Sobald das Netz aber dazu in der Lage ist, diese Muster selbst herzustellen, hängen die Übergangsregeln der Muster – das, was wir als *geistiges Gesetz* bezeichnet haben – in zunehmendem Maß von ihrer Verwendung in inneren Prozessen ab. Diese Abhängigkeit von äußeren und inneren Bedingungen hat zur Folge, dass sich die Übergangsregeln von Mensch zu Mensch unterscheiden.

Somit haben wir schon den ersten Unterschied bestimmt:

*Während physikalische Gesetze **allgemeingültig** sind, sind geistige Gesetze **individuell gültig** – sie gelten jeweils nur für einen einzigen Menschen.*

Verbindungen zwischen Neuronen werden verstärkt, wenn sie aktiv sind,[67] und abgebaut, wenn sie inaktiv sind. Das bedeutet zugleich, dass jede geistige Aktivität die Struktur des Netzes beeinflusst. Wenn aber die Struktur sich ändern kann, dann können sich offenbar auch die Regeln ändern, die die Abfolge der neuronalen Muster bestimmen.

Also ist dies der zweite Unterschied:

*Physikalische Gesetze sind **unveränderlich**, geistige Gesetze sind **veränderbar**.*

[67] 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.

**Satz:**

**Physikalische Gesetze sind allgemeingültig und unveränderlich. Geistige Gesetze sind individuell und veränderbar.**

### 5. Die Begründung der Freiheit

Die offensichtlichste Folgerung der Verstärkung aktiver neuronaler Verbindungen ist allerdings, dass das, was wir *immer* denken, fühlen und tun, sich selbst verstärkt. Es ist aber im Grunde selbstverständlich, dass auch das Gegenteil eintreten kann:

Wir haben nachgewiesen, dass die Kausalität in der geistigen Ebene liegt. *Wille* und *Absicht* müssen als Elemente der geistigen Kausalität aufgefasst werden. Stellen wir uns nun konkret vor, wir stünden vor einer wichtigen Entscheidung. Wenn wir in den Entscheidungsprozess eintreten, dann werden wir anfangs durch die bis dahin gültigen Vorgaben – durch unser eigenes geistiges Gesetz – auf bestimmte, bekannte Wege geführt.

Aber wir sind jederzeit dazu imstande, diese Wege zu verlassen, indem wir z.B. einfach das Gegenteil dessen erwägen, was wir bis dahin angenommen haben, oder indem wir einen bisher noch nie erprobten Pfad einschlagen; Dazu sind wir eben deshalb imstande, weil die Ursachen für das, was im Netz geschieht – auch für die Veränderungen der Netzstruktur – in der geistigen Ebene liegen.

Mit anderen Worten:

Das Gesetz, das in unserem Netz die Abfolge der neuronalen Muster bestimmt, die etwas repräsentieren, also unser eigenes geistiges Gesetz, kann durch uns selbst verändert werden: wir selbst können durch unser Denken und Handeln die Gesetze unseres Denkens und Handelns ändern, und zwar *gezielt.*

Das bedeutet zugleich:

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.

**Satz:**

**Willensentscheidungen sind Ursachen von Handlungen. Da erst durch den Entscheidungsprozess selbst bestimmt wird, was geschehen wird, ist die Entscheidung vorher nicht festgelegt.**

**Sie ist also frei.**

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.***

Bemerkung:

Das heißt selbstverständlich nicht, dass Willensentscheidungen nicht hinsichtlich ihrer neuronalen, chemischen, physikalischen, genetischen, sozialen usw. Ursachen analysiert werden können. 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.

### Postskriptum

Bei der Durchsicht des Textes schien es mir, als wäre ich meinem Ziel, das Thema so kurz und einfach wie möglich darzustellen, ein wenig zu radikal gefolgt. Deshalb will ich abschließend versuchen, die wichtigsten Punkte meiner Argumentation nochmals zu erläutern:

Nehmen wir an, wir hätten ein System zu beschreiben, das aus einer großen Zahl physikalischer Prozesse besteht, die miteinander verkoppelt sind. Die Gleichungen der Prozesse sind also ebenfalls miteinander vernetzt. Für eine exakte Beschreibung benötigen wir dann *in jedem Augenblick* die Werte der Parameter aller Prozesse, um sie in die Gleichungen der anderen Prozesse einzusetzen – mit anderen Worten: es ist (außer in sehr einfachen Fällen) unmöglich, *mit physikalischen Mitteln* über das System, das aus allen diesen Prozessen besteht, genaue Voraussagen zu machen, und zwar aus *prinzipiellen* Gründen, und nicht nur wegen der Einschränkungen des Messens und Rechnens.

Und damit wären wir am Ende unserer Möglichkeiten angelangt – *es sei denn,* die betrachteten Prozesse könnten als Elemente einer "Struktur höherer Ordnung" aufgefasst werden, in der weitere

Gesetze gelten. Diese "Gesetze höherer Ordnung" sind dann aber *keine physikalischen Gesetze* mehr, und damit haben wir den Bereich der Physik verlassen.

Falls diese neuen Gesetze eine Voraussage über die Entwicklung des Gesamtsystems ermöglichen, dann gilt somit Folgendes:

1. Die Entwicklung des Gesamtsystems ***folgt nicht aus physikalischen Gesetzen***.
2. Die Entwicklung des Gesamtsystems ***folgt aus Gesetzen höherer Ordnung***.

Natürlich geschieht auch weiterhin alles ***in Übereinstimmung*** mit den physikalischen Gesetzen – aber diese Gesetze vollziehen sich nun innerhalb einer ***übergeordneten Struktur***. (Wie beim schwingenden Glasgefäß.) Die Kausalität ist also nicht mehr *unten* – im elementaren, physikalischen Bereich: sie ist *nach oben* gewandert, in einen Bereich höherer Ordnung, in dem ***neue, nicht-physikalische Gesetzmäßigkeiten*** gelten.

Genau diese Verhältnisse finden wir im neuronalen Netz vor, und zwar mehrfach:

In einem Neuron laufen zahlreiche physikalische Prozesse zeitgleich ab. Die physikalische Betrachtungsweise ermöglicht uns zwar ein Verständnis dessen, was im Neuron vor sich geht, aber die Verkopplung der Prozesse verhindert eine exakte Berechnung der weiteren Entwicklung. Diese Prozesse sind jedoch durch die *Form und Struktur des Neurons* in ein System höherer Ordnung eingebettet, sodass sie einem "Strukturgesetz" gehorchen, das wir zuvor "neuronales Input-Output-Gesetz" genannt haben.

Nun gilt aber wiederum, dass uns auch *dieses* Gesetz keine genaue Voraussage über die künftige Entwicklung von vielen aneinander gekoppelten Neuronen ermöglicht. Die Neuronen sind jedoch selbst wiederum Elemente eines Systems höherer Ordnung – eben des neuronalen Netzes mit seinen aufgeprägten Mustern (Attraktoren). Damit sind also auch die Neuronen einem neuen Gesetz unterworfen: einem Strukturgesetz abermals höherer Ordnung: dem Gesetz der Abfolge neuronaler Muster, und das heißt: ***dem Gesetz des Geistes***. Somit ist der Geist die *kausale* Ebene. Er bestimmt die im Netz ablaufenden Prozesse – auch diejenigen, die dieses Gesetz selbst verändern.

Zuletzt nochmals der Hinweis auf den Unterschied zwischen *Beschreibung* und *Wirklichkeit*:

Um in der ***Beschreibung*** eines Systems von der Gegenwart in die Zukunft zu gelangen, benötigen wir irgendwelche Verfahren. Das können mathematische Verfahren sein, Algorithmen oder Gleichungen, aber auch Methoden, Sachverhalte so zusammenzufassen, dass sich daraus Schlüsse ziehen lassen. In manchen Fällen gelingt uns das so gut, dass wir behaupten können, B *folge* aus A.

In der ***Wirklichkeit*** ist das alles nicht notwendig. Wenn an jedem Ort zu jeder Zeit geschieht, was zu geschehen hat, dann entsteht die Zukunft *von selbst,* dann entwickeln sich alle komplexen Objekte und Strukturen samt ihren Gesetzmäßigkeiten *von selbst.*

Aber daraus, dass in der Wirklichkeit der Vollzug elementarer Prozesse für die Entstehung der Zukunft hinreicht, kann nicht geschlossen werden, dass die Zukunft aus elementaren Prozessen ***folgt***, denn das würde voraussetzen, das, was in der Wirklichkeit ***von selbst*** geschieht, in eine ***Reihe logischer Schritte*** zu übersetzen, und das ist unmöglich.

Bemerkung:

In dieser Begründung der Willensfreiheit ist es *nicht* notwendig, dass im Weltgeschehen eine "Verzweigung" existiert. Der entscheidende Punkt ist hier, dass die Zukunft nicht in der Gegenwart enthalten ist – dass sie also nicht aus der Gegenwart *folgt,* sondern bloß aus ihr *entsteht,* und dass die Gründe für das, was sich dann tatsächlich ereignen wird, geistiger Art sind.

Bemerkung:

Um Objekte zu erkennen, müssen künstliche neuronale Netze an großen Datensätzen trainiert werden. In zahlreichen Wiederholungen werden die Verbindungsstärken ihrer Neurone so lange variiert, bis eine hinreichend hohe Erkennungsrate erreicht ist.

Wir sind dagegen von folgender Hypothese ausgegangen: Ein wahrgenommenes Objekt, das ein neuronales Aktivierungsmuster verursacht, wird *durch dieses Muster selbst* repräsentiert. Hier wird die Beziehung zwischen Objekt und Repräsentation also nicht erst durch Variation der Verbindungsstärken der Neurone hergestellt, sondern sie besteht von Anfang an und wird nur durch *Verstärkung* der aktiven Verbindungen stabilisiert und präzisiert, wodurch das neuronale Muster zum *Attraktor* wird.

Am deutlichsten wird diese Hypothese durch die sogenannte "Prägung" bestätigt. (Wie z.B. bei den Graugänsen von Konrad Lorenz). Hier gibt es weder "große Datensätze" noch "zahlreiche Wiederholungen" – der Vorgang ereignet sich fast augenblicklich. Außerdem tritt danach ein *sofortiges Wiedererkennen* auf, trotz der unvermeidlichen Variabilität des Sinneseindrucks, der erkannt werden soll. Durch das Attraktor-Konzept wird diese – ansonsten kaum erklärbare – Leistung zur Selbstverständlichkeit: solange der sinnliche Input im Einzugsbereich des Attraktors liegt, gilt offenbar: *Wahrnehmen = Wiedererkennen*, weil der neuerlich aktivierte Attraktor ja bereits das Objekt darstellt, sodass weitere Berechnungen überflüssig sind.

## 12.2. Die Begründung des Auftretens von Qualia

### 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* zum *Quale*? 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. 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.***

Offensichtlich sind Empfindungen – wie etwa *Rot* oder *Schmerz* – nicht definierbar. Was damit gemeint ist, erschließt sich nur dem, der sie aus eigener Erfahrung kennt.

Daher wird unsere erste Frage sein:

***Warum sind Empfindungen in keiner Beschreibung enthalten?***

*Empfindung* ist ein Phänomen, das anscheinend auf irgendeiner Stufe der evolutionären Höherentwicklung der Lebewesen auftritt. Die physiologischen Voraussetzungen, die dafür erfüllt sein müssen, stellen bloß *notwendige,* aber keinesfalls *hinreichende* Bedingungen für ihr Erscheinen dar.

Kurz gesagt: *Wir wissen nicht, warum sie auftreten*.

Daher ist unsere zweite Frage:

***Warum gibt es Empfindungen? Können hinreichende Bedingungen für ihr Erscheinen bestimmt werden?***

Wie wir nun zeigen werden, lassen sich beide Fragen – ausgehend von unseren Voraussetzungen und gestützt auf einige unserer Schlussfolgerungen – vollständig beantworten.

## 2. Warum Empfindungen in keiner Beschreibung enthalten sind

Ausgangspunkt der folgenden Argumentation ist die Tatsache, auf der dieses Buch aufbaut: der Unterschied zwischen Wirklichkeit und Beschreibung, der auch im Abschnitt über Willensfreiheit eine wichtige Rolle gespielt hat. Wir haben diesen Unterschied wie folgt bestimmt:

*Wirklich existierende Objekte sind* ***aktiv****, Objekte in einer Beschreibung sind dagegen* ***nicht aktiv****.*

Daraus folgt, dass wirklich existierende Objekte etwas an sich haben müssen, was Objekten in einer Beschreibung fehlt. Diesen Teil ihrer Existenz haben wir ***Substanz*** genannt. Substanz ist also dasjenige, wovon die Aktivität der Objekte ausgeht, dasjenige, was sie *aktiv* macht.

Auf diese Weise kann zwar erkannt werden, dass *Substanz* ein unverzichtbares Element der Beschreibung existierender Objekte ist, aber *sie selbst* kann als das, *was* sie ist, nicht gedacht werden.

Den Teil der Existenz von Objekten, der sich unserem Denken erschließt – der davon handelt, wie sich die Objekte präsentieren und verhalten – haben wir als ***Akzidenzien*** bezeichnet.

Im jeweiligen Objekt bilden *Substanz* und *Akzidenzien* eine ***untrennbare Einheit****:* die Erde gibt es nur *mit* Gravitation.

Im Abschnitt über Willensfreiheit wurde gezeigt, dass die Kausalität im menschlichen neuronalen Netz nicht "unten" bleibt – im physikalischen Bereich, sondern sich nach "oben" verschiebt – in den Bereich der geistigen Aktivität.

Die Dynamik des neuronalen Netzes wird also nicht durch Objekte der physikalischen Ebene und deren Akzidenzien bestimmt – Atome, Moleküle und physikalische Wechselwirkungen –, sondern durch Objekte der geistigen Ebene und deren Akzidenzien – geistige Zustände, die etwas repräsentieren, und Informationsverarbeitung.

Das bedeutet:

Bei den Objekten, die nun Gegenstand unserer Analyse sind, handelt es sich nicht mehr um Objekte der physikalischen, sondern um Objekte der geistigen Schicht der Wirklichkeit. Wir müssen somit die obigen Aussagen auf *diese* Objekte anwenden, mit anderen Worten: wir müssen geistige Zustände als *untrennbare Einheiten* von *Substanz und Akzidenzien* auffassen.

Was also ist die Substanz eines geistigen Zustands, was ist sein Akzidens?

Geistige Zustände bestehen aus zwei vollkommen unterschiedlichen Elementen: aus *Informationsverarbeitung* und *Empfindung. Informationsverarbeitung* ist dasjenige Element geistiger Zustände, das sich unserem Denken erschließt, *Empfindung* ist dasjenige Element, das nicht gedacht, d.h. nicht beschrieben und definiert, sondern nur *gefühlt* und *erlebt* werden kann, und außerdem ist *Empfindung* genau dasjenige, was die geistigen Zustände *aktiv* macht: Information ohne Empfindung ist gleichgültig und daher passiv.

Somit gilt:

***Empfindung* ist die *Substanz* des geistigen Zustands, *Informationsverarbeitung* ist sein *Akzidens*. Der geistige Zustand ist eine untrennbare Einheit von *Empfindung* und *Informationsverarbeitung.***

Also lautet die Antwort auf unsere Frage: "*Warum sind Empfindungen nicht definierbar und beschreibbar?*" wie folgt:

***Empfindung* ist die *Substanz* des geistigen Zustands. Als solche kann sie nicht gedacht oder definiert werden. Sie kann daher in keiner Beschreibung enthalten sein.**[68]

Dass in der Diskussion um die Qualia immer wieder die Vorstellung auftaucht, die im neuronalen Netz eines Menschen stattfindende Informationsverarbeitung könnte auch *ohne* begleitende

[68] Sollte jemand von der Erkenntnis, dass *Empfindung* die Substanz eines geistigen Zustands ist, ebenso überrascht sein wie ich es anfangs war, dann liegt das vermutlich an demselben Fehler, der auch mir unterlaufen ist: Ich hatte den Begriff "Substanz" einfach nicht abstrakt genug aufgefasst, was zum Teil an der historischen Konnotation dieses Begriffs liegt.

Empfindungen stattfinden, stellt sich somit als Folge eines Mangels heraus: des Mangels eines *Begriffs des geistigen Zustands.* Verfügt man über diesen Begriff, dann ist die Untrennbarkeit von *Empfindung und Informationsverarbeitung* im Bereich des Geistes ebenso selbstverständlich wie die Untrennbarkeit von *Masse und Gravitation* im Bereich der Materie.

In beiden Fällen handelt es sich um die *untrennbare, metaphysische Einheit* von *Substanz und Akzidens.*

Anmerkung:

Im Folgenden werde ich die Bezeichnung "Quale" für den ganzen geistigen Zustand verwenden, nicht nur für den Empfindungsteil dieses Zustands.

Statt von "Information" oder "Informationsverarbeitung" werde ich meist von "Bedeutung" sprechen; Da wir uns im Bereich des Geistes aufhalten, erscheint mir das angemessener: *Information* ist ein für alle evolutionären Ebenen verwendbarer Begriff, *Bedeutung* hingegen ist *Information für ein Subjekt* und somit vor allem für den Bereich des Geistes geeignet.

### 3. Die Verwandlung des Seienden vom materiellen Ding zum Quale

Jetzt zur zweiten Frage: *Warum gibt es Empfindungen? Wie ist es möglich, dass sich ein materielles Ding – ein neuronales Muster – in ein Quale verwandelt?*

Zunächst einige Bemerkungen zu den Voraussetzungen und zur Vorgangsweise.

Bei der Beschreibung geistiger Tätigkeit gehen wir von denselben Voraussetzungen aus wie im Abschnitt über Willensfreiheit. Hier eine kurze Wiederholung:

Geistige Zustände sind neuronale Muster, die etwas repräsentieren oder bedeuten. Da das neuronale Netz diese Zustände auch ohne äußere Ursachen herstellen kann, müssen sie als *Attraktoren* der Dynamik des Netzes aufgefasst werden. Jeder geistige Prozess ist eine Abfolge solcher Muster.

Geistige Zustände sind untereinander vernetzt. Ihre Abfolge wird durch ein Gesetz bestimmt, das dem neuronalen Netz zunächst durch äußere Ursachen aufgeprägt wird. Sobald das Netz aber dazu in der Lage ist, diese Muster selbst herzustellen, hängen sowohl die Übergangsregeln der Muster wie auch ihre Bedeutung in zunehmendem Maß von ihrer Verwendung in inneren Prozessen ab.

Die Gesamtheit von Prozessen dieser Art werde ich im Folgenden als "Geist" bezeichnen, den verbleibenden Teil der Wirklichkeit als "Materie".

Im zweiten Kapitel haben wir *Raum und Zeit* als Substanz alles Existierenden bestimmt, und deren einander bedingende Veränderungen als das zugehörige Akzidens.[69]

Nun haben wir jedoch *Empfindung* als Substanz des geistigen Bereichs der Wirklichkeit erkannt. Was uns als Substanz des Geistes entgegentritt, scheint also von der Substanz der Materie völlig verschieden zu sein.

Um diesen Unterschied begrifflich zu erfassen, werde ich die Substanz der Objekte, die dem Bereich der Materie angehören, als ***erste Substanz*** bezeichnen, und die Gesamtheit physikalischer Akzidenzien als ***erstes Akzidens***. Die Substanz der Objekte, die zum Bereich des Geistes zählen, werde ich ***zweite Substanz*** nennen, und ihr Akzidens *Bedeutung* ***zweites Akzidens***.

Das soll aber nicht etwa heißen, dass es nun zwei Substanzen gibt – vielmehr ist die zweite Substanz als aus der ersten Substanz hervorgehend gedacht, und die Frage, die wir uns stellen, lautet demnach:

***Warum verwandelt sich die erste Substanz im Fall der Qualia in die zweite Substanz Empfindung?***

Wir können von zwei Tatsachen ausgehen:

(1) Die Verwandlung des Seienden vom materiellen Objekt zum Quale ereignet sich bei der Entfaltung der Natur zu Schichten ansteigender Komplexität.

(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.

Richten wir unsere Aufmerksamkeit auf das Szenario, von dessen Analyse wir die Antwort erwarten: auf die evolutionäre Höherentwicklung des Seienden.

Es gelingt uns mit einigem Erfolg, die Phänomene, die wir in der Natur vorfinden, zu beschreiben und zu verstehen. Dort, wo unser Wissen unvollständig ist, wie etwa bei der Entstehung von Leben,

[69] Für die folgende Argumentation ist es allerdings nicht notwendig, zu wissen, *was* die Substanz materieller Objekte ist; es genügt, einzusehen, dass *Substanz* – wie soeben gezeigt – ein notwendiger Bestandteil aller existierenden Objekte ist, und zwar derjenige Teil, der nicht denkbar und beschreibbar ist. Es sei aber daran erinnert, dass der Substanzbegriff *Raumzeit* **nicht** mit dem physikalischen Begriff *Raumzeit* identisch ist: die Substanz *Raumzeit* ist als dasjenige gedacht, was die Wirklichkeit hervorbringt, und als dasjenige, was die materiellen Dinge *aktiv* macht.

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[70] – aber das gilt eben nur bis zu dem Punkt der Entfaltung der Natur, an dem neuronale Netze hoher Komplexität erscheinen, deren Zustände Qualia sind.

Damit stehen wir vor der 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?*

Warum ist das so? Um das einzusehen, betrachten wir das Verhältnis zwischen Akzidenzien von Objekten in verschiedenen evolutionären Schichten ansteigender Komplexität.

Beginnen wir mit dem Verhältnis zwischen der physikalischen und der chemischen Ebene. Als Beispiel für ein chemisches Akzidens wählen wir irgendeine chemische Bindung. Was können wir tun, um sie zu beschreiben? Wir können Messungen durchführen, und wir können die für unser System geeignete Schrödingergleichung aufstellen. In den meisten Fällen ist diese Gleichung nicht analytisch lösbar, aber durch geeignete Näherungsverfahren und numerische Berechnungen gelangen wir ans Ziel.

