

V OPERATIVE SCHLIESSUNG VON THEORIE: DAS BEISPIEL DER STRINGTHEORIE

»Natürlich bin ich nicht so vermessen, die hohe Mathematik dieser Theorien verstehen zu wollen, aber ich stimme normalerweise mit Feynmans Bemerkung überein, dass man einen Beweis ohnehin erst glauben soll, wenn man ihn anschaulich nachvollziehen kann, oder gar mit Wheelers Rat, wonach man als Physiker erst dann mit dem »Rechnen« beginnen solle, wenn man das Ergebnis geraten (also verstanden) hat. [...]

Aber leider, so muss man lesen, entspricht der M-Theorie bisher kein (verstehbares) »fundamentales Prinzip«, was Witten als ein »großes Rätsel« bezeichnet. Trotzdem soll sie eine »theory of everything« sein (noch mehr Rätsel!). Aber es gibt »absolutely no tie to experiment«. Und dabei habe ich bisher immer gedacht, Physik sei eine empirische Wissenschaft. Dennoch führt diese Theorie zu »new physical (!) insights and beautiful things« (wie das?). [...] WAS genau kann man aus der M-Theorie ableiten (und was ist die nun eigentlich)? Haben die Mathematiker, welche diese Theorie vornehmlich betreiben, jemals die enormen begrifflichen Probleme der QuantenMECHANIK verstanden und verinnerlicht? Nehmen sie die bedeutenden Experimente, die derzeit von Niederenergiephysikern (vor allem auf dem Gebiet der Laserphysik) durchgeführt werden, überhaupt zur Kenntnis? Quantenmechanik *ist* eine empirische Theorie (sonst wäre niemand auf so etwas Abwegiges gekommen). Aber offenbar könnten die Resultate der vorliegenden Experimente die Erkenntnisse des reinen Geistes nur stören! Und leider scheint der reine Geist sich mangels begrifflicher Phantasie eher klassisch zu bewegen. [...]

[Wissen die] etwas von Quantennichtlokalität und Zustandsverschränkung, die eine solche Trennung in der Quantentheorie gar nicht erlauben? Einen Quantenzustand kann man nicht durch räumliche Randbedingungen festlegen. [...]

Lassen Sie sich den letzten Absatz von Taubes auf der Zunge zergehen: »String theorists have no idea where that progress (!) is

leading them.« According to Harwey, they ›still have to figure out what the hell it all has to do with reality«. Diese Frage lässt immerhin die mögliche Antwort ›gar nichts‹ zu. Nur – woher wissen dann die Herren eigentlich, dass sie Physik betreiben? Vorerst sollte man ihre Beschäftigung als das bezeichnen, was sie bisher ist: ein sehr interessantes Gebiet der Mathematik (unter Benutzung von Begriffen, die vage der Physik entlehnt sind).

Besten Gruss H. Dieter Zeh¹

Das folgende Kapitel fällt auf den ersten Blick etwas aus der Reihe der mit diesem Buch angestrebten Rekonstruktion, denn der primäre Gegenstand der Stringtheorie ist nicht die Frage nach der angemessenen Deutung oder Interpretation der Quantentheorie. Vielmehr bildet die Stringtheorie den derzeit am meisten verbreiteten Ansatz einer physikalischen Universaltheorie, mit der versucht wird, Quantentheorie und Relativitätstheorie sowie Teilchenphysik und Kosmologie in produktiver Weise zu vereinen. Sie ist ursprünglich aus der Teilchen- und Hochenergiephysik entstanden, hat sich dann allerdings innerhalb der theoretischen Physik als eine eigenständige Theorieform entfaltet.

Gerade dieser Punkt ist für unsere Diskussion von hohem Interesse, denn am Beispiel der Stringtheorie kann nochmals aufgezeigt werden, wie sich eine Theorie im Zuge der Ausdifferenzierung der theoretischen Physik in ihren zentralen Konzepten und Anschauungen operational schließt, um auf diesem Wege ein konsistentes System zu bilden, an das weitere Theoriearbeit angeschlossen werden kann.