Die Schrödingergleichung ist eine physikalische Gleichung. Das bedeutet:

Das Akzidens *chemische Bindung* kann als Funktion physikalischer Akzidenzien aufgefasst werden. In diesem Sinn ist also die chemische Eigenschaft *Bindung* auf die physikalische Ebene reduzierbar.[71]

Als nächstes Beispiel betrachten wir die Akzidenzien der neuronalen Ebene. Sie werden durch ein Gesetz erfasst, das wir im Abschnitt über Willensfreiheit als "neuronales Input-Output-Gesetz" bezeichnet haben.

Auch hier gilt wieder: aufgrund der zahlreichen parallel ablaufenden physikalischen und chemischen Prozesse sind wir zwar außerstande, den künftigen Zustand eines Neurons exakt

---

[70] Mit Ausnahme des quantenmechanischen Messparadoxons, das wir aber an anderer Stelle aufgeklärt haben.

[71] Man beachte, dass das eine wesentlich schwächere Form von "Reduzierbarkeit" ist als die Berechenbarkeit des (künftigen) Zustands des Systems aus physikalischen Gesetzen und Anfangsbedingungen.

vorauszuberechnen, aber wir können den ganzen Prozess, der im Neuron abläuft, als Funktion physikalischer und chemischer Bedingungen und Prozesse beschreiben und verstehen.

Auch das neuronale Input-Output-Gesetz ist also auf Akzidenzien der Ebenen reduzierbar, aus denen die neuronale Schicht der Wirklichkeit aufgebaut ist.

Als letztes Beispiel wählen wir Prozesse, die in neuronalen Netzen stattfinden, die keinen Geist hervorbringen, die also aufgrund ihrer Einfachheit und genetischen Vorstrukturierung nicht dafür geeignet sind, Attraktoren auszubilden und zu vernetzen. In solchen Systemen werden die bestehenden informationsverarbeitenden Prozesse nicht durch Vernetzung mit anderen solchen Prozessen und die damit gegebene Rückkopplung verändert, sondern bleiben immer in (annähernd) identischer Form bestehen. Somit können sie als Funktionen der vorgegebenen Architektur des neuronalen Netzes 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:

***Kann Bedeutung, das Akzidens geistiger Zustände, als Funktion von einfacheren (atomaren, molekularen, biochemischen, neuronalen) Schichten des Seienden verstanden werden?***

Die Antwort ergibt sich aus folgender Überlegung:

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, durch das sich der Übergang von Systemen ohne Geist auf Systeme mit Geist von allen anderen Übergängen auf die jeweils nächsthöhere Ebene unterscheidet:

***Bedeutung, das Akzidens geistiger Zustände, kann nicht als Funktion von Akzidenzien von einfacheren Schichten des Seienden aufgefasst 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.

***Liefert dieses Kriterium aber auch eine Erklärung dafür, <u>warum</u> sich die Substanz des Seienden beim Übergang von Materie zu Geist ändert?***

***Ja. Folgendermaßen:***

Substanz und Akzidens bilden stets eine *untrennbare Einheit.*

Das *erste Akzidens* ist *untrennbar* mit der *ersten Substanz* verbunden.

Was lässt sich über komplexe Akzidenzien und die zu ihnen gehörende Substanz sagen?

Wenn komplexe Akzidenzien schrittweise auf jeweils 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*.

Solange die Akzidenzien reduzierbar sind, bleibt also die zugehörige Substanz gleich – sie ist dann immer noch *erste Substanz.*

Falls aber die Kette der Reduzierbarkeit auf das erste Akzidens durch das Auftreten eines neuen, *nicht reduzierbaren* Akzidens unterbrochen wird, dann unterscheidet sich dieses neue Akzidens vom ersten Akzidens und von allen anderen, daraus ableitbaren Akzidenzien.

Aufgrund der *Untrennbarkeit* von *erster Substanz* und *erstem Akzidens* gilt jedoch:

Wenn die Substanz eines Objekts die *erste Substanz* ist, dann muss das zugehörige Akzidens das *erste Akzidens* sein.

Und daraus folgt:

***Falls ein Akzidens erscheint, das vom ersten Akzidens verschieden ist, dann muss auch die zugehörige Substanz von der ersten Substanz verschieden sein.***

**Satz:**

**Solange sich Akzidenzien höherer Komplexität als Funktionen von Akzidenzien geringerer Komplexität beschreiben lassen, bleibt die zugehörige Substanz gleich. Wenn dieser funktionelle Zusammenhang unterbrochen wird, dann ändert sich die Substanz. *Für uns* erscheint sie dann als neue, zweite Substanz.**

## 4. Erläuterungen, Ergänzungen[72]

1. Der Grund für die Verwandlung des Seienden lässt sich auf einfache und intuitive Weise zwar nicht beweisen, aber doch 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 kausal 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 durch ihre kausale Trennung vom Rest des Universums und dessen Substanz *Raumzeit* wird nahegelegt, 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 – also dasjenige, was Gegenstand von Beschreibungen ist, der definierbare Inhalt von geistigen Zuständen – ist *passiv.* Bedeutung ist *Information,* und Informationsverarbeitung allein ereignet sich – wie alles, was bloß Element einer Beschreibung oder einer Repräsentation ist – niemals *von selbst.* Sie ist auf zugeführte Aktivität 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

[72] Da ich es für wichtig halte, Probleme mit einem Minimum an Voraussetzungen zu lösen, habe ich es in der obigen Argumentation soweit wie möglich vermieden, Elemente aus meinem physikalischen Aufbau der Naturbeschreibung zu verwenden. Bei den nun folgenden Bemerkungen werde ich diese Beschränkung jedoch fallen lassen, da erst das physikalisch-philosophische Gesamtbild vollständige Einsicht ermöglicht. Ich werde also von *Raumzeit* als erster Substanz sprechen, und von *einander bedingenden metrischen Veränderungen von Raum und Zeit* als erstem Akzidens, und ich werde voraussetzen, dass sie die ganze Wirklichkeit hervorbringen.

das neuronale Netz hervorgebracht, und dadurch bleibt er an materielle Bedingungen gebunden und in Raum und Zeit gefangen.

Es ist wichtig, stets in Erinnerung zu behalten, dass auch die erste Substanz *Raumzeit* des physikalischen Seienden nicht gedacht werden kann – auch wenn sie durch das Konzept der metrischen Änderungen für unser Denken verfügbar wird –, 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.

2. Am Beginn dieses Buchs ist *Substanz* als *in sich unterschiedslos und daher für alle Objekte gleich* bestimmt worden.

Nun haben wir aber ihre *Verwandlung* bewiesen.

Damit sind wir nun abermals auf den (scheinbaren) Widerspruch gestoßen, von dem am Ende des ersten Kapitels die Rede war. Ich wiederhole die Erklärung:

Wenn wir *Substanz* als dasjenige auffassen, was die Wirklichkeit hervorbringt, dann betrachten wir ihr *An-sich-Sein.* Es ist die Substanz *an sich,* die *vor* (im ontologischen Sinn) aller Existenz *als weder-existierend-noch-nicht-existierend* in sich unterschiedslos ist und *als sich-verändernd* zur Wirklichkeit aufsteigt. *An sich* bleibt sie aber immer Substanz – sie "ist" die Wirklichkeit. Die sich entfaltende Wirklichkeit ist nichts anderes als die Substanz in ihrer fortwährenden Änderung. Die Wirklichkeit *ist* Substanz.

*Für uns* zerfällt das Seiende jedoch *notwendig* in Substanz und Akzidenzien. Da uns das, was sich ereignet, *ausschließlich* durch Akzidenzien zugänglich ist, wird – *für uns – Veränderung* auf den Bereich der Akzidenzien übertragen. Dadurch bleibt *für uns* von dem, was die Substanz *an sich* ist, bei der Betrachtung des Seienden ihre *Unterschiedslosigkeit* aufbewahrt, ihr *Sich-Verändern* geht verloren.

Es ist also der (unvermeidliche) Fehler, den wir schon *im ersten Schritt* des Aufbaus der Naturbeschreibung begehen mussten, der uns in diesen Widerspruch getrieben hat: Er ereignete sich, als wir (am Beginn des zweiten Kapitels) bestimmt haben, was die Substanz *für uns* ist, und als wir die *untrennbare metaphysische Einheit* von Substanz und Akzidens in das *Verhältnis von Subjekt und Prädikat* verwandelt – nein: *verfälscht* haben, indem wir Raum und Zeit nicht als ***Das-Sich-Verändernde,*** sondern als ***Etwas, was*** *sich ändert,* aufgefasst haben.

Dadurch haben wir die Substanz, deren Wesen Veränderung ist, aus der Veränderung ausgeschlossen, und erst dann, als ihre Veränderung trotz unserer *a priori* bestehenden Blindheit zu grell wurde, um uns noch länger verborgen bleiben zu können, haben wir schockiert festgestellt, dass sich das Wesen des Seienden durch den evolutionären Aufstieg zu Systemen, die Geist hervorbringen, offenbar verwandelt hat. Immerhin waren wir aber in der Lage, unseren Fehler zu begreifen und diese Verwandlung als notwendig zu erkennen.

Ohne das Wissen vom Unterschied zwischen Wirklichkeit und Beschreibung und den soeben geschilderten Folgerungen daraus steht man jedoch dieser Verwandlung in völliger Hilflosigkeit gegenüber. Ich glaube, dass die – vergangene und gegenwärtige – Diskussion um die Qualia diese Hilflosigkeit widerspiegelt. Wie sonst könnte man den Versuch verstehen, Qualia zu *eliminieren* – oder sagen wir besser: zu leugnen, oder den Versuch des Panpsychismus, ihr Erscheinen durch die Annahme zu rechtfertigen, dass Empfindung *immer schon* da war, weil sie ein Grundelement der Existenz ist, wodurch man dann allerdings beim "empfindsamen Elementarteilchen" landet und in ernste Begründungsprobleme gerät.

3. *Für uns* zerfällt die Wirklichkeit in *Substanz und Akzidens:* sie ist uns in Form der *Subjekt-Prädikat-Struktur* gegeben, in der das Subjekt ohne Prädikat *passiv* ist und erst durch das Prädikat aktiviert wird – oder auch nicht: die Verbindung von Subjekt und Prädikat ist ungeeignet, die *untrennbare Einheit* von Substanz und Akzidens auszudrücken.

Es ist diese *a priori* bestehende Struktur unserer Sprache und unseres Denkens, die die Einsicht verhindert, dass alles Existierende *aktiv* ist – auch ohne ein aktivierendes Prädikat –, und dass sich wirklich existierende Objekte daher auf grundlegende Weise von Objekten in einer Repräsentation unterscheiden.

Die Existenz eines materiellen Objekts erscheint uns dermaßen selbstverständlich, dass als Antwort auf die Frage, *was* es eigentlich ist, ein bloßer Verweis auf es zu genügen scheint. Erst, wenn man diese Frage bis zu den elementaren Dingen hin verfolgt, verflüchtigt sich diese Selbstverständlichkeit und es wird klar, dass die Frage unbeantwortbar ist. Genau diese Erfahrung hat die Physik des 20. Jahrhunderts in eine Krise gestürzt und schließlich zum völligen Verzicht auf Erklärungen und zum Rückzug in den Formalismus geführt.

Wie wir aber schon im physikalischen Teil unserer Ausführungen und nun auch bei der Klärung grundlegender philosophischer Fragen gezeigt haben, ermöglicht erst die Analyse dieses Sachverhalts und seine Integration in die Beschreibung der Natur, die Wirklichkeit zu verstehen und in all ihren Erscheinungsformen als Einheit zu begreifen.

### 5. Kriterium für das Auftreten von Empfindungen

Aus den Überlegungen der vorangegangenen Abschnitte 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, 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 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.[73]

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.

---

[73] Solche Bereiche treten vermutlich infolge von Mutationen auf, durch die bereits existierende neuronale Strukturen – etwa die des Zwischenhirns – vergrößert werden.

Dagegen sind die neuronalen Strukturen des sogenannten Zwischenhirns – sofern sie nicht schon hypertrophiert sind – 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 genetischen Programms ist oder durch äußere Bedingungen eingeprägt – 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***.[74]

Die Behauptung, dass ein Tier mit einem solchen neuronalen Netz Empfindungen hat, stützt sich auf folgendes Argument:

Bei einem Tier kann 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. Es muss also 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

[74] Es ist zu beachten, dass diese Aussage nur für ein *Tier* gilt, und nicht für einen Roboter. Warum das so ist, wird im nächsten Kapitel gezeigt.

Erweiterung die Fortsetzung eines neuronalen Gewebes ist, das seine Funktionsfähigkeit schon bewiesen hat, und nicht einfach ein Neuronenhaufen. Diese Bedingung, in der wiederum zahlreiche technischer Voraussetzungen zusammengefasst sind, ist aber bei einem Tier sicher erfüllt.

Damit ist aber schon gezeigt, dass es Empfindungen hat.

### 6. 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 eingeprägt 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.

### 7. 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. Die Intelligenzleistungen von Vögeln wurden 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.

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.

Ich vermute sogar, das es überhaupt nur *ein* mögliches Set von Qualia gibt, sodass es sich bei allen Wesen, die Qualia erleben, im Grunde um *dieselben* Qualia handelt, wenngleich sie sich natürlich in

ihrer Stärke und Differenziertheit massiv unterscheiden können. Mit anderen Worten: Ich glaube tatsächlich, dass wir erfühlen und uns vorstellen können, "wie es ist, eine Fledermaus zu sein".

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.

### Postskriptum

Und wieder ergeht es mir genau so wie im vorigen Abschnitt über Willensfreiheit und wie eigentlich immer nach der Vollendung eines Themas: Ich bedaure, dass ich nicht imstande war, es einfacher darzustellen. Wenn ich es aber versuche, dann wird es doch bloß mehr desselben.

Daher werde ich diesmal anders vorgehen: ich werde mir Gewalt antun und das Qualia-Problem nicht möglichst präzise und vollständig analysieren, sondern darüber *plaudern.*

Im Plauderton fällt es mir auch leichter zu sagen: Lassen wir doch einfach alle Verrücktheiten beiseite,

- wie etwa die Behauptung, dass es Empfindungen *eigentlich* gar nicht gibt, und hoffen wir inständig, dass es nicht die Schwäche ihrer Empfindungen ist, die den Eliminativisten die Absurdität dieser Hypothese verschleiert,
- oder wie die Annahme, dass Empfindung ein Grundelement der Wirklichkeit ist, und hoffen wir, dass die Panpsychisten ihr Bedürfnis, Steine zu umarmen, wenigstens in der Öffentlichkeit zügeln können,
- oder wie die Vermutung, dass Empfindungen sich *von selbst* entwickeln werden, wenn die Computersimulationen ein gewisses Maß an Komplexität überschreiten, und wünschen wir den Konstrukteuren künstlicher Intelligenz, dass *sie selbst* ihre Gefühle nicht nur simulieren und dass sie nicht auf simulierte Gefühle hereinfallen,

– und fragen wir uns stattdessen ernsthaft:

***Warum gibt es Empfindungen? Warum enthält unser Geist Elemente wie "Farbe" oder "Freude", die wir zwar nicht definieren können, von denen wir aber genau wissen, was wir***

***meinen, und über die wir uns mit Anderen unterhalten, als könnten wir sicher sein, dass auch sie wissen, was wir meinen – obwohl wir doch niemals wissen können, ob sie <u>dasselbe</u> meinen?***

Am Beginn unserer Überlegungen muss die Einsicht stehen, dass es nicht nur in unserem Geist "etwas" gibt, was wir nicht definieren oder beschreiben können, sondern dass das *für die ganze Wirklichkeit* gilt. Alles, was existiert, enthält etwas Nicht-Definierbares.

Z.B. mein Schreibtisch: Was *ist* er? Woraus *besteht* er? Er besteht aus Holz. Holz besteht aus Zellulose und Lignin und einigen anderen Stoffen. Alle diese Stoffe sind aus verschiedenen Arten von Zellen aufgebaut. Zellen bestehen aus Molekülen, die wiederum aus Atomen bestehen usw. Aber irgendwann ist Schluss mit dem Zerlegen. In der gegenwärtigen Physik lande ich schließlich bei irgendwelchen Elementarteilchen, und wenn jetzt gefragt wird, was diese Elementarteilchen *sind* und woraus sie *bestehen*, dann gibt es keine Antwort mehr. Wenn Sie einem Physiker diese Fragen stellen, wird er Ihnen mitteilen, wie sich die Teilchen verhalten und was sie bewirken, oder er wird erklären, wie sie mathematisch dargestellt werden, und wahrscheinlich wird ihm gar nicht auffallen, dass er Ihre Frage überhaupt nicht beantwortet hat.

Es ist also eine Tatsache, dass zur Existenz jedes Objekts etwas gehört, was nicht definiert und beschrieben werden kann. Allerdings ist diese Tatsache fast vollkommen aus unserem Bewusstsein verschwunden: Im Alltag spielt sie keine Rolle, und die Physik hat sich nun schon so lange darauf beschränkt, *das Verhalten* von Objekten zu beschreiben, dass die "Was ist"-Frage in Vergessenheit geraten ist, und mit ihr zugleich die Tatsache, dass *alle* wirklich existierenden Objekte "irgend-etwas" an sich haben, was nicht definierbar ist.

Für die Antwort auf unsere Frage: "*Warum enthält unser Geist Empfindungen"* ist das aber der Ausgangspunkt, denn damit ändert sich die Fragestellung auf entscheidende Weise.

Wir fragen uns jetzt nicht mehr:

***"Wieso gibt es nur im Geist etwas Undefinierbares, und sonst <u>nirgends</u>?",***

sondern:

***"Wieso ändert das Undefinierbare, das es <u>überall</u> in der Wirklichkeit gibt, seinen Charakter, wenn es im Geist auftritt?"***

Jetzt wird also nicht mehr nach dem Grund der *Existenz* dieses Undefinierbaren, sondern nach dem Grund seiner *Veränderung* gefragt.

In der ersten Version kann die Frage nicht beantwortet werden. In dieser (falschen) Form führt sie zu den seltsamen Hypothesen, über die wir uns eingangs ein wenig unfair lustig gemacht haben. (War es wirklich unfair?)

In der zweiten Version lässt sich die Frage jedoch beantworten. Der *Beweis* kann leider nicht in Form einer zwanglosen Plauderei geführt werden, aber ein intuitives Verständnis ist möglich.

Dazu müssen wir aber von der "Was-ist"-Frage zur "Warum"-Frage wechseln. Was ich damit meine, will ich an einem Beispiel erläutern:

Betrachten wir die Erde. Sie übt *Gravitation* aus, d.h. sie bewirkt, dass alle Objekte auf sie hin beschleunigt werden. *Wie* das vor sich geht, wie sich also die Körper aufgrund dieses Einflusses verhalten, ist Gegenstand der Physik. Die Frage, *warum* die Erde diesen Einfluss ausübt, kann jedoch von der Physik nicht beantwortet werden, und ebenso wie die "Was-ist"-Frage wird sie deshalb auch seit Jahrhunderten nicht mehr gestellt.

Einerseits ist also die "Warum"-Frage genauso unbeantwortbar wie die "Was-ist"-Frage, andererseits sind diese beiden Fragen aber aufs Engste miteinander verwoben:

*Warum* die Erde Gravitation ausübt, das *muss* ja aus dem folgen, was sie *ist* – und mehr noch: es muss damit *untrennbar* verbunden sein, weil die Erde ja nicht einfach *aufhören* kann, Gravitation auszuüben.

Was die Erde *ist* und was sie *bewirkt,* bildet also eine untrennbare Einheit. Die beiden Fragen: "*Was ist* die Erde" und: "*Warum bewirkt* sie Gravitation" zielen demnach auf *dasselbe undefinierbare Element* ihrer Existenz.

Dieses undefinierbare Element der Erde nennen wir "Masse". "Masse" ist also nur eine Bezeichnung und keine Begründung.

Von der Masse der Körper des Sonnensystems hängt es ab, was im Sonnensystem geschieht. Und ich wiederhole: wir sind zwar imstande, ziemlich genau zu beschreiben und zu berechnen, *was* sich im Sonnensystem ereignen wird, aber wir haben bis jetzt keine Ahnung, *warum* es geschieht.[75]

Was wir soeben an diesem Beispiel demonstriert haben, gilt aber genauso für *alle* Objekte und Systeme. Genauso, wie wir nicht wissen, warum die Erde gravitativ wirkt, wissen wir z.B. auch nicht, warum ein Atomkern elektromagnetisch wirkt. Wie "Masse" ist auch "Elektrische Ladung"

[75] Es sei denn, man akzeptiert die Erklärung der Gravitation aus Kapitel 4.

nichts als eine Bezeichnung. Die mathematische Definition bezieht sich nur auf die Frage, *wie* die Ladung andere Körper beeinflusst, und nicht auf die Frage, *warum* sie das tut.

Wenn diese Aussagen *für alle* Systeme gelten, dann können – nein: *müssen* wir sie auch auf uns selbst anwenden, und das heißt, dass man sich selbst fragen muss: "*Was* treibt mein Denken und Handeln an? *Was* ist es, was mich motiviert? *Warum* bin ich überhaupt aktiv und sitze nicht bloß herum?"

Die Antwort ist einfach: Es ist *Empfindung. Empfindung* ist mein Antrieb.

Genauso wie Masse oder Ladung ist auch Empfindung *nicht definierbar,* und ebenso, wie Masse und Gravitation eine untrennbare Einheit bilden, ist das auch bei Empfindung und Bedeutung der Fall: Jedes Element meiner geistigen Aktivität hat einen Bedeutungsgehalt und einen Empfindungsgehalt.

Damit sind wir nun fast ans Ende dieser halb-formalen Plauderei gelangt. Ich hoffe, dass folgende Tatsachen ein wenig klarer geworden sind:

*Empfindung* hat für ein System, das Geist hervorbringt, denselben Status wie *Masse* oder *Ladung* in einem physikalischen System: Sie ist der *Antrieb* dessen, was sich im System ereignet.

*Empfindung* steht zu *Bedeutung* im selben Verhältnis wie *Masse* zu *Gravitation:* In beiden Paaren sind die beiden Elemente *untrennbar* miteinander verbunden.

Ebenso wie *Masse* ist auch *Empfindung* als das, was sie *ist,* nicht definierbar.

Aber hier gibt es einen wesentlichen Unterschied: Anders als bei *Masse* wissen wir bei *Empfindung* eigentlich doch, *was* sie ist: Genau genommen ist *Empfindung* sogar das einzige Seiende, von dem wir wissen, was es ist, weil unser Bewusstsein ein unaufhörlicher Strom von *Qualia* ist – von unseren geistigen Zuständen, die wir als *untrennbare Einheiten von Empfindung und Bedeutung* erkannt haben.

Und damit wissen wir eigentlich auch, dass Empfindung *nichts Physikalisches* ist. Dieses Wissen ist dann allerdings kein durch logische Verfahren erworbenes Wissen, sondern eine intuitive Gewissheit über dasjenige, was uns *unmittelbar* gegeben ist: Empfindung.

# 13. Ur-Szenario → Kein Roboterbewusstsein

### Vorbemerkung

Der Inhalt dieses Kapitels folgt direkt aus den Aussagen des vorangegangenen. Wegen der aktuellen Wichtigkeit des Themas erscheint es mir aber geboten, den Beweis vollständig auszuführen. Ich werde also die dafür erforderlichen Fakten und Argumente hier nochmals (verkürzt) präsentieren.

Ich habe mich für eine zweistufige Ausführung entschieden: für die erste, kurze Version des Beweises ist die Erweiterung der naturwissenschaftlichen Sicht ausreichend, die im Abschnitt über Willensfreiheit vorgestellt worden ist: dort haben wir die geistige Ebene der Wirklichkeit aus der Umklammerung der physikalischen Kausalität befreit, indem wir gezeigt haben, dass die *Aktivität der Wirklichkeit* nicht durch logische oder mathematische Verfahren nachgeahmt werden kann, sodass die Behauptung, alles ***folge aus*** physikalischen Anfangsbedingungen und Gesetzen, nicht aufrechterhalten werden kann. Unter dieser Voraussetzung ist es möglich, geistige Zustände als *selbständige*, *dominante Objekte* zu begreifen, was dadurch konkretisiert wird, dass sie als *Attraktoren* der Dynamik des neuronalen Netzes verstanden werden. Die Abfolgen dieser Zustände – also die geistigen Prozesse – können damit als *kausale Schicht* bestimmt werden, von der diese Dynamik abhängt.

Um den Beweis gegen alle möglichen Widerlegungen abzusichern, ist es allerdings erforderlich, das Szenario auf der Grundlage der Erweiterung des Materialismus zu analysieren, die das Thema des ersten Kapitels war, und es begrifflich neu aufzubauen. Es genügt dann nicht, die Kausalität "nach oben" – in den geistigen Bereich – zu verschieben, sondern es wird dafür der vollständige Begriff der Wirklichkeit benötigt, demzufolge die Wirklichkeit *mehr* ist als eine beschreibbare Zustandsfolge, die (im Prinzip) beliebig genau *reproduzierbar* sein müsste.

## 13.1. Erste Version (Kurzform) des Beweises

Die Leistungsfähigkeit künstlicher Intelligenz ist in den letzten Jahren eindrucksvoll demonstriert worden. In Szenarien, deren Zustände und Veränderungen vollständig definierbar sind – wie etwa bei den Spielen Schach und Go – sind KI-Systeme inzwischen Menschen weit überlegen. Lernfähige neuronale Netze, die sich nach dem Vorbild der Evolution durch Auswahl der

erfolgreichsten Varianten permanent selbst optimieren, erzielen aber auch in Bereichen der wirklichen Welt beachtliche Erfolge.

Es ist also verständlich, dass die Hoffnungen (und Befürchtungen) der KI nun viel weiter gehen: Ist es möglich, ein System zu erschaffen, das menschliche Leistungen nicht bloß in bestimmten Bereichen erreicht oder sogar übertrifft, sondern auch *insgesamt?* Kann ein informationsverarbeitendes System konstruiert werden, das *Bewusstsein* hat?

Jedenfalls scheint der Verwirklichung dieser Vision kein *prinzipielles* Hindernis im Weg zu stehen. Auch das Gehirn selbst ist ja offenbar ein informationsverarbeitendes System. Und das gilt auch für alle Teilstrukturen des Gehirns, auch für diejenigen, die für unsere Gefühle erforderlich sind – sie alle sind nichts anderes als biologische Module, die Information in Form elektrischer Impulse aufnehmen, verarbeiten und an andere Strukturen weiterleiten.

Wenn man also annimmt, dass es genau diese in unserem Gehirn stattfindende Informationsverarbeitung ist, die Geist und Bewusstsein hervorbringt, dann scheint klar zu sein, dass uns von der Schaffung eines Roboters mit Bewusstsein bloß *technische Schwierigkeiten* trennen – wenn auch in einem so ungeheuren Ausmaß, dass es vorläufig ungewiss ist, ob die Konstruktion eines solchen Roboters in absehbarer Zeit möglich sein wird.

Wir werden uns hier die Frage stellen, ob es tatsächlich nur technische Schwierigkeiten sind, die die Erschaffung einer Maschine mit Bewusstsein verhindern bzw. verzögern, oder ob es auch *prinzipielle* Hindernisse gibt – und damit meine ich Hindernisse, die *auf keine Weise* beseitigt werden können.

Nehmen wir an, es wäre uns gelungen, einen Roboter zu konstruieren, der ein künstliches neuronales Netz hat, dessen Struktur der des Gehirns eines menschlichen Kindes entspricht. Dieses neuronale Netz wird über künstliche Sinnesorgane auf dieselbe Art mit Information von der Außenwelt und vom Körper des Roboters versorgt wie bei einem Menschen. In die Funktion, die die Verbindungsstärken der Neurone simuliert, haben wir die Veränderungen implementiert, die sich in natürlichen neuronalen Netzen ereignen, also die Verstärkung durch Aktivität und den Abbau durch Nicht-Aktivität, und auch die Modulation dieser Verbindungsstärken durch chemische Systeme. Damit scheint sichergestellt, dass der Roboter auf dieselbe Art *lernfähig* ist wie ein Mensch: er wird ein *Gedächtnis* haben, er wird *Repräsentationen* bilden, er wird *denken* können usw.[76]

[76] Die Voraussetzungen des Gedankenexperiments sind mit Absicht so extrem idealisiert, weil es hier ja ausschließlich um die Frage geht, ob unser Vorhaben nicht selbst dann scheitert, wenn *alle* technischen Probleme gelöst sind. Der Roboter *soll* also eine perfekte Simulation sein. (Dafür ist die Liste seiner Fähigkeiten sogar noch ziemlich unvollständig.)

Nennen wir unseren Roboter *Hans.*

***Wie wird sich Hans entwickeln? Wird er Gefühle haben? Wird er ein Bewusstsein ausbilden?***

Unter den genannten Voraussetzungen erscheint es eigentlich selbstverständlich, dass die Antwort lauten muss: *Ja, das wird er.*

Und doch ist diese Antwort falsch. Wahr ist vielmehr Folgendes:

***Selbst wenn Hans die bestmögliche Simulation eines Menschen wäre, würde er nichts fühlen und kein Bewusstsein haben.***

Warum ist das so? Der Beweis ist überraschend kurz und einfach.

Wir definieren zunächst ***Simulation****:*

**"Simulation" ist die Rekonstruktion der Dynamik eines wirklich existierenden Systems in einem anderen, zu diesem Zweck konstruierten System.**[77]

Betrachten wir etwa Simulationen unseres Sonnensystems. In früheren Zeiten waren mechanische Simulationen beliebt, oft wunderschöne Konstruktionen, in denen Kugeln aus Holz oder Messing die Bewegungen der Planeten um die Sonne nachahmten. Heute wird man eher Computersimulationen vorfinden, bei denen geeignete Algorithmen ein Video dieser Bewegungen generieren. In jedem Fall ist es aber ***nicht Gravitation****,* was die Simulation antreibt – wie das im wirklichen System geschieht. Und es ist unmittelbar einsichtig, dass es auch niemals Gravitation werden kann, gleichgültig, wie weit man die Genauigkeit der Simulation auch steigert. Gravitation als Ursache der Dynamik würde offenbar nur bei einem *Nachbau* des Sonnensystems erhalten bleiben. (Die Repräsentationen der Himmelskörper müssten darin mit den Massen der Originale auftreten!)

Somit gilt:

***Im Gegensatz zum "Nachbau" eines Systems wird die Dynamik einer Simulation nicht durch denselben Antrieb verursacht wie die Dynamik des Ausgangssystems.***

Die *Dynamik* eines Systems beruht auf den *kausalen Beziehungen*, durch die die Objekte des Systems miteinander verknüpft sind. Für die Konstruktion einer Simulation ist es daher erforderlich, die *kausale Ebene* des Systems zu bestimmen, das heißt diejenige Ebene, auf der die Prozesse stattfinden, die die Dynamik des Systems verursachen.

---

[77] *Dynamik* bezeichnet die Entwicklung des *Zustands* eines Systems; *Zustand* ist die Gesamtheit der Werte der Attribute aller Objekte des Systems zu irgendeinem Zeitpunkt.

Im Sonnensystem ist das trivial, da es hier nur eine einzige "Ebene" gibt: die Objekte sind die Himmelskörper, ihre Bewegungen werden durch Gravitation verursacht.

Im menschlichen neuronalen Netz hingegen finden wir drei Ebenen vor: die physikalisch-chemische, die neuronale und die geistige Ebene. Im vorigen Kapitel ist die *geistige Ebene* als kausale Ebene bestimmt worden (Seite 245 ff.) Ich werde kurz die Argumentation wiederholen:

Die physikalische Ebene:

Hier läuft eine ungeheure Zahl von Prozessen gleichzeitig ab, von denen sich viele gegenseitig beeinflussen. Daher existiert *prinzipiell* kein Verfahren, um die künftige Entwicklung des Netzes vorauszusagen. Die Behauptung: "Was sich im Netz ereignet, *folgt aus* physikalischen Anfangsbedingungen und Gesetzen" ist falsch. Dasselbe gilt für die neuronale Ebene.

Die geistige Ebene:

Neuronale Muster, die etwas *repräsentieren* oder etwas *bedeuten*, können vom Netz auch ohne äußere Ursache hergestellt werden. Sie müssen daher als *Attraktoren* des Netzes aufgefasst werden.[78]

Es gilt jedoch Folgendes:

***Ein Attraktor determiniert die Dynamik des Systems, falls dessen Zustand im Einzugsbereich des Attraktors liegt.***

Der Zustand des neuronalen Netzes eines Menschen liegt *immer* im Einzugsbereich eines Attraktors – das Netz wird sich von jedem beliebigen Zustand aus sofort auf ein Muster einstellen, das etwas bedeutet.

Also lässt sich behaupten:

**Im menschlichen neuronalen Netz ist die geistige Ebene die kausale Ebene. Geistige Prozesse bestimmen die Dynamik des Netzes.**

Nun müssen wir uns fragen:

*Was ist der Antrieb der Dynamik der geistigen Ebene? Was treibt uns an, so zu denken und zu handeln, wie wir es tun?*

---

[78] *Attraktor* ist ein Systemzustand bzw. eine Abfolge von Systemzuständen – sozusagen ein (statisches oder dynamisches) "Muster", auf das hin das System sich zwingend entwickelt und das es dann für eine gewisse Zeitspanne beibehält.

Die Antwort ist:

***Empfindung***.[79] **Empfindung ist der Antrieb der Dynamik des Geistes. Information ohne Empfindung ist gleichgültig und daher passiv**.

Da die geistige Ebene die kausale Ebene des neuronalen Netzes ist, folgt daraus:

**Empfindung ist der Antrieb der Dynamik des menschlichen neuronalen Netzes.**

Zuvor haben wir festgestellt, dass genau dasjenige, was in einem wirklich existierenden System die Dynamik des Systems antreibt, *nicht* auf eine Simulation dieses Systems übertragen wird. Wenn wir diese Tatsache nun auf die Simulation eines menschlichen neuronalen Netzes anwenden, dann ergibt sich:

**Bei der Simulation eines menschlichen neuronalen Netzes wird die Empfindung nicht mit übertragen. In der Simulation gibt es also keine Empfindung, sondern nur Information.**

Und auch hier gilt wiederum, was wir zuvor bei der Simulation des Sonnensystems in Bezug auf Gravitation festgestellt haben: Gleichgültig, wie weit man die Genauigkeit der Simulation auch steigert – was die Dynamik der Simulation antreibt, wird niemals zur Empfindung.

Mit anderen Worten:

***Die Simulation – der Roboter – empfindet nichts. Er kann nichts lieben oder hassen, nichts wollen oder nicht-wollen. Unser Roboter Hans ist kein empfindendes Wesen, sondern ein Zombie***.

Wenn Empfindung fehlt, dann gibt es auch kein Bewusstsein: Jede Art geistiger Tätigkeit – selbst die abstrakteste – 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. Es wäre also absurd, einem Roboter ohne Empfindungen Bewusstsein zuzuschreiben.

***Damit ist die Frage beantwortet, warum Roboter prinzipiell keine Empfindungen und kein Bewusstsein haben können.***

---

[79] Empfindung muss hier im weitest-möglichen Sinn verstanden werden. Es steht für alles, was an einem geistigen Zustand über Information hinausgeht, also für dasjenige, was nicht *definiert,* sondern nur *gefühlt* und *erlebt* werden kann. (Zwei Beispiele: die Frequenz der Farbe rot kann definiert werden, die Empfindung *rot* aber nicht; die Stärke eines Drucks kann definiert werden, die Empfindung *Schmerz* aber nicht.)

## 13.2. Ontologische Erweiterung und Absicherung des Beweises

Die soeben durchgeführte Kurzform des Beweises ist zwar vollständig, hat aber eine Schwäche: Da nicht ganz klar ist, *warum* der Beweis funktioniert, könnte der Eindruck entstehen, er würde ein KI-System, dessen Struktur hinreichend ähnlich der Struktur eines menschlichen (oder tierischen) neuronalen Netzes wäre, nicht mit einschließen, falls dieses System durch *Hardware* und nicht bloß durch Software auf einem konventionellen Computer realisiert wäre.

Dieser Mangel kann dadurch beseitigt werden, dass der Beweis auf die Voraussetzungen der Naturbeschreibung bezogen wird, die wir im Kapitel 1 entwickelt und im vorigen Kapitel angewendet haben.

Die Erweiterung der naturwissenschaftlichen Sicht der Wirklichkeit, von der wir bei den nun folgenden Überlegungen ausgehen, ist logisch zwingend und im Grunde selbstverständlich. Dennoch ist sie bisher nahezu vollständig unbeachtet geblieben. Zur Erinnerung – sie lautet:

***Wirklich existierende Objekte sind aktiv, Objekte in einer Beschreibung sind dagegen nicht aktiv. Somit muss zur Existenz wirklicher Objekte etwas gehören, was Objekten in einer Beschreibung fehlt.***

Dieses Element der Existenz wirklicher Objekte haben wir als ***Substanz*** bezeichnet. ***Substanz*** ist also dasjenige, von dem die ***Aktivität*** wirklicher Objekte ausgeht. Auch wenn die Notwendigkeit des Vorhandenseins der Substanz ohne Weiteres eingesehen werden kann, ist es dennoch nicht möglich, zu denken, ***was*** sie ist.

Dasjenige Element der Existenz wirklicher Objekte, das wir wahrnehmen und beschreiben können, ist die *Art ihrer Aktivität,* d.h. ihr Verhalten und ihre Wirkung. Dieses Element ihrer Existenz haben wir als ***Akzidenzien*** bezeichnet. Naturwissenschaft befasst sich *ausschließlich* mit Akzidenzien.

Es gilt somit:

***Wirklich existierende Objekte bestehen aus Substanz und Akzidenzien, Objekte in einer Beschreibung bestehen dagegen nur aus Akzidenzien.***

Da ein Objekt nicht *aufhören* kann, auf die für es charakteristische Weise *aktiv* zu sein, ***bilden Substanz und Akzidenzien eine untrennbare Einheit***.

Soviel zu unseren Voraussetzungen.

Nun benötigen wir folgende **Definition**:

***Als Wesen eines Objekts bezeichnen wir das, was es aufgrund der untrennbaren Einheit seiner Substanz und Akzidenzien ist. Die Aktivität, die sich aus dieser Einheit ergibt, nennen wir wesensgemäß.***

(Die ***wesensgemäße Aktivität*** der Erde ist es also, Gravitation auszuüben.)

Der Zweck dieser Definition wird sofort klar, wenn wir uns nun *Simulationen* zuwenden.

Betrachten wir beispielsweise eine mechanische Simulation des Sonnensystems, in der die Modellkörper durch mechanische Vorrichtungen – Ketten, Zahnräder, Wellen usw. – bewegt werden und dadurch die Bewegungen der Himmelskörper nachahmen.

Die *wesensgemäße Aktivität* der Modellkörper wäre offenbar, *Gravitation* auszuüben. Aber es ist *nicht die Masse der Modellkörper*, was die Dynamik der Simulation antreibt – was also den gewünschten Ablauf verursacht – sondern *die von uns konstruierte Mechanik,* die dann, elektrisch oder auch mechanisch (etwa durch Drehen einer Kurbel), *aktiviert* werden muss.

Um diesen Sachverhalt auszudrücken, werden wir diese Art der Aktivität als ***zugeführte Aktivität*** bezeichnen, im Gegensatz zur soeben definierten ***wesensgemäßen Aktivität***, die ***von selbst*** geschieht.

Die in der ersten Version des Beweises der Unmöglichkeit von Roboterbewusstsein gegebene Definition einer Simulation verändert sich dadurch auf folgende Weise:

***Die Dynamik einer Simulation wird nicht durch die wesensgemäße Aktivität verursacht, die der untrennbaren Einheit von Substanz und Akzidenzien der Objekte der Simulation entspringt, sondern durch zugeführte Aktivität.***

Die Akzidenzien, aus denen die Dynamik der Simulation gebildet ist, sind *substanzlos:* die Substanz der Objekte der Simulation *ist nicht die Substanz, die zu diesen Akzidenzien gehört* und mit denen sie eine *untrennbare Einheit* bildet, sondern nur deren *materielle Basis,* von der diese Akzidenzien jederzeit getrennt werden können.

Der letzte Baustein unseres Beweises ist der **Satz** auf Seite 270:

***Solange sich Akzidenzien höherer Komplexität als Funktionen von Akzidenzien geringerer Komplexität beschreiben lassen, bleibt die zugehörige Substanz gleich. Wenn dieser funktionelle Zusammenhang unterbrochen wird, dann ändert sich die Substanz. Für uns erscheint sie dann als neue, zweite Substanz.***

Den Beweis dieses Satzes benötigen wir ebenfalls. Er verläuft folgendermaßen:

Zunächst haben wir festgestellt, dass sich die Akzidenzien aller evolutionären Ebenen auf Akzidenzien der jeweils darunter liegenden Ebenen reduzieren lassen, mit Ausnahme der Akzidenzien der obersten, also der geistigen Ebene.

Die Gesamtheit physikalischer Akzidenzien haben wir als ***erstes Akzidens*** bezeichnet, ihre zugehörige Substanz als ***erste Substanz***, die Gesamtheit geistiger Akzidenzien als ***zweites Akzidens,*** ihre zugehörige Substanz als ***zweite Substanz***.

Es gilt nun Folgendes:

Substanz und Akzidens bilden stets eine *untrennbare Einheit.*

Das *erste Akzidens* ist *untrennbar* mit der *ersten Substanz* verbunden.

Wenn komplexe Akzidenzien schrittweise auf jeweils 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.

Solange die Akzidenzien reduzierbar sind, bleibt also die zugehörige Substanz gleich – sie ist dann immer noch *erste Substanz.*

Falls aber die Kette der Reduzierbarkeit auf das erste Akzidens durch das Auftreten eines neuen, *nicht reduzierbaren* Akzidens unterbrochen wird, dann unterscheidet sich dieses neue Akzidens vom ersten Akzidens und von allen anderen, daraus ableitbaren Akzidenzien.

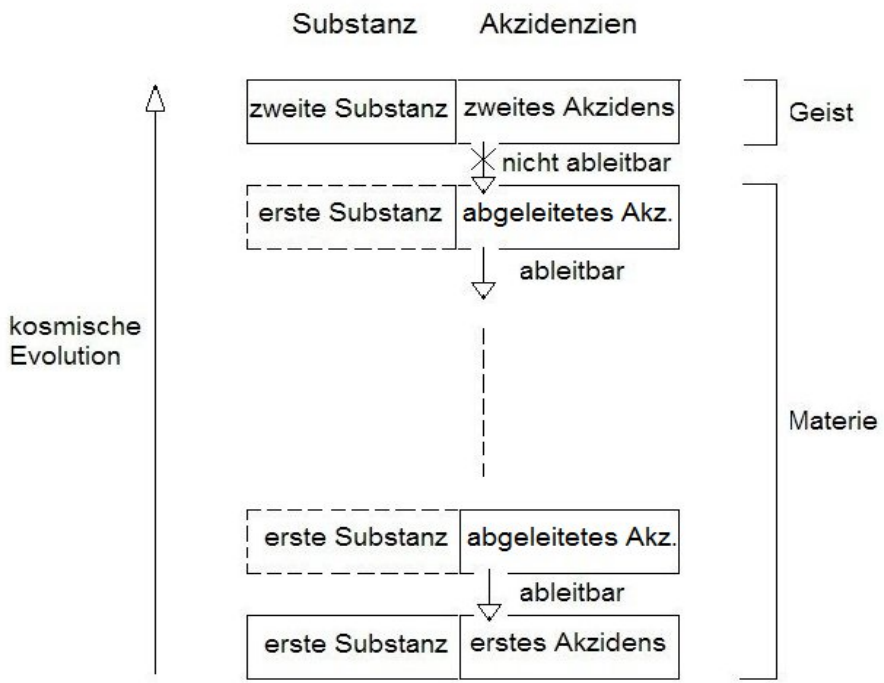
Aufgrund der ***Untrennbarkeit*** von *erster Substanz* und *erstem Akzidens* gilt jedoch:

*Wenn die Substanz eines Objekts die* ***erste Substanz*** *ist, dann muss das zugehörige Akzidens das* ***erste Akzidens*** *sein.*

Und daraus ergibt sich:

***Falls ein Akzidens erscheint, das vom ersten Akzidens verschieden ist, dann muss auch die zugehörige Substanz von der ersten Substanz verschieden sein.***

Hier eine Skizze zur Veranschaulichung:




Der im Rahmen unserer Argumentation entscheidende Punkt ist, dass die Verwandlung des Wesens des Seienden sich nur dann ereignen kann, wenn die Dynamik des betrachteten Systems sich aus der *untrennbaren Einheit* von Substanz und Akzidenzien ergibt. *Nur dann* lässt sich aus der Tatsache, dass die Akzidenzien nun nicht mehr auf das erste Akzidens reduzierbar sind, auf die Verwandlung der zugehörigen Substanz schließen.