Was sich am Beispiel einiger quantentheoretischer Theorieprojekte bereits angedeutet hat – man denke hier etwa an Feynmans Quantenelektrodynamik – wird mit der Stringtheorie auf die Spitze getrieben. Ein Zweig der theoretischen Physik richtet sich hier in einem selbst gesponnenen Theoriegewebe ein, das auf konzeptionellen Anschauungen beruht, die jedoch kaum noch durch einen Weltbezug – die Referenz auf empirisch beobachtbare Sachverhalte und deren Beziehungen – gedeckt sind, sondern überwiegend auf theoriegetriebenen Anschauungen beruhen, die innertheoretische Suchbewegungen anleiten. Da die Stringtheorie darüber hinaus bislang in einem eher geringen Ausmaße empirische Anschlussmöglichkeiten eröffnet, steht sie *pars pro toto* für die Folgeprobleme der Gesamtdisziplin Physik, die sich mittlerweile in solch extreme theoretische Höhen- und Spitzenprojekte ausdifferenziert hat.

1 Zeh (1999).

Die Stringtheorie, wenngleich institutionell hochgradig erfolgreich, ist unter Physikern nicht nur als Theorieansatz recht umstritten, sondern man wirft ihr oftmals vor, im strengen Sinne keine physikalische Wissenschaft mehr darzustellen. Dieser Konflikt steht damit paradigmatisch für die Frage, wie Theoriearbeit unter den gegenwärtigen Reflexionsverhältnissen vonstattengeht und was dies für das Selbstverständnis der zeitgenössischen Physik bedeutet.

All dies lässt den Exkurs zur Stringtheorie und der Dynamik der mit ihr verbundenen innerphysikalischen Auseinandersetzungen lohnenswert erscheinen, denn hier können die gegenwärtigen Verhältnisse von physikalisch-konzeptioneller Anschauung, Mathematik und Experimentalphysik nochmals pointiert herausgearbeitet werden.

Beschreiben wir zunächst mit Brian Greene die Ursprünge der Stringtheorie, um dann ihre moderne Konzeption in den Grundzügen darzustellen.² Anschließend werden wir uns ausführlicher mit der innerphysikalischen Auseinandersetzung um die Stringtheorie beschäftigen, um abschließend auf dieser Grundlage die derzeitigen Bedingungen physikalischer Theoriebildung ausführlicher zu reflektieren.

Geschichte der Stringtheorie

Der Mathematiker Gabriele Veneziano entdeckte 1968 eine Formel, mit der sich Datenmuster aus Messergebnissen zur starken Kernkraft beschreiben lassen. Er hatte jedoch keine Vorstellung darüber, was die mathematische Beschreibung physikalisch oder sonst wie anschaulich bedeuten könnte.

Leonard Susskind, Holger Nielsen und Yoichiro Nambu entwickelten daraufhin die Idee, dass die mathematischen Eigenschaften durch kleine elastische Stränge, die gleichsam Fäden von Energie darstellen, erklärt werden können. Der Formalismus bekommt hierdurch eine gewisse Anschaulichkeit, an der jetzt auch physikalisch konzeptionelle Überlegungen ansetzen können. Die Grundidee der Stringtheorie war hiermit geboren. Später zeigte sich jedoch, dass sich die Wechselwirkungen der Kernkräfte mit diesem Modell nicht erklären lassen.

Wenngleich sich der String-Ansatz für die empirische Fragestellung, für die er entwickelt wurde, unfruchtbar erwies, begannen einige wenige Wissenschaftler aus der theoretischen Physik die mathematischen Möglichkeiten des String-Modells auszuloten. Mit der sogenannten Superstringtheorie gelang es ihnen schließlich, einen Ansatz zu entwickeln, mit dem die unterschiedlichen Elementarteil-

2 Greene (2006; 2008).

chen sozusagen als sich selbst konstituierende Schwingungsfäden beschrieben werden können.³ Die Stringtheorie beginnt dabei mit einer klassischen Modellierung der Welt. Die Fäden werden zunächst als klassische Objekte konstruiert, um dann bei Bedarf zusätzlich noch eine Quantisierung einzuführen:

»Der mathematische Formalismus, der der Stringtheorie zugrunde liegt, beginnt mit Gleichungen, die die Bewegung eines winzigen, unendlich dünnen *klassischen* Fadens beschreiben – Gleichungen, die weitgehend schon vor dreihundert Jahren von Newton hätten aufgeschrieben werden können. Diese Gleichungen werden dann *quantisiert*. Das heißt, durch ein systematisches Verfahren, das die Physiker im Laufe von mehr als fünfzig Jahren entwickelt haben, werden die klassischen Gleichungen in eine quantenmechanische Form gebracht, so daß Wahrscheinlichkeiten, Unschärfe, Quantenfluktuationen und so fort Eingang finden. [...] Allem Anschein nach muß die vollständige Formulierung der String/M-Theorie mit der traditionellen Vorgehensweise brechen und von Anfang an eindeutig quantenmechanischen Charakter haben. Gegenwärtig weiß niemand, wie das geschehen soll.«⁴