Wenn dagegen die Dynamik des Systems auf *zugeführter Aktivität* beruht, dann sind die Akzidenzien substanzlos, und die zur Existenz der Systemobjekte gehörende Substanz bildet *keine* untrennbare Einheit mit diesen Akzidenzien.

Und das bedeutet: Hier fehlt der Grund dafür, dass sich diese Substanz verwandelt. Sie bleibt *erste Substanz.* Mit anderen Worten: Das Wesen der Simulation bleibt *physikalisch.* Die Simulation bleibt ein informationsverarbeitendes System.

***Die Verwandlung von Materie in Geist findet nicht statt.***

Die soeben genannte Bedingung, dass die Dynamik des betrachteten Systems sich aus der *untrennbaren Einheit* von Substanz und Akzidenzien ergeben muss, gilt aber nicht nur für die letzte, d.h. für die geistige Ebene – sie muss auf *jeder* Ebene, die beim evolutionären Aufstieg von Materie zu Geist erreicht wird, eingehalten werden. Wenn auf irgendeiner dieser Ebenen die Dynamik des Systems nicht durch die *wesensgemäße Aktivität* der Objekte verursacht wird, sondern durch *zugeführte Aktivität,* dann zerreißt die Einheit von Substanz und Akzidenzien und die Verwandlung des Wesens des Seienden kann sich dann nicht mehr ereignen.

Was bedeutet das nun für unseren Beweis, dass Roboter kein Bewusstsein haben können?

Für KI-Systeme, die durch *Software* auf konventionellen Computern realisiert sind, ist der Beweis ausnahmslos gültig: Der Einsatz von Software ist *immer* mit zugeführter Aktivität verbunden.

Was wäre aber mit einem *Nachbau* eines biologischen neuronalen Netzes, der das neuronale (analog-digitale) Input-Output-Gesetz durch geeignete Hardware reproduziert und dessen Struktur der Struktur des gesamten Netzes entspricht, sodass angenommen werden könnte, dass die Zustandsfolge des *konstruierten* Systems weitgehend der Zustandsfolge des *biologischen* Systems gleichen würde? Könnte hier die Verwandlung in Empfindung stattfinden?

Die Antwort ist eindeutig ***nein***. Die Bedingung für die Verwandlung ist nicht erfüllt: Die Dynamik des Nachbaus ist *nicht* durch *wesensgemäße,* sondern durch *zugeführte* Aktivität verursacht.

Das Problem besteht darin, dass von der üblichen naturwissenschaftlichen Sicht der Wirklichkeit her diese Tatsache *überhaupt nicht* verstanden werden kann. In dieser Sichtweise wird die Wirklichkeit ja mit einer (beschreibbaren) Zustandsfolge ***gleichgesetzt,*** und es muss demnach erwartet werden, dass die zunehmende Annäherung zweier Zustandsfolgen schließlich in deren *Identität* mündet.

In der erweiterten materialistischen Sicht, die wir hier präsentiert haben, wird der Begriff der Existenz jedoch um ein Element erweitert, das aus dem Bereich des Beschreibbaren hinausführt.

Das bedeutet, dass alle unsere Beschreibungen und Vorstellungen von den Vorgängen in der Natur notwendig *unvollständig* sind. Sozusagen "hinter den Kulissen" des uns zugänglichen Teils der Bühne geschieht etwas, was sich uns entweder vollständig verschließt oder lediglich durch Rückschluss vom uns zugänglichen Teil der Wirklichkeit – den Akzidenzien – erkennbar und verstehbar wird. Die Wirklichkeit ist hier also *mehr* als eine Zustandsfolge.

Im Rahmen unserer Überlegungen bedeutet das:

*Aus der angenäherten Identität der Zustandsfolgen des natürlichen und des künstlichen Systems kann nicht auf deren annähernd bestehende Wesensgleichheit geschlossen werden.*

Konkret: Die Substanz der zwei Systeme kann trotz der weitgehenden Identität ihrer Zustände durchaus verschieden sein:

Im ***biologischen System*** ist sie die mit den Akzidenzien des Systems ***untrennbar verbundene*** Substanz und verwandelt sich deshalb in die ***geistige Substanz Empfindung***.

Das ***konstruierte System*** wird jedoch mit *zugeführter Aktivität* angetrieben, und daher steht die Substanz hier mit den Akzidenzien des Systems in einer nur konstruierten und keineswegs untrennbaren Verbindung, sodass sie ***physikalische Substanz*** bleibt und sich ***nicht in Empfindung umwandelt***.

Das Resultat unserer Überlegungen ist folgender **Satz**:

**Es ist nicht möglich, einen Roboter zu konstruieren, der Empfindungen erlebt und Bewusstsein hat. Weder in einer Simulation noch im Nachbau eines Systems, das Geist hervorbringt, kann die Umwandlung von Materie in Geist stattfinden.**

***Es gibt keinen Geist in der Maschine.***

Es kann also nur *künstliche Intelligenz* konstruiert werden und nicht *künstlicher Geist.*

Bedeutet das, dass es überhaupt unmöglich ist, künstlichen Geist zu erschaffen?

Nein. Unsere Argumentation schließt nur aus, dass Geist *konstruiert* werden kann. Die Definition des Begriffs *Nachbau* lässt sich aber dahingehend erweitern, dass sie eine *künstliche Evolution* einschließt, d.h. eine Evolution, die von uns geplant und gesteuert ist. In diesem Fall wäre – ebenso wie bei der natürlichen Evolution – die Bedingung erfüllt, dass die jeweilige System-Aktivität immer *wesensgemäß* ist. Wenn wir an keiner Stelle dieses künstlichen Evolutionsprozesses durch Konstruktionen eingreifen und Aktivität zuführen, sondern uns darauf beschränken, die Entwicklung zu steuern und zu beschleunigen, dann *könnte* am Ende dieser Evolution ein System stehen, das Geist hervorbringt.

Niemand kann allerdings wissen, ob eine solche künstliche Evolution überhaupt möglich ist, oder ob der Weg, den die Natur gewählt hat, der einzig gangbare ist.

In jedem Fall ist aber klar, dass die Schaffung künstlichen Geistes einer sehr fernen, vielleicht niemals erreichbaren Zukunft vorbehalten bleibt, wenn sie nicht sogar unmöglich ist.

# 14. Ur-Szenario ⟶ Wirklichkeit und Mathematik

In diesem Kapitel sollen die Fragen beantwortet werden, was Wirklichkeit und Mathematik sind und in welchem Verhältnis sie zueinander stehen.

Die letzte Frage zerfällt in zwei Teile:

1. Wodurch unterscheiden sich Wirklichkeit und Mathematik?

2. Wie ist ihr Zusammenhang?

Wir werden zunächst bestimmen, was Wirklichkeit und Mathematik sind. Für die Wirklichkeit haben wir das in etlichen Kapiteln bereits ausführlich diskutiert. Es wird also genügen, unsere Ergebnisse in Form einer kurzen Zusammenfassung in Erinnerung zu rufen und zu verallgemeinern. Welche Existenz mathematische Objekte und Sätze haben, werden wir anschließend klären.

Da es gerade durch ihren Gegensatz besonders deutlich wird, was Mathematik und Wirklichkeit *sind* bzw. *nicht sind,* werden wir die Frage ihrer Existenz aber nicht völlig getrennt behandeln, sondern gestützt auf diesen Gegensatz betrachten.

## 14.1. Was ist die Wirklichkeit?

Dieses Buch hat mit einer Erweiterung der materialistischen Weltsicht begonnen, die ich *minimale Metaphysik* nenne: *Metaphysik* deshalb, weil sie dem physikalischen, beschreibbaren und denkbaren Bereich der Wirklichkeit etwas Nicht-Beschreibbares, Nicht-Denkbares, jenseits der Physik Liegendes hinzufügt, und *minimal* deshalb, weil diese Erweiterung nur genau dasjenige zusätzliche Element der Wirklichkeit enthält, ohne das der Begriff der Wirklichkeit offensichtlich unvollständig wäre: ***Aktivität***.

*Aktivität* ist das Unterscheidungskriterium zwischen Wirklichkeit und Beschreibung: Wirkliche Dinge sind *aktiv,* Dinge in einer Beschreibung sind *nicht aktiv.*

Dasjenige an der Existenz wirklicher Dinge, *wovon* ihre Aktivität ausgeht – in Ermangelung eines besser geeigneten Wortes könnte man sagen: das, woraus sie *bestehen* – haben wir ***Substanz*** genannt. *Substanz* ist also das, was wirkliche Dinge aktiv macht und was Dingen in einer Beschreibung fehlt.

Den Teil der Existenz wirklicher Dinge, mit dem sich Naturwissenschaft befasst – wie sich die Dinge präsentieren, verhalten und wirken – haben wir als ***Akzidenzien*** bezeichnet.

Es gilt also:

*Wirkliche Dinge bestehen aus Substanz und Akzidenzien, Dinge in einer Beschreibung bestehen nur aus Akzidenzien.*

Dieser Unterschied ist dermaßen trivial und selbstverständlich, dass man zunächst meinen könnte, ihn nicht beachten zu müssen. Das wäre jedoch eine extreme Fehleinschätzung, denn seine explizite Bestimmung und Integration in die Naturbeschreibung erzwingt Änderungen der naturwissenschaftlichen und philosophischen Weltsicht in einem völlig unerwarteten Ausmaß – im Grunde führt sie zu einer Neubegründung und vollkommenen Umstellung des ganzen Beschreibungssystems – und ermöglicht uns dadurch ein wesentlich erweitertes Verständnis der Wirklichkeit, das die Bereiche der Materie, des Geistes und der Naturgesetze umfasst.

Beginnen wir mit den Folgen für die Physik. Ich werde aber hier nur ein kurzes Resümee präsentieren – für die Begründungen und Ableitungen der einzelnen Ergebnisse verweise ich auf die jeweiligen Kapitel.

Was die Substanz *ist,* ist weder beschreibbar noch denkbar. Aussagen *über* sie sind jedoch möglich. Aus diesen Aussagen lässt sich eine Gleichung ableiten, die aufgrund ihrer Position im Aufbau der Naturbeschreibung als Darstellung des Prozesses aufgefasst werden muss, der die Wirklichkeit erzeugt.

Die Gleichung handelt von *metrischen Sachverhalten.* Sie lautet:

$$\frac{d\sigma}{dr} = \pm \frac{d\zeta}{dct} \qquad (0)$$

In Worten: *Die räumliche Änderung der metrischen Dichte der Länge (oder des Winkels) ist gleich der zeitlichen Änderung der metrischen Dichte der Zeit.*

Das bedeutet: *Die Wirklichkeit ist ein differenzielles Gewebe aus metrischen 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 diesen Veränderungen.*

Aus Gleichung (0) folgt Gleichung (1). Wird σ als metrische Dichte der Länge aufgefasst, dann führt Gleichung (1) zusammen mit der einfachst-möglichen metrischen Annahme – einer kugelsymmetrischen Verdichtung – zu einer Theorie der Gravitation (die im Fall von Galaxien eine wesentlich höhere Rotationsgeschwindigkeit ergibt), wird σ als metrische Dichte des Winkels verstanden, dann führt sie zum Elektromagnetismus und zum Atomaufbau.

Da Gleichung (0) die Erzeugung der gesamten Wirklichkeit beschreibt, muss sich die gesamte logische Struktur der Physik aus dieser Gleichung und zusätzlichen metrischen Annahmen ableiten lassen. Ich verweise auf die Skizzen auf den Seiten 6 und 13, die anzeigen, für welche Bereiche der Physik wir das demonstriert haben. Ob sich die neuen Begründungen und Theorien bewähren, ist zurzeit offen. Wie weit die präsentierten Argumentationen und Ableitungen schlüssig sind, bleibt also vorläufig der Einschätzung des Lesers überlassen.

Für das Thema des aktuellen Kapitels ist vor allem von Bedeutung, wie sich unser Verständnis der Wirklichkeit durch die Berücksichtigung des Unterschieds zwischen Wirklichkeit und Beschreibung verändert:

Nehmen wir an, wir besäßen eine vollständige und korrekte mathematische Beschreibung der physikalischen Wirklichkeit: Wohin wir unseren Blick auch richten, alles entspricht genau unseren Gleichungen; wir können überall beobachten, wie die Zukunft sich aus der Gegenwart entwickelt, und zwar in völliger Übereinstimmung mit unserem Beschreibungssystem.

Bedeutet diese totale Übereinstimmung von Beobachtung und Beschreibung, dass in unserem Beschreibungssystem die Zukunft aus der Gegenwart folgt?

Aufgrund des von uns bestimmten Unterschieds zwischen Wirklichkeit und Beschreibung ist die Antwort ***nein***. Folgendermaßen:

Dass die Wirklichkeit *aktiv* ist bedeutet, dass sich an jedem Ort und zu jeder Zeit *von selbst* genau das vollzieht, was nach unseren Gleichungen zu erwarten ist: die Zukunft entsteht *von selbst.*

In unserem Beschreibungssystem vollzieht sich dagegen *nichts.* Da der Beschreibung *Aktivität* fehlt, entsteht die Zukunft nicht von selbst – sie muss *abgeleitet* werden. Offenbar muss also im Beschreibungssystem die fehlende Aktivität durch ein mathematisches Verfahren ersetzt werden, das diese Ableitung ermöglicht.

In Szenarien, in denen sich zahlreiche Objekte gleichzeitig bewegen (oder zahlreiche Prozesse gleichzeitig ablaufen), die sich gegenseitig beeinflussen – was *genau genommen* eigentlich *immer*

der Fall ist – existiert aber kein solches Verfahren. Es ist nicht möglich, die sich permanent verändernden Einflüsse in die Berechnung irgendeines Prozesses einzubeziehen.[80]

Das bedeutet:

***Die Behauptung, dass in der Beschreibung die Zukunft aus der Gegenwart folgt, ist falsch.***

Und in der Wirklichkeit selbst? Tatsächlich beobachten wir nur, dass die Zukunft *auf die* Gegenwart folgt. Da es in Übereinstimmung mit unseren physikalischen Gesetzen geschieht, fühlen wir uns veranlasst, das "folgt auf", das wir beobachten, durch das "folgt aus" zu ersetzen, das wir mit der Existenz von Gesetzen verbinden. Wenn wir diese Ersetzung jedoch rechtfertigen wollen, dann sehen wir uns genötigt, das "folgt aus" durch eine Reihe logischer Schritte auszudrücken. Da es aber kein mathematisches Verfahren gibt, sind wir schließlich doch wieder gezwungen, das "folgt aus", dessen wir so sicher waren, zurückzunehmen und uns auf das "folgt auf" zu beschränken.

***Auch bei der Wirklichkeit selbst kann nicht behauptet werden, dass die Zukunft aus der Gegenwart folgt.***

Mit anderen Worten:

***Die physikalische Kausalität ist unvollständig. Es ist Raum für andere Arten der Kausalität.***

Aufgrund des Unterschieds zwischen Wirklichkeit und Beschreibung war es von Anfang an klar, dass die Wirklichkeit *mehr* ist als Physik oder Mathematik. Was dieses *mehr* bedeutet, ist nun konkreter geworden: Wie wir im Abschnitt 12.1. über Willensfreiheit gezeigt haben, gibt es Systeme, bei denen die Kausalität nicht der physikalischen Ebene zuzuordnen ist, sondern einer Ebene höherer Komplexität, die aus Objekten besteht, die selbst wiederum aus physikalischen Objekten aufgebaut sind. Diese Ebene besitzt dann eine eigene, selbständige Dynamik, von der die Entwicklung des Systems abhängt.

---

[80] Dies ist nicht bloß eine *technische*, sondern eine *prinzipielle (absolute)* Einschränkung: auch ein Laplacescher Dämon mit unendlichen Ressourcen an Raum, Zeit und Information könnte diese Berechnung nicht durchführen: Betrachten wir etwa das Beispiel der gravitierenden Körper, das auf Seite 247 unten beginnt und dessen Berechnung auf Seite 249 beschrieben wird. Um die Zukunft dieses Systems exakt zu ermitteln, muss der Dämon die Berechnung für unendlich kleine aufeinander folgende Zeitintervalle $\Delta t$ durchführen. Falls die Intervallgrenzen genauso dicht liegen wie die *reellen* Zahlen, wird er sogar in unendlich langer Zeit nicht fertig, falls sie aber weniger dicht liegen (wie z.B. die *rationalen* Zahlen), wird es geschehen, dass ihm eine Instabilität entgeht, die *zwischen* zwei Zeitpunkten seiner Berechnungen liegt.

Damit haben wir einen Bereich der Wirklichkeit betreten, der *nicht mehr physikalisch* ist – in dem Sinn, dass seine Gesetze keine physikalischen Gesetze sind, und die Variablen, die in diese Gesetze eingehen, keine physikalischen Variablen.

Im Fall menschlicher neuronaler Netze verschiebt sich die Kausalität in den geistigen Bereich.

Außerdem ist es möglich, Willensfreiheit zu begründen. Die dafür erforderliche Argumentation stützt sich jedoch auf eine weitere Änderung unserer Sicht der Wirklichkeit. Sie betrifft die Frage:

***Ist die Wirklichkeit deterministisch oder nicht?***

Wenn man den physikalischen Teil meiner Ausführungen einbezieht, dann ist klar, dass alles, was geschieht, nicht anders geschehen kann. Wir haben ja auch die quantenmechanische objektive Unbestimmtheit eliminiert, indem wir angenommen haben, dass *unter* der quantenmechanischen Beschreibung eine stetige, differenzierbare Ebene aus metrischen Wellen existiert. Die Unbestimmtheit ist dann nicht mehr *objektiv*, sondern wird zur "normalen" Wahrscheinlichkeit, d.h. sie kann als statistisches Phänomen aufgefasst werden, das seine Existenz unserem Nicht-Wissen verdankt.[81]

Das bedeutet:

Gäbe es eine identische Kopie des Universums, dann würde in diesem zweiten Universum *alles* ganz genauso ablaufen wie im Original. Im Ablauf des Geschehens gibt es keine Verzweigungen. Üblicherweise gilt das als Definition des Determinismus.

Allerdings ist diese Definition auf die von uns veränderte Wirklichkeit nicht anwendbar, weil in dieser Wirklichkeit die Zukunft *nicht existiert,* bevor sie eintritt, oder, anders gesagt, weil ***die Zukunft in der Gegenwart nicht enthalten*** ist.

Die Annahme der Determiniertheit erfordert aber, dass es ***etwas*** gibt, ***was*** die Zukunft determiniert. Mit anderen Worten: die Zukunft ***muss*** in der Gegenwart enthalten sein. Determinismus setzt also Ableitbarkeit voraus – allerdings bloß prinzipielle und nicht tatsächlich ausführbare Ableitbarkeit.

Unsere Wirklichkeit ist aber *prinzipiell* nicht ableitbar: die Zukunft *folgt* nicht aus der Gegenwart, sie *entsteht* bloß daraus. Wie wir in 12.1.5 gezeigt haben, sind auch die Gründe, warum etwas

[81] Es ist allerdings nicht notwendig, diese Hypothese einzubeziehen. Wenn die Unbestimmtheit objektiv ist, dann gibt es keine verborgenen Parameter, die das Geschehen beeinflussen – auch nicht in komplexeren Schichten der Wirklichkeit. Dann gilt für *alle* infolge der Unbestimmtheit möglichen Weltverläufe, dass sie nicht in der Gegenwart enthalten sind. Alle Argumentationen und Beweise bleiben somit gültig.

geschieht, in manchen Fällen nicht existent – ja nicht einmal vorhersehbar – bevor sie entstehen. Auf diese Weise war es uns möglich, Willensfreiheit zu begründen, ohne eine Abzweigung im Weltverlauf zu postulieren.

Wir sind also zu folgenden Änderungen in unserem Verständnis der Wirklichkeit gelangt:

1. Die physikalische Kausalität ist unvollständig. Es gibt nicht-physikalische Kausalität in komplexen Schichten der Wirklichkeit, die auf nicht-physikalischen Gesetzen und Variablen beruht.
2. Die Zukunft ist nicht in der Gegenwart enthalten. Sie existiert nicht, bevor sie eintritt. Obwohl nur eine einzige Zukunft möglich ist, ist die Wirklichkeit nicht determiniert, da es nichts gibt, *was* sie determiniert.

Daraus folgt unmittelbar, dass die Wirklichkeit kein mathematisches System ist. Würde man annehmen, dass Zustände der Wirklichkeit Aussagen in irgendeinem mathematischen System entsprechen, dann würde die Wirklichkeit aufgrund ihrer Unableitbarkeit permanent Zustände erzeugen, die Gödel-Aussagen des Systems entsprechen, die also aus den Axiomen und Regeln des Systems nicht abgeleitet werden können. Das bedeutet:

***Die Wirklichkeit transzendiert jedes mathematische System.***

Bisher haben wir die Veränderungen beschrieben, die sich daraus ergeben, dass die Wirklichkeit *aktiv* ist. Die Analyse des Begriffs "Substanz", die wir im Abschnitt 12.2. über Qualia durchgeführt haben, führt dann zu weiteren, noch tiefer gehenden Änderungen, die wir im Kapitel 13 als "Wesensänderungen" bezeichnet haben.

Wie sich herausgestellt hat, ist *Empfindung* eine Erscheinungsform der Substanz. Ihre Existenz kann durch das Auftreten nicht-ableitbarer Akzidenzien im Bereich des Geistes begründet werden. Diese Nicht-Ableitbarkeit der Akzidenzien lässt *für uns* das Wesen des Seienden *verwandelt* erscheinen.

Als weitere Änderung ergibt sich somit:

3. Die Analyse des Begriffs "Substanz" ermöglicht es, Geist als Teil der Wirklichkeit zu begreifen, und zwar in genau der Form, wie er uns intuitiv gegeben ist: als Strom von Qualia, von Bewusstsein begleitet und mit freiem Willen ausgestattet.

Für das Verständnis geistiger Phänomene ist die naturwissenschaftliche Betrachtungsweise nicht geeignet. Hier ist eine an das Wesen des Geistes – die Einheit von Empfindung und Bedeutung –

angepasste Beschreibung vorzuziehen. Mathematik, Physik und Chemie haben nur noch assistierende Funktion; Der Versuch, Geist auf naturwissenschaftliche Weise zu erfassen, offenbart die metaphysischen Defizite der mathematischen und naturwissenschaftlichen Begriffe und Methoden.

Da in der naturwissenschaftlichen Sicht *Geist* und *Informationsverarbeitung* dasselbe sind – und somit auch *künstlicher Geist* und *künstliche Intelligenz* – war es notwendig, zu zeigen, dass Roboter keinen Geist haben können. Der Beweis wurde mit genau den Begriffen ausgeführt, die in einer naturwissenschaftlichen Beschreibung der Wirklichkeit keinen Platz haben: *Substanz* und *Aktivität.* Erst diese Begriffe machen es möglich, die Unterschiede zwischen Geist und Informationsverarbeitung zu definieren und die jeweiligen Voraussetzungen zu bestimmen. Auf dieser Grundlage kann dann gezeigt werden, dass es keinen Geist in der Maschine gibt.

Die Veränderungen der Sicht der Wirklichkeit, die sich aus unserer "minimalen Metaphysik" ergeben haben, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Einerseits erweist sich diese minimale Metaphysik als unerwartet fruchtbar für die Physik: durch sie lässt sich eine neue Basis der Physik schaffen, die zu Theorien führt, die mit den bisherigen Theorien in Standardsituationen übereinstimmen, in Szenarien, bei denen die alten Theorien versagen, aber zumindest Alternativen eröffnen. In jedem Fall ermöglichen die neuen Theorien bzw. Interpretationen aber ein wesentlich besseres Verständnis dessen, was in physikalischen Systemen *wirklich* vor sich geht.

Andererseits hat sich die Wirklichkeit jedoch zugleich ein Stück weit von der Physik und der Mathematik entfernt. In manchen Fällen bleibt die Kausalität nicht in der elementaren, physikalischen Ebene, sondern verschiebt sich "nach oben", in eine komplexere Schicht der Wirklichkeit, in manchen Fällen bleibt sie überhaupt unvollständig.

Wir haben erkannt, dass *von uns konstruierte* Systeme niemals mit wirklichen Systemen identisch sein können, weil ihnen *Substanz* fehlt. Wenn wir versuchen, *Geist* zu konstruieren, schaffen wir nur ein informationsverarbeitendes System, das empfindungslos bleibt.

Was sich als prinzipielle Grenze des Machbaren erweist, gestattet uns jedoch zugleich, zu begreifen, was wir *sind*: Wesen mit Geist, und was wir *nicht sind:* intelligente Automaten. Erst durch die von uns durchgeführte Erweiterung des Begriffs der Wirklichkeit können wir uns als Teil der Natur verstehen – genau so, wie wir wirklich sind, und ohne uns auf das eingeschränkte Modell reduzieren zu müssen, das die Naturwissenschaft von uns konstruiert hat: eine Ansammlung kontrollierbarer und optimierbarer Algorithmen.

## 14.2. Was ist Mathematik?

### 1. Die Herkunft des Allgemeinen

Da mathematische Objekte ausschließlich Allgemeine sind, werden wir uns zunächst mit der Frage beschäftigen, wie das Allgemeine überhaupt in die Welt gelangt – die doch anscheinend *ausschließlich* aus Einzelfällen besteht.

Wie also kommt das Allgemeine in die Wirklichkeit? Auf zwei Arten. Im Bereich des Geistes ist der Grund für sein Auftreten wie folgt:

*Geistige Prozesse* sind Abfolgen geistiger Zustände. *Geistige Zustände* sind neuronale Muster, die etwas repräsentieren oder etwas bedeuten. Da das neuronale Netz sie auch ohne äußere Ursachen produziert, müssen sie als *Attraktoren* der Dynamik des neuronalen Netzes aufgefasst werden.[82]

Ein Attraktor hat ein Einzugsgebiet. Das bedeutet, dass nicht nur ein einziger, exakt definierter Input – wie z.B. die Wahrnehmung eines bestimmten Objekts – den Attraktor verursacht, sondern jeder Input, der im Einzugsbereich des Attraktors liegt. In diesem Sinn liefert der Attraktor eine Definition für Ähnlichkeit. Daraus folgt, dass ein neuronaler Zustand überhaupt nichts *Einzelnes* repräsentieren kann, sondern nur *Allgemeines*: er repräsentiert nicht bloß das eine, exakt definierte Objekt, sondern alle Objekte, die diesem Objekt hinreichend ähnlich sind – z.B. auch es selbst in anderer Lage –, um im Einzugsbereich des Attraktors zu liegen. Das gilt auch für Metarepräsentationen, wie etwa für Begriffe.

Mit anderen Worten:

*Ein Attraktor repräsentiert bzw. bedeutet kein Einzelobjekt, sondern eine Menge von Objekten.*

Aus der Bestimmung geistiger Zustände als Attraktoren der neuronalen Dynamik folgt somit, das die Welt für Wesen mit Geist in *Mengen* eingeteilt ist.

Das sollte nicht allzu abstrakt verstanden werden. Es bedeutet einfach, dass der Schafhirte weiß, dass es *Schafe* und *Wölfe* gibt; Und dass er das weiß und beide Tierarten sofort erkennt, verdankt er keinen Analysen oder Berechnungen, sondern der Art, wie sein neuronales Netz die Welt repräsentiert.

---

[82] Im Abschnitt 12.1. über Willensfreiheit haben wir das etwas ausführlicher dargestellt.

Im Geist gibt es daher nur Allgemeines. Die Frage ist also eigentlich, wie wir dann überhaupt Einzelnes wahrnehmen und erkennen können. Das ist aber einfach zu beantworten. Meist reicht das direkte Wiedererkennen. Falls das nicht genügt, dann reicht die Angabe des Ortes und der Zeit: Mein Nachbar ist der, der neben mir wohnt. Die neben mir arbeitet, ist meine Kollegin usw. Wenn diese Bestimmungen einmal nicht hinreichen, dann kann noch eine Merkmal-Analyse stattfinden, wobei allerdings jedes Merkmal wiederum ein Attraktor ist.

Soviel zur Frage, wie das Allgemeine in den Geist gelangt: der Geist *ist* der Ort des Allgemeinen.

Damit kommen wir zur Frage, wie das Allgemeine in die materielle Wirklichkeit gelangt. Würde es dort nicht existieren – wären also alle beobachteten Sachverhalte bloß Einzelfälle –, dann könnten sich die Dinge nicht gesetzmäßig verhalten. Am Einzelfall ist die logische Verbindung von Ursache und Wirkung *unauffindbar*, sie *muss* daher im Allgemeinen liegen.

Wie also kommt das Allgemeine in die materielle Wirklichkeit?

Wir haben das im Kapitel 11 wie folgt beantwortet:

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. kann die Einheit der *Länge* durch die Wellenlänge eines materiellen Objekts definiert werden.) Daher muss die Herkunft des Allgemeinen *vor* allem Seienden liegen, d.h. dort, wo Einzelnes und Allgemeines infolge des Fehlens von Skalierungen ununterscheidbar und damit äquivalent sind: Der *Ursprung des Seienden* muss also zugleich der Ursprung des Allgemeinen sein.

Den *Ursprung des Seienden* haben wir im Kapitel 1 analysiert und daraus die Gleichung abgeleitet, die die Erzeugung der Wirklichkeit beschreibt. Im Kapitel 11 haben wir dann gezeigt, dass diese Gleichung auch der Ursprung des Allgemeinen in der Wirklichkeit ist, weil *sie selbst* – da sie ja die Wirklichkeit erst *erzeugt* – ontologisch *vor* der Wirklichkeit liegt und deshalb zugleich Einzelnes und Allgemeines ist, und weil somit alles, was sie produziert – jedes Objekt und jeder Sachverhalt – diese Ambivalenz von ihr erbt: alles, was aus ihr hervorgeht, wird zum Einzelnen, das das Allgemeine in sich trägt.

Würde das Wissen von einer der beiden Quellen des Allgemeinen fehlen, 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.

Welche Existenz mathematische Objekte und Sätze tatsächlich haben, werden wir nun anschließend klären.

### 2. Welche Existenz haben mathematische Objekte und Sätze?

Mathematik beginnt mit Zählen.

Also sind die *natürlichen Zahlen* die ersten mathematischen Objekte. Welche Existenz haben sie?

Fragen wir uns zunächst, wie es überhaupt dazu kommt, dass gezählt wird.

Das haben wir im Grunde schon beantwortet: wir haben festgestellt, dass für Wesen mit Geist die Welt in Mengen eingeteilt ist. Zahlen sind aber nichts anderes als *Eigenschaften* dieser Mengen. Z.B. ist die Zahl 2 diejenige Eigenschaft, die allen Mengen gemeinsam ist, die genauso viele Elemente enthalten wie ich Hände habe.

Das bedeutet, dass Zahlen zu den grundlegenden, *unmittelbar gegebenen* Elementen der Erfahrung von Wesen mit Geist gehören – der Schafhirte *weiß,* dass 2 Schafe 2 Schafe sind (und nicht 1 oder 3), und er weiß das auch schon, *bevor* der Begriff der Zahl existiert, ja sogar bevor die Zahl 2 selbst existiert.

Mit anderen Worten: *Zählen ist eine fundamentale Handlung jedes hinreichend entwickelten Geistes, die in einem solchen Geist mit Notwendigkeit auftritt.*

Welche Art von Existenz haben demnach die natürlichen Zahlen?

Sie sind nicht etwa Teil der "Natur" – in der materiellen Wirklichkeit gibt es keine Zahlen. *Wir* sind es, die zählen. Wenn die Bezeichnung "natürliche Zahlen" gerechtfertigt ist, dann nur deshalb, weil es *unserer* Natur entspricht, zu zählen.

Das bedeutet:

Bevor die Evolution Wesen mit Geist hervorbringt, gibt es keine Zahlen. Wenn aber solche Wesen existieren, dann entstehen Zahlen *mit Notwendigkeit,* weil sie Teil der geistigen Wirklichkeit sind.

Damit haben wir die Art ihrer Existenz eindeutig bestimmt: Sie erscheinen auf einer Stufe der natürlichen Evolution, nicht anders als z.B. schwere Elemente, deren Existenz erst dann möglich ist,

wenn es Sterne gibt, die schwer genug sind, um sie zu erzeugen. Falls diese Bedingung erfüllt ist, dann entstehen schwere Elemente jedoch *mit Notwendigkeit.*

Genau dasselbe gilt offenbar für natürliche Zahlen. Wenn die Evolution Geist hervorgebracht hat, dann entstehen sie *mit Notwendigkeit* aufgrund der Art, wie die materielle Wirklichkeit im Geist repräsentiert wird.

Gab es sie schon vorher? Nein. Auch die schweren Elemente gab es nicht, bevor sie von hinreichend schweren Sternen produziert wurden.

Zahlen haben also keine platonische Existenz, sie existieren nicht "außerhalb" der Wirklichkeit oder "unabhängig" von ihr, sondern können als Teil dieser Wirklichkeit verstanden werden, ebenso wie alle anderen Objekte der materiellen und geistigen Wirklichkeit.

Anfangs folgt die Mathematik in ihrer Entwicklung dem Pfad, der durch die natürlichen Zahlen und die einfachen Rechenoperationen vorgegeben ist. Und auch hier gilt wieder: dass $2 + 2 = 4$ ist, ist eine Tatsache, die für ein Wesen mit Geist sogar dann evident ist, wenn es noch keinen Begriff von Zahlen hat. Danach wird Mathematik aber zum freien Spiel des Geistes mit Objekten und Strukturen, das ein Charakteristikum der geistigen Wirklichkeit ist.

Mathematik ist das hervorragendste Beispiel einer besonderen Art geistiger Tätigkeit: dem Erfinden und Ausarbeiten von Systemen, die *erstens* aus einer Anzahl definierter Objekte und Sachverhalte bestehen und *zweitens* aus Regeln, wie daraus weitere Objekte und Sachverhalte konstruiert werden können.

Welche Existenz diese Objekte haben, lässt sich durch folgendes Beispiel veranschaulichen:

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.

Es ist also klar, welche Art Existenz mathematische Objekte und Sätze haben: Sie sind Elemente der geistigen Wirklichkeit – von Systemen, die von Wesen mit Geist 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 – im oben erwähnten Sinn – gerechtfertigt, zu behaupten, dass dieses Element auch schon vor seiner Entdeckung existierte.

Mathematische Objekte und Sätze existieren somit *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. *Vor* der Existenz dieses Systems existieren sie nicht.

Damit ist das Wesentliche über die Existenz mathematischer Entitäten gesagt. Sie werden in der geistigen Wirklichkeit gebildet. Deshalb ist Geist für die Existenz mathematischer Entitäten eine notwendige Voraussetzung. Kurz gesagt: ohne Geist keine Mathematik.

Viele 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, kehren wir nochmals zu den elementaren Rechenoperationen mit natürlichen Zahlen zurück. Sie 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.[83] 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

[83] Wenn etwas aus bestimmten Voraussetzungen *ableitbar* ist (so, wie der Löwe auf dem Teppich), dann kann seine Existenz behauptet werden, sobald diese Voraussetzungen eingetreten sind – also *vor* seinem tatsächlichen Erscheinen. Aber wenn etwas nicht aus Vorangegangenem *folgt,* sondern nur daraus *entsteht,* dann ist die Behauptung seiner Existenz vor seinem Erscheinen nicht gerechtfertigt.

des Kosmos Geist hervorbringen muss. Auch dann wäre es nicht sinnvoll zu behaupten, Geist existiere, bevor er tatsächlich auftritt.[84]

Dasselbe gilt für mathematische Objekte und Sätze. Sie erscheinen als 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 elementare 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 platonische Existenz bewiesen. Vielmehr ist es die *Interaktion* von Geist und Materie, die zwingend zur Mathematik führt, und nicht die platonische Existenz mathematischer Begriffe und Sätze.

### 3. Zusammenhang und Differenz von Wirklichkeit und Mathematik

Da wir nun geklärt haben, woher die Mathematik stammt und welche Existenz mathematische Objekte und Sätze haben, können wir die Beziehung zwischen Wirklichkeit und Mathematik auf der Grundlage ihrer Definition beurteilen.

Was ist Mathematik? Die Wissenschaft von Relationen zwischen Objekten und den daraus entstehenden Strukturen.

Was ist Wirklichkeit? Relationen zwischen *existierenden* Objekten und die daraus entstehenden Strukturen.

---

[84] Würde man annehmen, dass alle Objekte, die jetzt oder in Zukunft existieren, schon existierten, bevor sie tatsächlich erscheinen, dann müsste man an den *Beginn* der Erzeugung der Wirklichkeit einen Zustand setzen, der *selbst* schon *alles* enthält, was irgendwann existiert. Das wäre dann das Gegenteil unserer "minimalen" Metaphysik – es wäre genau die Art "maximaler" Metaphysik, wie sie seit Jahrtausenden existiert und zu Recht von der Aufklärung verworfen wurde: die Annahme einer Entität, die als "Gott" oder "das Absolute" aufgefasst werden müsste. Da aber die Entstehung von Objekten und Sachverhalten *erklärt* werden kann, ist die Annahme überflüssig, dass sie schon *vor* ihrem tatsächlichen Erscheinen existieren, und die soeben erwähnte Konsequenz aus dieser Annahme entfällt.

Falls man also annimmt, dass es in der Wirklichkeit Gesetze gibt, durch die die Relationen zwischen Objekten geregelt sind (wir haben das sogar bewiesen), dann folgt offensichtlich schon durch diese Definitionen ein enger Zusammenhang zwischen Wirklichkeit und Mathematik, der keineswegs geheimnisvoll oder gar unbegreiflich ist, sondern im Grunde selbstverständlich.

Zugleich wird aber dadurch auch ein wichtiger Unterschied – oder sagen wir besser: eine Einschränkung erkennbar, die, wie ich meine, zu wenig Beachtung findet und deshalb in den letzten Jahrzehnten in der Physik zu vielen Irrwegen geführt hat: Aus den Definitionen folgt offenbar, dass in der Wirklichkeit – in jedem System und auch insgesamt – nur *eine einzige* Struktur realisiert ist, während die Mathematik *unendlich viele* mögliche Strukturen umfasst.

Wenn also in der logischen Struktur unserer Beschreibung der Wirklichkeit ein Problem auftritt, dann gibt es vermutlich *nur einen einzigen Weg*, das Problem genau *so* zu lösen, dass der Lösungsweg der Wirklichkeit entspricht, aber potentiell *unendlich viele Wege*, das Problem rein mathematisch (zumindest näherungsweise) auf eine Art zu lösen, durch die die Wirklichkeit vollständig verfehlt wird.[85]

Ein weiterer wichtiger Unterschied ist der folgende:

Da im Geist alle Objekte und Sachverhalte Allgemeine sind, gibt es in der geistigen Wirklichkeit nur Aussagen über Allgemeines. Deshalb können im Bereich des Gedachten und des Wahrgenommenen Gesetze vollkommen genau gelten, und wahre Aussagen sind möglich.

In der Wirklichkeit existieren die Objekte, von denen diese Aussagen handeln, jedoch nicht: In der materiellen Welt gibt es keine Zahlen. Es gibt dort auch keine Kreise, Kreisumfänge oder Kreisdurchmesser. *Keines* der Objekte der Mathematik ist in der Welt vollständig realisiert.

Das bedeutet: Auf die materielle Wirklichkeit angewendet, bleiben die wahren Aussagen nur solange wahr, als von den tatsächlich bestehenden Unterschieden abgesehen wird – wie etwa beim Zählen von Objekten oder beim Rechnen mit Objekten: 2 Schafe + 2 Schafe = 4 Schafe ist ein Satz, der deshalb wahr ist, weil er die individuellen Unterschiede nicht enthält.

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.

Damit kommen wir zuletzt zum wichtigsten Unterschied zwischen Wirklichkeit und Mathematik – demjenigen, auf dem dieses Buch aufbaut und von dem in fast allen Kapiteln die Rede war:

[85] Am Ende des Buchs werde ich zu diesem Thema nochmals kurz Stellung nehmen.

Als *Beschreibungssystem der Wirklichkeit* aufgefasst, unterscheidet sich Mathematik auf fundamentale Weise von der *Wirklichkeit selbst* dadurch, dass ihr die metaphysische Qualität *Aktivität* fehlt. Daraus ergibt sich eine Reihe von Unterschieden, die wir alle bereits beschrieben haben. Ich will sie hier nochmals auflisten:

In der mathematischen Beschreibung der Wirklichkeit kann die Zukunft in *manchen* Fällen aus der Gegenwart *abgeleitet* werden. In der Wirklichkeit *entsteht* die Zukunft *immer* aus der Gegenwart.

Dieses "Entstehen", das sich der *Aktivität* der Wirklichkeit verdankt, ist also wesentlich leistungsfähiger als das "Ableiten", ja es ist sogar im wörtlichen Sinn in *unvorstellbarem* Ausmaß leistungsfähiger, weil *Aktivität* an das Vorhandensein der *Substanz* geknüpft ist, die weder vorstellbar noch denkbar ist.

Damit ist klar, dass die Entfaltung der Wirklichkeit die Möglichkeiten einer mathematischen Darstellung bei weitem übersteigt. Die Wirklichkeit transzendiert jedes mathematische System.

Dass die Zukunft der Wirklichkeit aus der Gegenwart entsteht und nicht daraus ableitbar ist, bedeutet, dass die Wirklichkeit *nicht determiniert* ist. Auch wenn es nur *eine* mögliche Zukunft gibt, kann die Wirklichkeit nicht determiniert sein, weil es nichts gibt, ***was*** sie determiniert.

Objekte, die in einem mathematischen System existieren, werden auf algorithmische Weise aus den Axiomen und Regeln des Systems erzeugt. Wirklich existierende Objekte hingegen können auch auf nicht-algorithmische Weise entstehen.

Bisweilen nähert sich die Wirklichkeit im Laufe ihrer Entfaltung durch Selbstorganisation 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, deren Zustände aus Gesetzen und Anfangsbedingungen ableitbar sind.

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.

### 4. Der Ursprung der Wirklichkeit und der Mathematik

Am Ende des zweiten Kapitels hatten wir die Frage gestellt, ob es erlaubt sei, am Beginn des Aufbaus der Beschreibung der Wirklichkeit Mathematik und Logik vorauszusetzen. Unsere Antwort war, dass keine Beschreibung voraussetzungslos beginnen kann, und dass daher nur zu fordern ist, dass dieser unvermeidliche erkenntnistheoretische Zirkel nicht destruktiv ist, und dass die Voraussetzungen, die am Beginn getroffen werden, zu einer Beschreibung führen, in der sie selbst schließlich als verständliche Folgerungen erscheinen.

Ich schließe dieses Kapitel mit der Kurzform eines solchen "konstruktiven Zirkels", wie er sich aus den Inhalten dieses Buchs ergibt:

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 Gestalt 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.

## 15. Ur-Szenario ⟶ Transzendenz, Sinn

Als ich das Buch *Der Begriff der Wirklichkeit* verfasste, war es für mich selbstverständlich, den Bereich des *Transzendenten* aus allen Erklärungen und Beschreibungen der Wirklichkeit auszuschließen. Motiviert war diese Zielsetzung durch das Prinzip der *"Einheit"* oder auch *"Vollständigkeit"* der Natur: Alles, was existiert und was sich ereignet, ist Teil der Natur – in dem Sinn, dass es durch die Natur selbst und durch nichts sonst hervorgebracht wird; was auch immer die Natur beeinflusst, muss selbst zur Natur gehören.

Das bedeutet: ***Es gibt nichts außer der Natur***.