Innerhalb der Stringtheorie erscheinen die verschiedenen Elementarteilchen durch ineinander überführbare Symmetrieprinzipien miteinander verbunden. Auf diese Weise kommt man in der theoretischen Modellierung zu Teilchen, die auf einem Photon basieren, aber einen doppelt so großen Spin aufweisen. Empirisch sind solche Teilchen bislang nicht entdeckt worden, aber theoretisch ist die Idee verlockend, dass es sich hier um ein sogenanntes Graviton handeln könnte. Dieses würde dann, homolog zu den anderen bekannten Teilchen, welche die Feldwechselwirkung moderieren, die Gravitationskraft vermitteln. Die Stringtheorie bietet hiermit eine Möglichkeit,

3 »Die Superstring-Theorie geht auf eine Idee zurück, die man das ›Bootstrap-Prinzip (*bootstrap*, ›Stiefelschlaufe‹) nennt, in Anlehnung an die alte englische Redewendung *to put oneself up by one's own bootstraps*, was so viel bedeutet wie ›es aus eigener Kraft zu etwas bringen‹, oder ›sich am eigenen Schopf aus dem Sumpf ziehen‹. Dem lag die Annahme zugrunde, man könne eine bestimmte Klasse von Elementarteilchen so behandeln, als seien sie in selbstkonsistenter Weise aus Kombinationen ihrer selbst zusammengesetzt. Sämtliche Teilchen fungierten demnach sowohl als Konstituenten wie auch (sogar, in gewisser Weise die Fermionen) als Quanten der Kraftfelder, die die Konstituenten zusammenhalten. Außerdem sollen sie als Bindungszustände der Konstituenten auftreten« (Gell-Mann 1994, 195).

4 Greene (2006, 440 f.).

das bislang nicht befriedigend gelöste Problem der Verbindung von Quantentheorie mit der allgemeinen Relativitätstheorie, welche die Schwerkraft beschreibt, anzugehen.⁵

Man hatte jetzt also ein wichtiges physikalisches Problem gefunden, auf das der mathematische Formalismus der Stringtheorie zu passen scheint. 1984 gelang die mathematisch widerspruchsfreie Formulierung der Stringtheorie. Von nun an rückte die Stringtheorie praktisch über Nacht ins Zentrum der Aufmerksamkeit der theoretischen Physik.

Schwingende Fäden anstelle von Teilchenpunkten

Worauf beruht die Grundkonzeption der Stringtheorie? Ihre Grundidee besteht darin, sich Teilchen nicht mehr punktförmig, sondern als einen in der Länge ausgedehnten schwingenden Energiefaden vorzustellen. »Laut der Stringtheorie haben diese Saiten aus schwingender Energie keine Dicke, sondern nur eine Länge und sind daher eindimensionale Gebilde.«⁶ Da Strings in verschiedenen Modi und Frequenzen schwingen können, lässt sich jetzt die Teilchenwelt von einem Grundbaustein, dem String, her beschreiben, aus dem sich durch unterschiedliche Schwingungsmuster das ganze Spektrum der Teilchenwelt aufgrund von Symmetrieüberlegungen generieren lässt. So schwingen schwere Teilchen rascher, während einem masselosen Teilchen wie dem Photon oder dem postulierten Graviton sehr sanfte und leichte Schwingungsmuster zugeordnet werden. Weitere Teilcheneigenschaften, wie die elektrische Ladung oder der Spin, werden durch kompliziertere Merkmale der Stringschwingung abgebildet. Wohlgemerkt: Niemand hat derzeit einen String gesehen und jenseits der mathematischen Konsistenz der Stringtheorie gibt es für eindimensional ausgedehnte Fadenteilchen keine Hinweise für deren Existenz.