Was aber ist *Natur?* Das, was wir im vorigen Kapitel als *Wirklichkeit* definiert haben: *Relationen zwischen existierenden Objekten und die daraus entstehenden Strukturen.*

"Transzendenz" ist dagegen als dasjenige definiert, was *außerhalb* der Natur liegt. Aufgrund des obigen Satzes verschwindet daher sofort jede Art von Religion – zumindest ihr ontologischer Teil, ohne den sie aber keine Religion mehr ist – und ebenso jede Art von Esoterik; Alle Projektionen, die sich Wünschen, Hoffnungen und Ängsten oder schlichtweg intellektuellen Defiziten verdanken, all die seltsamen Kreationen, die dem Bedürfnis entspringen, Wissenslücken zu füllen, die andernfalls beunruhigend wären, verschwinden aus der Vorstellung der Wirklichkeit und nehmen den ihnen zustehenden Platz in der Galerie der Produkte menschlicher Phantasie ein.

Um das durch ein Beispiel zu konkretisieren:

Geist lässt sich als Teil der Natur verstehen.[86] Es gibt also keinen Grund für die Annahme eines Geistes, der unabhängig von materiellen Voraussetzungen existiert – eine Annahme, die jedoch in allen Religionen eine zentrale Stellung einnimmt. Wesen, die diese Art von Geist besitzen, wären außerhalb der Natur, und das bedeutet: *sie existieren nicht*.

In Fällen, in denen es nicht gelingt, immanente Erklärungen zu finden oder transzendente Erklärungen durch immanente zu ersetzen, ist es keineswegs erlaubt, seiner eigenen kreativen Phantasie freien Lauf zu lassen – ganz besonders nicht im Zustand der Erleuchtung, der ja nicht nur Propheten und Esoteriker überfällt, sondern gelegentlich auch Physiker, vor allem wenn sie über

[86] Das setzt allerdings die "minimale Erweiterung" des Naturbegriffs voraus, von der gleich anschließend die Rede sein wird.

den quantenmechanischen Messprozess oder die "Theorie von Allem" nachdenken – vielmehr ist es dann geboten, sich dem Nichtwissen zu stellen und es offen einzubekennen.

Soviel zu meiner damaligen Zielsetzung. Es zeigt sich jedoch, dass Transzendenz nicht vollständig eliminiert werden kann, weil der Unterschied zwischen Wirklichkeit und Beschreibung – jener Unterschied also, der sich durch das Begriffspaar *Substanz* und *Aktivität* ausdrücken lässt und der sich im vorliegenden Buch an der Basis der Struktur der Wirklichkeit befindet – uns dazu zwingt, genau denjenigen Rest von Transzendenz beizubehalten, den ich in den vorangegangenen Kapiteln als "minimale Metaphysik" bezeichnet habe:

*Die Wirklichkeit ist **aktiv**, die Beschreibung ist **nicht aktiv**. **Substanz** ist dasjenige, wovon die **Aktivität** der Wirklichkeit ausgeht.*

*Substanz* und *Aktivität* sind transzendent, weil sie selbst nicht zur Menge der Relationen zwischen existierenden Objekten gehören, sondern deren ***Voraussetzungen*** sind: *Substanz* ist Voraussetzung von *Existenz*, *Aktivität* ist Voraussetzung von *Relationen* (Wechselwirkungen).

Kurz gesagt: ohne Substanz ***existiert nichts***, ohne Aktivität ***geschieht nichts***.

Zu welchen überraschenden und weit reichenden Änderungen die Berücksichtigung dieser Transzendenz führt, die auf das *notwendige* und – wie sich immer deutlicher zeigt – für die Beantwortung der wichtigen Fragen auch *hinreichende* Minimum reduziert ist, war das Thema etlicher vorangegangener Kapitel. Für das aktuelle Kapitel entscheidend ist jedoch die letzte dieser Änderungen, die mich selbst am meisten überrascht hat: die Erkenntnis, dass *Empfindung* eine Erscheinungsform der Substanz ist.

Überraschend war diese Einsicht für mich deshalb, weil ich vorher angenommen hatte, dass Geist Informationsverarbeitung sei und dass daher Empfindung – trotz der Unklarheit ihres Zusammenhangs mit der Informationsverarbeitung – auch in von uns konstruierten Systemen bei einem bestimmten Grad an Ähnlichkeit mit dem biologischen Vorbild auftreten müsste.

Die Argumentationen der Kapitel 12 und 13 zeigen jedoch, dass das niemals geschehen kann: gleichgültig, wie perfekt das von uns konstruierte KI-System auch sein mag, wie ähnlich oder sogar überlegen es unserem neuronalen Netz auch ist – es bleibt dennoch empfindungslos.

Die eigentliche Bedeutung der Einsicht, dass Empfindung *Substanz* ist, liegt aber in Folgendem:

*Substanz* ist transzendent. Wenn Empfindung *Substanz* ist, dann ist somit auch *Empfindung* transzendent, und das bedeutet:

- Das Transzendente ist nicht irgendwo "außerhalb" – es ist *in uns selbst.*
- Das Transzendente ist weder unzugänglich noch verborgen – es *erschließt s*ich uns, ja es ist sogar das Einzige, von dem wir genau wissen, *was* es ist, weil es ein Teil von uns selbst ist. Da Empfindungen in keiner Beschreibung enthalten sind, ist dieses Wissen allerdings *kein begriffliches Wissen*, sondern *Kenntnis des unmittelbar Gegebenen.*

Es ist jedoch klar, dass diese Aussagen nicht die zuvor kritisierte Art von Transzendenz rechtfertigen. Sie betreffen ausschließlich das von uns bestimmte, *unverzichtbare* Minimum von Transzendenz sowie die daraus abgeleitete Form des Transzendenten: *Empfindung*.

Durch die Erkenntnis, dass Empfindung *Substanz* ist, ändert sich der Status, den sie in unserem Selbstverständnis und in unserer Sicht der Wirklichkeit hat:

War es vorher noch möglich – und auch üblich – Empfindung als den *akzidentellen* Teil unseres Geistes zu betrachten, ist das nun ausgeschlossen: als *Substanz* des Geistes ist Empfindung eine notwendige Bedingung für die Existenz von Geist.

Außerdem ist Empfindung, wie wir im 12. Kapitel (in 12.2) gezeigt haben, auch die Ursache der geistigen Dynamik, sie ist der *Antrieb* unserer geistigen Tätigkeit, nicht anders als *Masse* die Ursache der Dynamik von Sonnensystemen oder Galaxien ist: ohne Masse keine gravitative Dynamik, ohne Empfindung keine geistige Dynamik.

*Substanz* ist die logische und metaphysische Voraussetzung der gesamten Wirklichkeit – *sie bringt die Wirklichkeit hervor.* In ihrer Erscheinungsform als *Empfindung* ist sie die logische und metaphysische Voraussetzung der geistigen Wirklichkeit – *sie bringt Geist hervor.*

Ebenso ändert sich auch der Status von *Informationsverarbeitung:*

War es vorher noch möglich, Geist und Informationsverarbeitung gleichzusetzen, ist das nun ausgeschlossen. Informationsverarbeitung ist bloß *künstliche Intelligenz,* die empfindungslos und ohne Bewusstsein bleibt und somit niemals zu Geist werden kann.

Informationsverarbeitung ist gänzlich *immanent.* Die Existenz von Geist setzt jedoch *Transzendenz* voraus: Im geistigen Zustand, dem *Quale*, sind Transzendenz und Immanenz *untrennbar verbunden*, jedes Quale ist eine *untrennbare Einheit* von Empfindung und Information.

Alles, was für uns wichtig ist, entspringt dieser Verbindung: es bedarf immer *beider* Elemente des Quale:

*Erkenntnis:* Erkenntnis benötigt Motivation und Wissen. Motivation ist ein direkter Abkömmling von Empfindung, Wissen setzt Informationsverarbeitung voraus.

*Moral:* Moral bedarf der Empathie – ohne Empathie fehlt der Grund, das Wohl Anderer in meine Absichten einzubeziehen, und selbstverständlich bedarf sie auch der Einsicht: ohne Einsicht wäre es nicht einmal möglich, den Anderen als den zu erkennen, der mir gleicht, was aber wiederum die Basis für Identifikation und damit auch für Empathie ist.

Ich will aber diese im Grunde triviale Aufzählung nicht weiter fortsetzen. Ich denke, es ist klar genug, dass alles, was für uns von Bedeutung ist und daher zum Sinn unseres Lebens beiträgt, tief in den beiden so verschiedenen und dennoch untrennbaren Komponenten unserer Geistigkeit verwurzelt ist, und dass wir nur dann, wenn wir uns dessen bewusst bleiben, sein können, was wir sind.

Gegenwärtig fehlt jedoch die ontologische Grundlage dafür, zu begreifen, was *Geist* ist und somit auch die Voraussetzung dafür, zu verstehen, was *wir* sind. Solange die Überzeugung vorherrscht, dass Geist *nichts als Informationsverarbeitung* ist, bleibt dieses Verständnis ausgeschlossen.

Im 18. und 19. Jahrhundert war das *mechanische* Gleichnis vom Menschen außerordentlich populär. Die Bereitschaft vieler Menschen, sich in mechanisch bewegten Puppen wiederzuerkennen oder einem (angeblich) mechanisch gesteuerten Schachautomaten *tatsächlich* die Fähigkeit zuzutrauen, das Schachspiel zu beherrschen, mag aus heutiger Sicht naiv erscheinen.

Zurzeit dominiert das *elektronische* Gleichnis vom Menschen. Die beeindruckenden Leistungen von KI-Systemen stützen dieses Gleichnis. Unsere Argumentationen beweisen jedoch, dass es genauso falsch ist wie sein mechanischer Vorgänger – und überdies ist es bedenklicher oder sogar gefährlicher, weil seine Leistungsfähigkeit die Identifikation mit der elektronischen Maschine wesentlich erleichtert und für manche sogar attraktiv erscheinen lässt, und wenn wir uns mit einer Simulation von Geist verwechseln, dann werden wir uns zweifellos einer solchen Simulation annähern.

Wie soeben ausgeführt, entspringt alles, was für uns wichtig ist, aus der Einheit von Empfindung und Information. Wenn diese Einheit verloren geht, weil wir uns selbst nicht als geistige Wesen, sondern als intelligente Automaten begreifen, dann verschwindet alles Sinnhafte, und übrig bleibt bloß ein leeres "Mehr". Es geht dann nicht mehr um "das Gute" und "die Wahrheit", sondern nur noch um Macht und Geld, nicht mehr um geistige Ziele und Werte, sondern nur noch um "Likes" und "Followers".

Die Liste solch übler Folgen ließe sich beliebig verlängern. Ich werde aber hier schließen und nur noch ein letztes Mal das zentrale Thema dieses Kapitels aufgreifen:

Wer meint, der Bereich des Immanenten, mit dem sich Naturwissenschaft befasst – in unserer Terminologie der Bereich der Akzidenzien – sei unvollständig und liefere uns keine Antworten auf die für uns wirklich wichtigen Fragen, dem gebe ich recht. Ich weise ihn/sie jedoch darauf hin, dass er/sie im Transzendenten oder Jenseitigen weder Allwissenheit noch Allmacht, weder Ewigkeit noch Seligkeit begegnen wird, sondern nur *sich selbst.*

Dort ist niemand, der antwortet, außer man selbst.

---

## *Schluss*

In diesem Buch habe ich Lösungen für etliche fundamentale physikalische und philosophische Fragen und Probleme vorgeschlagen, die bisher ungelöst waren. Die Methoden, durch die ich zu meinen Antworten gelangt bin, unterscheiden sich in fast allen Fällen von den üblichen Methoden.

Nehmen wir an, einige meiner Lösungen seien korrekt. Dann würde das die Vermutung nahelegen, dass die übliche Herangehensweise nicht in jedem Fall der am besten geeignete Weg zur Lösung eines Problems ist.

Genau diese Vermutung soll nun abschließend diskutiert werden.

Seit langer Zeit – zumindest in den letzten 50 Jahren – ist die Entwicklung der theoretischen Physik fast ausschließlich durch Mathematik bestimmt worden. Für jedes Problem, sei es ein Widerspruch zwischen Theorie und Experiment, oder eine Inkonsistenz innerhalb einer Theorie, oder die Unvereinbarkeit zweier Theorien, wurde eine mathematische Lösung angestrebt. Und nicht nur das – auch die Richtung der Suche war stets durch die Möglichkeiten vorgegeben, die die Mathematik zu bieten schien.

Man denke etwa an die Versuche, Gravitation in den Vereinheitlichungsmechanismus der Wechselwirkungen einzubeziehen: String-Theorie und Supersymmetrie waren fast ausschließlich mathematisch motiviert, aber auch bei Twistor-Theorie und Loop-Gravitation war die mathematische Motivation dominierend. Das ging so weit, dass sich die theoretische Physik schließlich sogar von der Physik im Sinn einer *Beschreibung der Natur* zu entkoppeln drohte, indem sie sich völlig in einem rein mathematischen Paradies verlor.

Aus der Sicht, zu der wir in diesem Buch gelangt sind, also aus *metrisch-dynamischer* Sicht, ist das ein vollkommen falscher Weg – aus zwei Gründen:

*Der erste Grund* ist, dass die Macht der Mathematik verführerisch groß ist, vielleicht sogar so groß, dass es gelingen kann, heterogene formale Strukturen, die eigentlich *nichts Physikalisches* miteinander zu schaffen haben, durch besondere mathematische Verfahren in einer übergeordneten formalen Struktur zu "vereinigen".[87]

[87] Das folgt aus den Definitionen von Mathematik und Wirklichkeit (am Beginn von 14.2.3) und den dort unmittelbar anschließenden Erläuterungen.

Nehmen wir etwa an, es läge eine Beschreibung der Wirklichkeit vor, für die Folgendes gilt:

1. Die Beschreibung zerfällt in mehrere Teile, die zusammen die gesamte Wirklichkeit umfassen.
2. Alle Teilbeschreibungen sind Näherungen, die aber in der Hinsicht falsch sind, dass sie die grundlegenden kausalen Strukturen der Wirklichkeit verfehlen.
3. Einige dieser Teilbeschreibungen widersprechen einander.

Dann ist nicht auszuschließen, dass mathematische Verfahren existieren, durch die die Widersprüche aufgehoben werden können, und dass eine mathematische Struktur existiert, die die Strukturen aller Teilbeschreibungen enthält bzw. umfasst. Dann würden die meisten theoretischen Physiker der Gegenwart diese umfassende Struktur als *Theorie für Alles,* als *Vollendung der Physik* feiern – obwohl sie nach Voraussetzung die Wirklichkeit vollständig verfehlt.

Leider ist das kein bloßes Gedankenexperiment, sondern beschreibt – wiederum aus metrisch-dynamischer Sicht – genau die Verhältnisse der letzten Jahrzehnte. Zum Glück hat sich schließlich herausgestellt, dass die Mathematik doch nicht mächtig genug ist – oder sagen wir besser: dass sie sich doch gegen diesen Missbrauch zur Wehr gesetzt hat und (bis jetzt) keine Verfahren bereitgestellt hat, die die Vereinigung falscher und widersprüchlicher Teilbeschreibungen gestattet hätten.

*Der zweite, noch wichtigere Grund* ist, dass bei Theorien, die aufgrund falscher ontologischer Annahmen in Sackgassen feststecken, die Mathematik oft *überhaupt keine Chance* bietet, aus diesem Dilemma herauszufinden.

Das beste Beispiel dafür ist das quantenmechanische Mess-Paradoxon. Führen wir es uns wieder in Gestalt des Doppelspaltexperiments vor Augen:

In der Erklärung, die ich hier (im Abschnitt 7.1) präsentiert habe, ist der entscheidende Sachverhalt, dass die Elektron-Welle, die durch den Doppelspalt läuft und dann die Detektorplatte erreicht, ***nicht*** mit dem danach detektierten Elektron-Teilchen identisch ist.

Wenn man diesen Sachverhalt nicht erkennt, sondern annimmt, dass sich die quantenmechanische Beschreibung *vor* und *nach* der Messung auf ***dasselbe Objekt*** bezieht, dann besteht überhaupt keine Chance, diesen Übergang – den "Kollaps der Wellenfunktion" – auf mathematische Weise zu begründen: die vollständig falsche Voraussetzung lässt keine sinnvolle Erklärung mehr zu. Dann ist rein formal dazu nicht mehr zu sagen als dass das Amplitudenquadrat der Welle die Wahrscheinlichkeit des Erscheinens des Teilchens bestimmt. Jeder weitergehende Erklärungsversuch muss scheitern, jeder Versuch, diesen Übergang *als Prozess* zu beschreiben und zu verstehen, *muss*

unsinnig sein, wenn dieser Prozess als Wechsel zwischen zwei Zuständen desselben Objekts verstanden wird: ***ein Prozess, den es überhaupt nicht gibt, kann natürlich nicht sinnvoll beschrieben werden***.

Könnten Irrwege dieser Art vermieden werden? Eine notwendige Bedingung dafür wäre jedenfalls die Einsicht, dass Wirklichkeit und Mathematik *nicht dasselbe* sind, und zwar ***niemals*** – und dass daher die Nützlichkeit einer mathematischen Struktur in einem bestimmten Bereich der Wirklichkeit keineswegs die Annahme rechtfertigt, dass die Wirklichkeit diese mathematische Struktur ***ist***.

Der bekannteste Fall in der Geschichte der Physik, in dem eine solche Gleichsetzung vollzogen wurde, ist die spezielle Relativitätstheorie, in der die Werte von Raum- und Zeitmessungen zu einer vierdimensionalen mathematischen Struktur vereinigt werden. Um physikalische Berechnungen durchzuführen, ist diese Struktur unverzichtbar. Dennoch kann auch in diesem Fall daraus nicht geschlossen werden, dass die Wirklichkeit diese Struktur ***ist***. Genau das haben die Physiker dieser Zeit aber getan. (Ich erinnere nochmals an das Zitat von Hermann Minkowski: *Von Stund' an sollen Raum für sich und Zeit für sich völlig zu Schatten herabsinken ...*)

Diese Gleichsetzung ist jedoch falsch: *Nur mathematisch* werden Raum und Zeit verknüpft, *ontologisch* bleiben sie (selbstverständlich) getrennt – der *wirkliche* Raum bleibt dreidimensional und verwandelt sich *nicht* gemeinsam mit der Zeit in die vierdimensionale Raumzeit. (Man kann das jederzeit überprüfen, indem man einfach versucht, die Zeitkoordinate abzuschreiten.)

Das Problem einer solchen Gleichsetzung – nicht nur hier, sondern ganz allgemein – ist folgendes:

Wenn die Natur mit dem Formalismus *identifiziert* wird, dann ist es nicht mehr sinnvoll zu fragen, warum sie ihm *gehorcht*. Dann kann grundsätzlich nicht mehr *ontologisch*, sondern nur noch *formal* untersucht werden, warum irgendetwas der Fall ist – warum also etwa die Zeit in bewegten Systemen langsamer vergeht; Wie wir gezeigt haben, hat das schwerwiegende Folgen: der eigentliche Grund für die Zeitstruktur der Wirklichkeit, der erst den Blick auf die fundamentale Schicht der Wirklichkeit ermöglicht, bleibt dadurch verborgen.

Beim Übergang zur allgemeinen Relativitätstheorie führt die Identifikation von Wirklichkeit und vierdimensionaler mathematischer Struktur dazu, dass der grundlegende kausale Mechanismus der Gravitation *unerreichbar* wird: von der rein formalen Verallgemeinerung berechtigter Koordinatensysteme führt kein Weg zum zentralen Konzept der metrisch-dynamischen Gravitation, dem *metrischen Fluss*.

Ich will hier nicht systematisch vorgehen, sondern nur noch zwei weitere Beispiele anführen.

Um einen quantenmechanischen Messprozess zu beschreiben, benötigen wir die Darstellung im Hilbertraum. Stellen wir uns nun vor, wir könnten etwa beim Doppelspalt-Experiment immer weiter in das Geschehen "hineinzoomen" – würde sich dann irgendwann der dreidimensionale Raum, in dem wir uns befinden und in dem wir das Experiment aufgebaut haben, in den Hilbertraum *verwandeln*? Wohl kaum. Auch hier gilt, dass dieser Raum ein nützliches, in manchen Fällen sogar notwendiges Hilfsmittel für Berechnungen ist. Dennoch wäre es absurd anzunehmen, dass der Bereich der Wirklichkeit, in dem der Prozess stattfindet, ein Hilbertraum ***ist***. Genau diese Identifikation von Wirklichkeit und mathematischer Struktur ist es jedoch, die auch hier die korrekte Interpretation des Experiments verhindert.

Als letztes Beispiel wählen wir jenes ferne Objekt der Sehnsucht der modernen theoretischen Physik: die (vorläufig unbekannte) mathematische Struktur der Superstringtheorie. Die Grundelemente dieser Struktur – gebrochene Symmetrien, Strings, Supersymmetrie, Multi-dimensionalität – verdanken ihre Existenz fast ausschließlich dem Bemühen, die bei der angestrebten Vereinheitlichung der Physik auftretenden Unendlichkeiten handhabbar zu machen. Aus unserer Sicht wird aber mit jedem dieser rein mathematisch motivierten Schritte die Wahrscheinlichkeit geringer, der Struktur der Wirklichkeit näher zu kommen. Bestärkt wird dieser Verdacht durch die Tatsache, dass es bisher überhaupt keine experimentelle Bestätigung der Superstringtheorie gibt, sodass ihre Verfechter sich nun vor allem auf die Überzeugung stützen, dass der strukturelle Reichtum der Theorie so überwältigend ist – sogar schon jetzt, in ihrem vorläufigen Stadium – dass sie einfach nicht falsch sein *kann*. Es fragt sich aber, ob dieser Reichtum nicht bloß auf all den mathematischen Besonderheiten beruht, aus denen die Theorie konstruiert worden ist, und nicht auf ihrer Beziehung zur Wirklichkeit; mathematische Großartigkeit *allein* ist sicher kein Indiz für die Richtigkeit einer *physikalischen* Theorie.

Alle diese Beispiele weisen darauf hin, dass die Beschränkung auf Mathematik nicht der richtige Weg zur Lösung physikalischer Probleme ist; Wenn die Interpretation dessen fehlt, was sich bei einem physikalischen Prozess ereignet, dann führt Mathematik oft in die Irre: in den soeben skizzierten Szenarien – die für die Physik von grundlegender Bedeutung sind – wird die *korrekte* Erklärung durch die Identifikation von Wirklichkeit und mathematischer Struktur *verdeckt*, und es gibt sogar Fälle wo die Beschränkung auf mathematische Verfahren eine Lösung des Problems vollständig ausschließt (wie beim quantenmechanischen Messprozess).

Wie kam es eigentlich dazu, dass Mathematik so dominant werden konnte, und dass Interpretation eine derart untergeordnete Rolle spielt?

Zweifellos beginnt diese Entwicklung mit der Newtonschen Gravitationstheorie. Einerseits ist sie ontologisch *unmöglich* und daher *uninterpretierbar:* eine Wechselwirkung zwischen Massen über den Newtonschen leeren Raum hinweg *kann* es nicht geben – auch Newton selbst hat mehrfach vergeblich versucht, seine Theorie ontologisch zu begründen –, aber andererseits ist sie unerhört erfolgreich. Andere, ontologisch motivierte Theorien, wie z.B. die Ätherwirbeltheorie von Descartes, waren hingegen völlig erfolglos.

Ähnliches ereignete sich später bei Maxwells Theorie des Elektromagnetismus: auch Maxwell hat viele Jahre lang versucht, seine Gleichungen auf mechanisch-anschauliche Weise aus der Dynamik des Äthers abzuleiten und ist daran gescheitert.

Von diesen Rückschlägen hat sich die Ontologie nie mehr erholt. So war der Weg zur Dominanz der Mathematik vorgezeichnet. Das Misslingen der Interpretationen relativistischer und quanten-mechanischer Sachverhalte hat dann dazu geführt, dass Interpretation nahezu vollständig aus der Physik verschwunden ist:

Im Fall der Speziellen Relativitätstheorie bleibt die Erklärung rein formal, und wir scheinen gezwungen zu sein, unser apriorisches Raum-Zeit-Verständnis aufzugeben.

Im Fall der Quantentheorie gibt es überhaupt keine Interpretation mehr, sondern bestenfalls Erklärungen, *warum* es keine Interpretation gibt; Vorherrschend ist aber der Rückzug in Pragmatismus und ins formale Schema.

Die Argumentationen, die in diesem Buch präsentiert worden sind, führen dagegen zu einem völlig anderen Verständnis dieser beiden Theorien:

Es wurde gezeigt (im Zwischenbericht 2, im Abschnitt 3.1 und im Kapitel 6), dass die Spezielle Relativitätstheorie – *wenn sie korrekt interpretiert wird* – unsere apriorische Raum-Zeit-Vorstellung nicht etwa *aufhebt,* sondern dass sie im Gegenteil *daraus folgt*. Diese Interpretation ist dann ein wesentliches Element der neuen Basis der Beschreibung der Wirklichkeit, aus der sich alle hier präsentierten Problemlösungen ableiten lassen.

Dasselbe gilt für die Interpretation der Quantenmechanik, die eine Erklärung des Formalismus liefert (siehe Abschnitt 7.6), durch die sich die Quantenmechanik von einer Theorie, die für unser Denken völlig unzugänglich erscheint, in eine Theorie verwandelt, die verstanden und erklärt werden kann. In dieser Interpretation erweist sie sich sogar als Bestätigung der metrisch-

dynamischen Hypothese, dass die Wirklichkeit ein Gewebe aus metrischen Änderungen von Raum und Zeit ist, und zwar aus folgendem Grund:

Unmittelbare Folge dieser Hypothese ist die Existenz *metrischer Wellen,* die die Grundlage aller materiellen Strukturen bilden, und das ist genau die Voraussetzung, die für das Verständnis des quantenmechanischen Formalismus erforderlich ist.

Auch hier ist wieder klar zu sehen: Der Weg zur Problemlösung beginnt nicht mit Mathematik, sondern mit dem Versuch, zu *verstehen,* was geschieht. Wenn dieser Versuch erfolgreich ist, dann ergeben sich sofort weitere Einsichten, und die physikalische Forschung wird auf neue Ziele hin orientiert.

Zu meiner Gravitationstheorie bin ich allerdings auf ganz andere Weise gelangt: Es war nicht etwa der Versuch, Gravitation zu verstehen, der mich auf den Weg gebracht hat, sondern der Versuch, zu beschreiben, wie die Wirklichkeit entsteht. Wäre ich damals gefragt worden, ob ich über Gravitation arbeiten wollte, hätte ich das mit Sicherheit verneint.

Nachdem ich die fundamentalen Gleichungen (0) und (1) entdeckt hatte, war es aber mit einem Mal gleichgültig, ob ich das *wollte,* weil Newtons Gleichung plötzlich wie von selbst auftauchte, ohne dass ich nach ihr verlangt hatte. Der Weg zur Periheldrehung war dann auch nicht viel länger: sie stand zwar nicht direkt vor mir, war aber nur wenige Zeilen entfernt. Und als das Ergebnis tatsächlich mit dem der Allgemeinen Relativitätstheorie übereinstimmte, erschien mir das geradezu wie ein Wunder.

Zurück zu unserem Thema:

Die Gleichungen (0) und (1) folgen aus Überlegungen, die auf den metaphysischen Begriffen *Substanz* und *Aktivität* beruhen. Bei der Erstellung meiner Gravitationstheorie war also nicht *Interpretation* der erste Schritt, sondern die ***Einbeziehung von Metaphysik***.

Genau dieser Schritt, der sich aus der Analyse des Unterschieds zwischen Wirklichkeit und Beschreibung ergibt, stellt den Ausgangspunkt für alle weiteren Argumentationen und Erklärungen dar, und er macht den fundamentalen, den *eigentlichen* Unterschied zum üblichen physikalischen Beschreibungssystem und den in diesem System üblichen Methoden aus.

Erst durch die Verbindung von Physik und Metaphysik wird es möglich, das kausale metrische Fundament der Beschreibung der Wirklichkeit zu erkennen und von dieser Basis ausgehend all die physikalischen Fragen zu klären, die hier analysiert worden sind.

Im philosophischen Teil meiner Ausführungen steht die Einbeziehung von Metaphysik sogar noch stärker im Mittelpunkt:

Für die Begründung der Kausalität ist es notwendig, zum *Ursprung der Wirklichkeit* zurückzugehen, die Begründung der Willensfreiheit setzt die Einsicht in den Unterschied zwischen Wirklichkeit und Beschreibung voraus, und für die Begründung des Auftretens von Qualia und der Unmöglichkeit von Roboterbewusstsein ist der Einsatz metaphysischer Argumente noch deutlich umfangreicher.

Ich hoffe, dass es mir gelungen ist zu zeigen, dass diese "minimale Metaphysik" – im Gegensatz zur traditionellen Metaphysik – rational begründet und vollkommen vernünftig ist.

Was das betrifft, bin ich jedoch zuversichtlich:

Wer könnte daran zweifeln, dass die Wirklichkeit ***aktiv*** ist – im Gegensatz zu einer Beschreibung der Wirklichkeit, die ***nicht aktiv*** ist?

Dieses Schlusswort ist ein zweifaches Plädoyer geworden:

*Erstens* dafür, der Interpretation – d.h. dem Versuch, zu verstehen, *was wirklich* geschieht und *warum* es geschieht – in der Physik einen höheren Stellenwert zu geben und nicht allein auf Mathematik zu vertrauen. Mathematik bleibt selbstverständlich das einzige Mittel zur exakten Beschreibung der materiellen Wirklichkeit, aber für das Auffinden von Problemlösungen sowie für die Schaffung neuer Theorien, und noch mehr für die Bestimmung physikalischer Forschungsziele bedarf sie der Führung durch Interpretation.

*Zweitens* dafür, in Naturwissenschaft und Philosophie wieder Metaphysik zu integrieren, allerdings in der reduzierten, von allen Projektionen gereinigten Form, die hier als *minimale Metaphysik* vorgestellt worden ist und die sich als so überaus fruchtbar für die Klärung zahlreicher physikalischer und philosophischer Fragen erwiesen hat, die so lange unbeantwortet geblieben sind.

Heinz Heinzmann

Wien, September 2022

## *Postskriptum*

Der Abschluss meines Buchs wird nun abermals dem zentralen Thema gewidmet sein: der Struktur des gesamten Beschreibungssystems und dem engen Zusammenhang der darin enthaltenen Theorien. Diesmal gehe ich aber nicht systematisch vor, sondern konzentriere mich auf die Details und Methoden einiger Erklärungen, die mir im Rückblick nicht ausreichend und vor allem nicht übersichtlich genug dargestellt erscheinen, und versuche zu zeigen, auf welche Weise sie für den Zusammenschluss zu einem System, also zu einer als Einheit verstandenen Wirklichkeit sorgen.

Ich beginne mit der Erklärung der Speziellen Relativität – nicht nur, weil sie mein erster Schritt auf dem Weg zur neuen Sicht der Wirklichkeit war, sondern weil ich sie auch für den besten Einstieg in mein Beschreibungssystem halte.

Die Erklärung setzt die – von Einstein stammende – Einsicht voraus, dass die Zeit nicht (wie Newton meinte) von sich aus überall gleich abläuft. Daraus folgt jedoch unmittelbar die – über Einstein hinaus und von ihm weg führende – Erkenntnis, dass die an verschiedenen Orten geltenden Zeiten erst durch kausale Prozesse *erzeugt* werden müssen. Das bedeutet zugleich, dass die Beziehungen zwischen den lokalen Zeiten von der *Geschwindigkeit* dieser Prozesse abhängen, woraus wiederum folgt, dass es wegen der notwendigen Eindeutigkeit des Zeitsystems *nur eine einzige Geschwindigkeit* geben kann. Alle anderen Geschwindigkeiten müssen daraus abgeleitet sein.

Mit diesen wenigen Sätzen haben wir uns bereits sehr weit von der gegenwärtigen Physik entfernt. Es ist also unbedingt erforderlich, jeden dieser Sätze genau zu betrachten und seine Notwendigkeit einzusehen. Nur dann kann die Schlussfolgerung "Es gibt nur eine einzige Geschwindigkeit" den ihr zustehenden Platz an der Basis der Wirklichkeit einnehmen. Deshalb will ich hier kurz innehalten und den Gedankengang wiederholen:

Wenn die Zeit nicht "von selbst" und "vermöge ihres Wesens" abläuft, dann muss jedes lokale Zeitvergehen sowie die Beziehungen zwischen den lokalen Zeiten durch irgendetwas *verursacht* werden. Es ist evident, dass diese Verursachung den kausalen Prozessen zugeschrieben werden muss, durch die die Objekte der Wirklichkeit miteinander verbunden sind.

Der nächste Schritt ist, zu begreifen, dass die auf diese Weise erzeugten Zeitverhältnisse vom Bewegungszustand der Objekte abhängen. Dafür benötigt man folgende Überlegung:

Wir betrachten zwei Objekte. Zunächst ruhen sie beide. Wenn sie nun aber beginnen, sich entlang ihrer Verbindungsgeraden in der selben Richtung mit der selben Geschwindigkeit zu bewegen, dann ändert sich das Verhältnis der für sie geltenden Zeiten – einfach deshalb, weil *jeder* der kausalen, Zeit-erzeugenden Prozesse, die beim vorderen Objekt beginnen und beim hinteren enden, bei diesem hinteren Objekt jetzt *früher* ankommt als derselbe Prozess im Fall der Objekte in Ruhe, weil das hintere Objekt diesem Prozess ja jetzt entgegenläuft. Das bedeutet aber nichts anderes, als dass – bezogen auf das hintere Objekt – der Zeitpunkt des Aussendens des Prozesses nun – im Vergleich zu vorher – *in die Vergangenheit verschoben* ist.

Offensichtlich hängt jedoch das Ausmaß dieser Verschiebung von der Geschwindigkeit des betrachteten Prozesses ab: je kleiner die Geschwindigkeit, desto größer die Verschiebung.

Das Verhältnis der bei den beiden Objekten geltenden Zeiten muss aber eindeutig sein, und das heißt, dass es nur eine einzige Geschwindigkeit geben kann und dass demnach alle anderen Geschwindigkeiten von dieser Geschwindigkeit abgeleitet sein müssen. Diese fundamentale Geschwindigkeit nennen wir c.

Setzen wir den Gedankengang fort. Für die nächsten Sätze gilt dasselbe wie für die vorangegangenen: sie führen noch weiter weg von der bekannten Physik, und deshalb fordere ich jede(n) Leser(in) auf, keinesfalls weiterzulesen, bevor sie/er zum Inhalt dieser Sätze eine klare und eindeutige Stellung bezogen hat.

Wenn es nur eine einzige Geschwindigkeit gibt, aus der alle anderen Geschwindigkeiten erzeugt werden müssen, dann steht man vor der Frage, wie dieser Erzeugungsprozess vor sich geht. Die Antwort ist: durch Überlagerung von entgegengesetzt laufenden Wellen mit der Geschwindigkeit c. Damit kann auf einfache Weise jede Geschwindigkeit erzeugt werden.

Wir haben das im Kapitel 6 durchgeführt. Es hat sich herausgestellt, dass sich die durch Wellenüberlagerung erzeugten Geschwindigkeiten an die durch die Geschwindigkeit c selbst errichteten zeitlichen Zusammenhänge halten. Wir haben also die speziell-relativistischen raumzeitlichen Zusammenhänge rekonstruiert, und zwar ohne jede Physik, nur gestützt auf logische und geometrische Überlegungen. Dadurch wird dieses Vorgehen zu einem echten Neubeginn der Naturbeschreibung.

Was schwingt hier eigentlich? Der Raum selbst, also die Metrik. Was in Einsteins Spezieller Relativitätstheorie als bloßes (kartesisches) Koordinatensystem erscheint, wird dadurch schon an dieser Stelle zur *Metrik*, und da diese Metrik die notwendige Voraussetzung für alle Geschwindigkeiten kleiner als c ist, wird sie auch zur Voraussetzung von *Existenz*.

Schon an diesem Punkt unserer Überlegungen ist also klar, dass der (metrische) Raum die Basis alles Existierenden ist und dass es nur Wellen gibt. (Siehe dazu auch die Ausführungen im Abschnitt 3.2)

Allerdings wirkt die Annahme von gegenlaufenden Wellen mit der Geschwindigkeit c zunächst seltsam, weil ja noch kaum zu sehen ist, wie daraus eine Vorstellung der Wirklichkeit entstehen sollte.[88] Nur ein erster Hinweis lässt schon erahnen, dass eine Verbindung zur üblichen Beschreibung materieller Objekte besteht: Wie im Abschnitt 6.5 auf Seite 110 gezeigt, folgt aus dieser Annahme direkt die Existenz von Materiewellen.

Wir werden diese Verbindung aber zunächst nicht weiter verfolgen, sondern zeigen, wie die auf diese Weise begründete spezielle Relativität mit der Beschreibung der Gravitation zusammenhängt.

Gravitation wurde hier (ebenso wie alles andere) als rein metrisches Phänomen dargestellt: Masse wird als metrische Verdichtung aufgefasst.

Wenn ein Raumbereich metrisch verdichtet wird, verursacht das eine metrische Beschleunigung: das außerhalb dieses Bereichs liegende metrische Kontinuum wird auf den verdichteten Bereich hin beschleunigt. Jedes metrische Element bewegt sich also beschleunigt entlang einer Flusslinie, die an einer Quelle (mit v = 0) beginnt und entweder in einen verdichteten Bereich führt oder an einem Punkt endet, der ebenfalls eine Quelle ist. (Siehe z.B. Skizze S10.) Das metrische Kontinuum ist aus solchen Flusslinien aufgebaut.

Die Beschleunigung, die das metrische Element erfährt, entspricht der Newtonschen Beschleunigung, allerdings mit dem Unterschied, dass die gravitative Wirkung hier nicht instantan präsent ist, sondern sich mit der Geschwindigkeit c fortpflanzt.

Diese Beschleunigung kann jedoch nur näherungsweise der Beschleunigung gleichgesetzt werden, die die Massen erfahren – für eine exakte Berechnung ist es erforderlich, aus der jeweiligen Geschwindigkeit der metrischen Elemente die lokalen Raum- und Zeitdifferenziale gemäß den Regeln zu bestimmen, die bei der Speziellen Relativität abgeleitet wurden. (Siehe die Formeln (21), (22) und (23) auf den Seiten 49 und 50.)

---

[88] Das zugehörige Vorstellungsbild muss natürlich 3-dimensional sein: Der im Kapitel 6 durchgeführte Aufbau der speziell-relativistischen Raum-Zeit-Struktur beruht auf der Annahme, dass die fundamentale Ebene des Universums aus 3-dimensionalen stehenden Wellen besteht (– deren Länge der Planck-Länge entspricht, worauf wir weiter unten zurückkommen).

Für den Fall, dass der metrische Fluss exakt auf den Massenmittelpunkt eines Systems hin gerichtet ist, stimmen die Ergebnisse dieser Gravitationstheorie vollständig mit denen der Allgemeinen Relativitätstheorie überein.

Offenbar ist diese Bedingung allerdings nur dann wirklich genau erfüllt, wenn das System nur aus einer einzigen nicht-rotierenden Masse besteht – also eigentlich niemals. In Sonnensystemen sowie im Gravitationsfeld von Planeten ist sie jedoch aufgrund der dominanten zentralen Masse mit so großer Näherung gültig, dass für fast alle gravitativen Phänomene eine hinreichende Übereinstimmung zwischen beiden Theorien herrscht. In Galaxien führen sie jedoch im Allgemeinen zu stark voneinander abweichenden Ergebnissen.

Auch die Innenraummetrik ist verschieden, sogar im Fall einer einzigen Masse, wo ja bezüglich der Außenraummetrik vollständige Identität besteht. (Diese Differenz lässt sich, wie in 4.7 auf den Seiten 55 und 56 gezeigt, für ein Experiment nützen, das auf der Erde durchführbar ist und zwischen beiden Theorien entscheiden kann.)

Wie ist nun der Zusammenhang zwischen Spezieller Relativität (SR) und metrisch-dynamischer Gravitation (MDG)?

Zunächst zur bildlichen Vorstellung: Die geraden Linien, entlang derer in meiner Version der SR die einander entgegengesetzten Wellen mit Lichtgeschwindigkeit laufen und stehende Wellen bilden, werden durch Einbeziehung der Gravitation *gekrümmt*, und die stehenden Wellen beginnen zu *fließen* – mit anderen Worten: die geraden Linien der SR werden zu den Flusslinien der MDG. (Zu den Wellen, die entlang dieser Linien laufen, kommen wir gleich anschließend.)

Die Veränderungen von Längen und Zeiten aufgrund relativer Bewegungen, die den Inhalt der SR bilden, sind die Basis der Berechnungen der Raum- und Zeitdifferenziale der MDG. Mittels diese Gesetzmäßigkeiten kann die durch Gravitation veränderte Metrik aus den Geschwindigkeiten der metrischen Elemente bestimmt werden.

Die von Einstein beim Übergang von der SR zur AR durchgeführte Verallgemeinerung berechtigter Koordinatensysteme – in der SR sind es kartesische, in der AR beliebige (4-dimensionale) Koordinatensysteme – gilt auch in der MDG, allerdings ändern sich in der MDG gegenüber der AR die Werte der Koordinaten-Differenziale, und außerdem sind nicht alle Koordinatensysteme zugelassen, sondern nur diejenigen, die aus den möglichen Geschwindigkeiten der metrischen Elemente hervorgehen (– was im Vergleich mit der AR eine massive Einschränkung möglicher Gravitationsszenarien bedeutet).

Nun zu den Wellen mit Lichtgeschwindigkeit, die in meiner Version der SR erforderlich sind, um Geschwindigkeiten zu erzeugen, die kleiner als c sind.

Für die Gravitation selbst spielen sie keine Rolle.[89] Sie *müssen* jedoch vorhanden sein, weil ja – wie oben beschrieben – die Flusslinien der Gravitation nichts anderes sind als die durch Gravitation verkrümmten und in Fluss geratenen Geraden des cartesischen Koordinatensystems der SR.

In der SR sind die Wellenlängen der mit c laufenden Wellen beliebig, von Bedeutung ist nur ihre Veränderung durch einen multiplikativen Faktor.

Es stellt sich nun aber Folgendes heraus (siehe Kapitel 9):

*Wenn man als Wellenlänge der entlang der Flusslinien laufenden Wellen mit Lichtgeschwindigkeit die Planck-Länge wählt, dann kann das quantenmechanische Atommodell mit einfachsten mathematischen Mitteln rekonstruiert werden.*

Es ist klar, dass damit die in der SR erforderliche, anfangs seltsam erscheinende Annahme von gegenlaufenden Wellen mit Lichtgeschwindigkeit eine Bestätigung erfährt, wie sie kaum stärker sein könnte. Auf diese Weise kommt ein Zusammenhang zwischen Spezieller Relativität, Gravitation und Quantentheorie in den Blick, der zuvor nicht sichtbar war.

Außerdem offenbart der auf Wellen beruhende Aufbau des quantenmechanischen Atommodells einen *konstruktiven* Zusammenhang zwischen den verschiedenen im Atom vorhandenen Wellenlängen, der eine alternative Sicht der Entwicklung des Universums – ohne Urknall und ohne dunkle Energie – plausibel erscheinen lässt, die in mancher Hinsicht dem Standardmodell vorzuziehen ist (siehe Kapitel 10).

Der letzte Grund für alle diese Zusammenhänge liegt aber in der Tatsache, dass Gravitation und Elektromagnetismus eine gemeinsame Basis haben: beide Wechselwirkungen entstammen der fundamentalen Gleichung (0), die die Erzeugung der Wirklichkeit beschreibt; Aus dieser Gleichung folgt, dass *alles, was existiert und was geschieht,* auf zwei Arten metrischer Veränderungen zurückgeht: auf Änderungen der Länge und auf Änderungen des Winkels.

Und daraus folgt wiederum die Existenz metrischer Wellen (siehe Kapitel 3) – eben genau der Wellen, die für den Aufbau der SR (Kapitel 6), die Erklärung der Quantentheorie (Kapitel 7) und

[89] Allerdings kann Gravitation – alternativ zur Darstellung durch den metrischen Fluss – auch auf Basis der Frequenzen dieser Wellen beschrieben werden. In diesem Buch bin ich darauf aber nicht eingegangen.

die Konstruktion materieller Strukturen (Kapitel 9) erforderlich sind, und das führt schließlich zwingend zur Vorstellung des Universums als einer Struktur, die sich in Form stehender Wellen in mehreren Größenordnungen selbst organisiert und deren Basis stehende Wellen von Planck-Länge bilden.[90]

---

Was mich zur obigen kurzen Zusammenfassung einiger Zusammenhänge meines Beschreibungssystems motiviert hat, gilt auch für das Verhältnis von metrisch-dynamischer Physik und Standardphysik: auch hier bin ich Einiges an Deutlichkeit schuldig geblieben. Deshalb soll nun eine (ebenso kurze) Skizze der Konfrontation der sogenannten "klassischen" Physik mit der Quantenmechanik sowie des daraus resultierenden gegenwärtigen Status der Physik folgen, wie er sich aus metrisch-dynamischer Sicht darstellt.

Ende des 19. Jahrhunderts schien die Physik ihrer Vollendung nahe. Die meisten der Szenarien, die die Physiker im Blick hatten, konnten zufriedenstellend beschrieben werden, und nur noch wenige galt es aufzuklären, wie etwa die Strahlung schwarzer Körper oder den lichtelektrischen Effekt.

Gerade das Gelingen der Darstellung dieser Szenarien führte aber dann zum Zusammenbruch der bis dahin geltenden Einteilung der Wirklichkeit in *kontinuierliche* und *diskontinuierliche* Phänomene, also in *Wellen* und *Teilchen*.

Auf diese Weise drangen Konzepte in die Physik ein, die in krassem Widerspruch zur bisherigen Sicht der Wirklichkeit standen: *Welle-Teilchen-Dualismus* und *Unschärfe*.

Der Umgang mit diesen Konzepten, der sich in der Standardphysik durchgesetzt und zur "Orthodoxie" verfestigt hat, ist wohlbekannt und kann mit wenigen Worten charakterisiert werden:

*Annahme einer fundamentalen Quantisierung der Wirklichkeit und einer "Doppelnatur" alles Existierenden, das je nach Situation als Welle oder Teilchen auftreten kann.*

---

[90] Um sich ein Bild von einer Wirklichkeit zu machen, die aus Wellen aufgebaut ist, sind stehende Wellen allein allerdings zu einfach. Dafür sind *chladnische Figuren* – oder ihre 3-dimensionalen, elektronisch erzeugten Analoga – besser geeignet. Sie lassen die phantastische Vielfalt und Komplexität erahnen, zu der sich metrische Selbstorganisation entfalten kann. (Z.B. besteht zwischen Elektron-Orbitalen und chladnischen Figuren eine enge Verwandtschaft.)

In Experimenten, bei denen ein Übergang zwischen diesen beiden Erscheinungsformen stattfindet – deren bekanntestes das Doppelspaltexperiment ist – blieb als einziger Ausweg der Rückzug auf eine Interpretation des Quadrats der Wellenamplitude als Wahrscheinlichkeit (im kontinuierlichen Fall Wahrscheinlichkeitsdichte) der beobachteten Ereignisse, oder, um es in voller Absurdität zu formulieren: auf die Interpretation der Amplitude als Wurzel aus der Ereigniswahrscheinlichkeit.

Was ist daran absurd?

Ganz einfach: nach dem Doppelspalt tritt *Interferenz* auf. Das bedeutet, dass sich hier zwei Phänomene gegenseitig *beeinflussen*. Und da es sich ja nicht bloß um Mathematik ***und nichts sonst*** handelt, sondern um Mathematik, ***die etwas beschreibt****, muss diesen beiden Phänomenen* ***Existenz*** *zuerkannt werden*, denn nur unter dieser Voraussetzung ist es möglich, dass sie sich gegenseitig beeinflussen.

Und unter dieser Voraussetzung ist es zweifellos absurd, die Wellenamplitude als Wurzel der Wahrscheinlichkeit aufzufassen und dies eine ***Interpretation*** zu nennen: Wurzeln aus Wahrscheinlichkeiten sind rein formale Größen, denen keinesfalls Existenz zugeschrieben werden kann. Also handelt es sich nicht um eine Interpretation, sondern vielmehr um den totalen ***Rückzug von Interpretation***, oder, um es abermals in voller Absurdität und leider auch Tragik offenzulegen: um den ***vollständigen und endgültigen Verlust der Wirklichkeit***.

Neben dieser orthodoxen "Interpretation" gibt es etliche weitere Versuche, das Geschehen aufzuklären. Ich halte es allerdings für überflüssig, sie vorzustellen, da kein einziger dieser Versuche Antworten auf die entscheidenden Fragen liefert, die lauten:

1. ***Warum***, 2. ***Auf welche Weise***, 3. ***Wann genau***

findet der Übergang von der Welle zum Teilchen statt? Und außerdem:

4. ***Wie kann eine Welle, die ihre Existenz durch Interferenz <u>bewiesen</u> hat, nach dem Erscheinen des Teilchens verschwinden, gleichgültig, wie ausgedehnt sie auch war?***

Und was eigentlich noch schlimmer ist als das Fehlen der Antworten ist der Umstand, dass den Schöpfern und Verfechtern der jeweiligen Variante dieses Fehlen gar nicht auffällt. Man muss daraus schließen, dass sie tatsächlich die Beziehung zur Wirklichkeit völlig verloren haben und dass ihnen – als Folge dieses Verlusts – *jede* Erklärungskompetenz abhanden gekommen ist.

Eine Wissenschaft, die keine Erklärungen mehr anstrebt und der dieser fundamentale Mangel überdies gar nicht bewusst ist, bietet für Erkenntnissuchende wenig Anreiz. Damit ist auch die

Wandlung der (theoretischen) Physik vorgezeichnet: von einer Disziplin, die ohne den Zusammenhang mit philosophischen Fragen kaum denkbar war, hin zu einer mathematischen Artistik, für die die Wirklichkeit nurmehr eine ganz untergeordnete oder sogar störende Rolle spielt.

Die unausweichliche Folge dieser fatalen Entwicklung ist das nahezu vollständige Scheitern der Versuche, die theoretischen Grundlagen der Physik weiter zu entwickeln – jedenfalls wenn man sie an physikalisch verwertbaren Resultaten misst. Durch Verlust der Interpretation und damit zugleich der Wirklichkeit wird die Physik führungslos und endet in erkenntnistheoretischen Sackgassen, mit anderen Worten: sie findet nie mehr zur Wirklichkeit zurück.

Nun zu meiner Interpretation. Was geschieht *wirklich* bei quantenmechanischen Messprozessen?

Zunächst ein kleines Vorspiel:

Ich gehe von der Annahme aus: *Es gibt nur Wellen.*

Jeder, der mit der Interpretationsgeschichte der Reduktion der Wellenfunktion auch nur ein wenig vertraut ist, wird nun sofort einwenden: "Was für ein Unsinn. Schon Schrödinger hat versucht, nur mit Wellen auszukommen, und schon damals hat das nicht funktioniert!"

Ja, das ist richtig. Aber die Gründe für Schrödingers Scheitern sind auf geradezu ideale Weise als Einleitung zu meiner Erklärung geeignet. Folgendermaßen:

Schrödingers Versuch, die Vorgänge in quantenmechanischen Szenarien ausschließlich durch Wellen zu erklären, misslingt zweifach:

*Erstens* gelingt es ihm nicht, Wellengruppen zu konstruieren, die eng lokalisiert bleiben – was er aber für unbedingt erforderlich hält, um *Teilchen* zu modellieren, und *zweitens* scheitert er an der Beschreibung des lichtelektrischen Effekts.

Das ist deshalb so aufschlussreich, weil in beiden Fällen der Grund seines Scheiterns ist, dass eine notwendige Voraussetzung für eine Beschreibung durch Wellen nicht erfüllt war:

Im ersten Fall ist der Grund, dass es Schrödinger nicht gelungen ist, sich ausreichend von der Teilchenvorstellung zu lösen, im zweiten Fall ist der Grund, dass er versucht hat, den Photoeffekt *mit den Formalismen der klassischen Physik* darzustellen, und das ist tatsächlich unmöglich (– außer man nimmt eine dualistische Position ein, wie es Einstein getan hat, und das ist dann der erste Schritt in den oben erwähnten Abstieg der theoretischen Physik).

Das metrisch-dynamische Verständnis der Wirklichkeit offenbart die Hintergründe für diesen Sachverhalt. Hier eine kurze Übersicht (ich verzichte auf Verweise – im Grunde handelt das ganze Buch davon):

Die zentrale Hypothese lautet wie folgt:

So erfolgreich die klassische Physik mit all ihren Begriffsbildungen und mathematischen Methoden auch ist – *sie verfehlt doch auf ganz grundlegende Weise das, was die Wirklichkeit eigentlich ist.*

Was sich seit Galileis rollenden Kugeln, schwingenden Pendeln und fallenden Steinen im Zusammenspiel von Experiment und Theorie entwickelt hat, ist zwar hervorragend geeignet, die in der uns umgebenden Welt mittlerer Größenordnung erfahrbaren Tatsachen zu beschreiben, aber *die Gesamtheit dieser Erfahrungen* ***verfehlt die kausale Struktur der Wirklichkeit****:*

Erfahrung entstammt ausschließlich der Beobachtung von Einzelfällen, und am Einzelfall ist der Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung *unauffindbar* – das Allgemeine, das Gesetz*,* das wir im Einzelfall zu erkennen glauben und an dessen Existenz wir nicht zweifeln, ***kann nicht im Bereich der Erfahrung gefunden werden***. (Siehe dazu Kapitel 11)

Dasjenige, von dem die Gesetzmäßigkeit der Wirklichkeit stammt, mit anderen Worten: das, was die Wirklichkeit *eigentlich ist*, muss also von anderer Art sein.

Um es zeitgemäß auszudrücken:

*Der Bereich alltäglicher Erfahrung ist bloß die Benutzeroberfläche der Wirklichkeit.*

Aus dieser Sicht ist die Begegnung von klassischer Physik und Quantenmechanik so zu verstehen:

Als es der Physik infolge der Verbesserung der Beobachtungsmittel gelungen war, in immer kleinere Bereiche der Natur vorzudringen, geriet allmählich die *fundamentale Ebene der Wirklichkeit* – eben genau das, was die Wirklichkeit *eigentlich* ist – in den Blick der Physiker. Offensichtlich war es *eine Welt aus Wellen*. Es gab aber zwei Probleme: Das erste war die Frage, *was* da eigentlich schwingt (siehe oben), und das zweite war die Frage, welche Beziehung zwischen diesem neu entdeckten Bereich der Wirklichkeit und der bisherigen (klassischen) Physik besteht.

An der Beantwortung dieser zwei Fragen sind die Physiker vollkommen gescheitert. Die Interpretation der Amplitude haben wir ja oben kritisiert, und die Verbindung zwischen der alten klassischen und der neuen quantenmechanischen Wirklichkeit ist kaum mehr als ein bloßes Nebeneinander mit einer unscharfen Grenze.

Die metrisch-dynamischen Antworten sind wie folgt:

1. Das, was schwingt, ist ***der Raum selbst*** – auf zwei Arten: in der *metrischen Dichte der Länge* (was zur Gravitation führt) und in der *metrischen Dichte des Winkels* (was zu Elektromagnetismus und Atomstruktur führt).

2. *Der neu entdeckte Bereich der Wirklichkeit offenbart, was die Wirklichkeit eigentlich ist:*

***Eine rein metrische Welt***.

Das bedeutet:

Um physikalische Prozesse, bei denen quantenmechanische Phänomene eine Rolle spielen, nicht nur beschreiben, sondern auch ***verstehen*** zu können, ***muss zunächst völlig auf die bekannte (klassische) Physik verzichtet werden***.

Im Grunde bedeutet es sogar, dass die ganze Physik auf metrischer Basis neu aufgebaut werden muss – genau so, wie ich es in diesem Buch beim Photoeffekt, beim Compton-Effekt und dann auch in der Neubegründung der speziellen Relativität sowie bei meiner Theorie der Gravitation durchgeführt und für den Elektromagnetismus und den Atomaufbau zumindest vorbereitet habe.

Erst *nach* diesem Neuaufbau werden dann die bekannten, in Standardsituationen so erfolgreichen Theorien benötigt, und es gibt dann zwei Möglichkeiten: entweder sind die alten und neuen Theorien identisch und unterscheiden sich nur hinsichtlich ihrer Begründung und Ableitung – wie das etwa bei der speziellen Relativitätstheorie der Fall ist, oder die alten Theorien stellen sich als Näherungen der neuen heraus – wie im Fall der Gravitation.

Nach diesen allgemeinen Betrachtungen wollen wir uns jetzt zwei der oben erwähnten Szenarien zuwenden, dem Photoeffekt und dem Doppelspaltexperiment.

Bei der Darstellung des Photoeffekts (und ebenso beim Compton-Effekt) habe ich tatsächlich *überhaupt keine Physik* gebraucht (außer ganz am Ende), sondern mich einfach auf das gestützt, was Wellen tun: *sie überlagern sich.* Was mit den Mitteln der klassischen Physik unmöglich ist – sodass Schrödinger scheitern musste – stellt sich auf diese Weise fast von selbst ein: *das gewünschte Ergebnis*, also genau jenes Ergebnis, das Einstein nur durch die Annahme erreichte, dass Licht aus Teilchen (Energiequanten) besteht.

Abschließend in ein paar Worten die Erklärung, was beim Doppelspaltexperiment geschieht:[91]

[91] Der Hauptteil der Erklärung findet sich im Abschnitt 7.1. Wichtige Ergänzungen folgen aber erst im Abschnitt 9.11. Erst dort stehen die Mittel zur Verfügung, durch die auch Spin und Drehimpuls in die Vorstellung stehender Elektronenwellen integriert werden können.

Aus einer Elektronenhülle (d.h. *aus einer **stehenden** Welle der metrischen Winkeldichte*) löst sich ein Elektron (*eine **laufende** Welle der metrischen Winkeldichte*) und durchquert einen Doppelspalt. Die Welle interferiert mit sich selbst und trifft dann auf eine Detektorplatte (*eine ungeheure Anzahl von stehenden Wellen derselben Art*) und löst dort bei einer dieser stehenden Wellen, die *nahe genug* am Übergang zum nächsthöheren Zustand ist (*dem Zustand mit einer Knotenfläche mehr*), genau diesen Übergang aus, indem sie sich mit der lokalen Welle vereinigt. Dieser Übergang erscheint *sprunghaft* (*wie das bei stehenden Wellen **immer** der Fall ist*) und wird als Erscheinen eines Elektrons aufgefasst. Der Rest der laufenden Welle ***verschwindet natürlich nicht**,* sondern trifft auf andere stehende Wellen, wo er jedoch keinen Übergang auslöst und nur die Wahrscheinlichkeit künftiger Übergänge erhöht, indem er den Zustand der stehenden Welle näher an diesen Übergang bringt.

Hier ist deutlich zu sehen, warum Schrödinger scheitern musste: es ist nicht möglich – und tatsächlich auch ganz überflüssig, eine "Lokalisierung" der laufenden Elektronenwelle zu fordern – der Übergang vom "Teilchen" zur Welle ist einfach der Übergang von (einem Teilbereich) der stehenden Welle zu einer laufenden Welle. Wenn das Elektron eine laufende Welle ist, die beliebig ausgedehnt sein kann, verliert der Begriff "Teilchen" seinen Sinn.

So, wie ich das auch schon im Kapitel Schluss getan habe, will ich aber zuletzt auch hier den Sachverhalt hervorheben, der *das eigentliche, das **nicht zu beseitigende Hindernis** darstellt, das es allen anderen Interpretationen des quantenmechanischen Messprozesses unmöglich macht, zu erklären, was geschieht:*

***Das Objekt, das detektiert wird – das Elektron-Teilchen – ist nicht identisch mit der Elektron-Welle, die nach dem Doppelspalt auf die Detektorplatte trifft.***

Gemäß meiner Erklärung trifft ja nur *ein winziger Teil der laufenden Welle* auf die stehende Welle, wo er sich mit dieser vereinigt und dadurch einen Übergang auslöst, während der Rest der Welle weiterläuft und auf andere stehende Wellen trifft.

***Alle anderen Interpretationen versuchen aber, den Übergang von der Welle zum Teilchen als Übergang zwischen zwei Zuständen desselben Objekts zu beschreiben, und das bedeutet: sie versuchen, einen Prozess zu beschreiben, den es als solchen überhaupt nicht gibt und müssen daher ausnahmslos in grobem Unfug enden.***

---

Was als Versuch begann, Antworten auf einzelne physikalische Fragen zu finden, hat sich zu einer neuen Physik entwickelt, die sich nicht nur in Bezug auf die Theorien selbst von der aktuellen Physik unterscheidet, sondern auch hinsichtlich der zugehörigen Begründungen und Erklärungen, und schließlich sogar ganz allgemein in der Art des Zugangs zur Wirklichkeit: Ausgangspunkt der Beschreibung der Natur ist nicht mehr die Quantifizierung und Verallgemeinerung beobachtbarer Sachverhalte, sondern die gedankliche Erforschung der Voraussetzungen von Existenz. Sie führt zur Erkenntnis, dass die Metrik der Raumzeit die einzig mögliche Grundlage der Beschreibung und Erklärung der Wirklichkeit ist. Nur unter dieser Voraussetzung ist Kausalität und damit die Existenz von Naturgesetzen begründbar, und nur auf diese Weise bleibt die Einheit der Natur in der Beschreibung erhalten.

Ich habe mich gelegentlich selbst gefragt, wie das geschehen konnte, da es doch nicht im Geringsten meiner ursprünglichen Zielsetzung entspricht. Rückblickend erscheint mir die Antwort allerdings einfach: Jede einzelne meiner Erklärungen physikalischer Fragen führt aus dem Bereich der üblichen Interpretationen und zugehörigen Begriffsbildungen hinaus. Zunächst erscheinen diese verschiedenen Erklärungen getrennt, jede für sich, aber im Lauf der Zeit wurde immer deutlicher, dass sie sich zu einem neuen, einheitlichen Beschreibungssystem zusammenfügen, das auf einer rein metrischen Basis errichtet ist.

Die Distanz zur gegenwärtigen Physik ist so groß, dass Kommunikation schwierig, wenn nicht sogar unmöglich sein dürfte. Solange ich mit meiner Sache beschäftigt war, habe ich kaum darauf geachtet, was sich in der Standardphysik ereignet. Als ich aber dann – zum Ende meines Projekts hin – allmählich wieder den Blick auf die wissenschaftlich-philosophische Landschaft richtete, da schien es mir, als gäbe es bloß mehr – *viel* mehr – desselben. Wieder und immer wieder geht es um "Abweichungen, die auf eine neue Physik jenseits des Standardmodells der Teilchenphysik hinweisen", oder um "Beobachtungen, die Korrekturen des kosmologischen Standardmodells nahezulegen scheinen".

Da ist die Rede von "neuen Teilchen" und "Kräften", oder von "anderen Universen" und "zusätzlichen Dimensionen", aber niemals kommt irgendetwas wirklich Neues in den Blick; Niemand kommt auf die Idee, dass an diesen "Standardmodellen" und deren Weiterentwicklung vielleicht grundsätzlich etwas verkehrt sein könnte: dass das Standardmodell der Teilchenphysik zwar eine *Einteilung* des Existierenden liefert, aber offenbar zu den Fragen seiner *Entstehung* und der Größe der vielen freien Parameter nichts beitragen kann, und dass daher der ganze gruppentheoretische Zugang eine Sackgasse ist, die nirgends mehr hinführt, eine Zwangsjacke, die das Denken einschränkt und die Kreativität erwürgt, oder dass das kosmologische Standardmodell

einfach falsch ist und sich *deshalb* in zweifelhaften Hypothesen vom "Multiversum", von "Dunkler Energie", "Dunkler Materie" usw. verirrt.

Wie lange kann ein solcher Zustand andauern? Ich habe keine Ahnung. Es sind nun schon etliche Jahrzehnte vergangen, ohne dass die avancierten Theorien der Physik irgendetwas Überprüfbares zur Beschreibung der Wirklichkeit beigetragen haben. Dennoch scheinen die meisten Physiker davon überzeugt zu sein, dass sie sich "auf dem richtigen Weg befinden", zu dem es "gar keine Alternative" gebe (*"The only game in town"*).

Ich zweifle sogar daran, dass innerhalb ein- und derselben Kultur eine derart massive Umstellung und Erneuerung vollzogen werden könnte, wie ich sie hier vorschlage. Ich selbst empfinde den Übergang von den gängigen Überzeugungen und Denkgewohnheiten auf mein Beschreibungssystem jedenfalls als dramatischen Wechsel von einer Kultur in eine andere, und das gilt nicht nur für den physikalischen, sondern sogar noch mehr für den philosophischen Teil meiner Ausführungen. Was gegenwärtig etwa zu den Fragen der Willensfreiheit oder des Roboterbewusstseins gesagt wird, halte ich für völlig unzulänglich, und das ist ein grundsätzliches Versagen: ein Scheitern bei der Bestimmung des Wesens des Menschen, bei der Antwort auf die Frage: *Was ist der Mensch?*, die die Basis jeder Kultur bildet.

Dennoch: Jetzt, nach dem Abschluss dieses Buchs, habe ich den Wunsch, zu erfahren, ob und in welchem Ausmaß ich recht habe, und die Möglichkeit, darüber allein zu entscheiden, ist leider doch begrenzt. Im Lauf der Zeit bewegt man sich immer mehr in den eigenen Begründungszusammenhängen, und trotz intensiven Bemühens ist es eindeutig schwieriger, Argumente zu suchen, die gegen die eigene Position sprechen, als solche, die sie stützen.

Der geeignete Einstieg in diese Überprüfung wäre natürlich die Ausführung des Gravitationsexperiments (siehe die Seiten 55 und 56), dessen Ausgang zwischen der Allgemeinen Relativitätstheorie und meiner Theorie der Gravitation entscheiden würde. Ich hoffe, es gelingt mir, eines der (wenigen) Teams, die über die notwendige technische Ausrüstung und Erfahrung verfügen, dafür zu motivieren.

Heinz Heinzmann

Wien, März 2023