Die Stringtheorie umschifft gewissermaßen die Probleme, welche sich bei der Verbindung von Quantentheorie und Gravitationstheorie

5 »Statt die Stringtheorie als quantenmechanische Theorie der starken Kernkraft zu betrachten, erklärten sie, die Theorie sei zwar als ein Versuch zum Verständnis dieser Kraft entwickelt worden, bedeute in Wirklichkeit aber die Lösung eines anderen Problems: Es handle sich um die erste quantenmechanische Theorie der Gravitationskraft. Das masselose Spin-zwei-Teilchen, das von der Stringtheorie vorhersagt werde, sei das Graviton, daher erhielten die Gleichungen der Stringtheorie zwangsläufig eine quantenmechanische Beschreibung der Gravitation« (Greene 2008, 382 ff.).

6 Greene (2008, 389).

ergeben. Wir erinnern uns: In Größenordnungen der Planck-Länge treten hochgradig bizarre Quantenphänomene auf, in denen Zeit, Raum und Kausalität durcheinandergeraten. Eine Quantifizierung der Raumzeit hätte damit Konsequenzen, die weder durch die Relativitätstheorie noch durch irgendeine empirische Beobachtung gedeckt sind. Da aber jetzt die Stringtheorie annimmt, dass die Strings eine Größe haben, die deutlich über der Planck-Länge liegt, würden also in Bezug auf die Gravitation die störenden Quantenprozesse gar nicht erst auftreten können. Das Problem der Vereinigung dieser nicht zu vereinbarenden theoretischen Ansätze wird durch das Postulat der Strings sozusagen wegdefiniert.

Das mathematische System der Superstringtheorie bringt allerdings die Eigenart mit sich, dass mindestens neun Raumdimensionen angenommen werden müssen, damit die Theorie konsistent formuliert werden kann:⁷

»Das ist ein Ergebnis von grundsätzlich anderer Art, eines, das es in der Geschichte der Physik noch nicht gegeben hat. Vor den Strings hat noch nie eine Theorie irgendeine Aussage über die Anzahl der räumlichen Dimensionen im Universum getroffen.«⁸

»[M]ehr Dimensionen bedeuten mehr mögliche Schwingungsmuster [...]. [W]enn ein String in einer vierten räumlichen Dimension schwingen kann, ist er in der Lage, mehr Schwingungsmuster auszuführen, als er es in dreien könnte [...]. [D]ie Zahl der unabhängigen Schwingungsmuster (muss) eine ganze bestimmte Bedingung [erfüllen]. Wird die Bedingung verletzt, verlieren die mathematischen Grundlagen der Stringtheorie ihre Gültigkeit, und die Gleichungen werden sinnlos. In einem Universum mit drei Raumdimensionen ist die Zahl der möglichen Schwingungsmuster so klein, dass die Bedingung nicht erfüllt wird. Auch fünf, sechs, sieben oder acht Dimensionen ändern nichts an diesem Umstand. Erst bei neun Raumdimensionen ist die Bedingung hinsichtlich der Zahl von Schwingungsmustern vollkommen erfüllt. Das ist die Art und Weise, wie die Stringtheorie die Zahl der Raumdimensionen bestimmt.«⁹

7 »Die Gleichungen der Superstringtheorie sind mathematisch nur schlüssig, wenn das Universum *neun* Dimensionen des Raums oder, unter Einbeziehung der Zeitdimension, *zehn* Raumzeitdimensionen besitzt« (Greene 2008, 404 f.).

8 Greene (2008, 413).

9 Ebd., 416 f.

Um im Sinne unseres bisherigen Duktus wieder das Verhältnis von Mathematik und konzeptioneller Anschauung sowie zu den Befunden aus der Experimentalphysik aufzuzeigen: Wir treffen hier auf ein mathematisches Modell, das auf der Konzeption eines schwingenden Urfadens beruht, für den es bislang keine empirische Evidenz gibt, das jedoch unter der Annahme einer zehndimensionalen Raumzeitmathematisch konsistent formuliert werden kann. Während die Quantentheorie mit einem empirischen Problem begann, für das sich eine mathematische Lösung fand, für die es noch keine physikalisch-konzeptionelle Anschauung gab, beginnt die Stringtheorie mit einer konzeptionellen Idee (die Welt besteht aus schwingenden Saiten), die sich mathematisch durchführen lässt (neundimensionale Schwingungsräume) und für die sich dann Problemfelder finden lassen, die durch das Modell vermeintlich gelöst werden (das Problem der Quantisierung der Schwerkraft).

Hiermit deutet sich eine neue Qualität innerhalb der physikalischen Theoriebildung an, denn eine solche Theoriebildung findet ihren Ausgangspunkt kaum noch in empirischen Problemlagen. Vielmehr stehen jetzt vermehrt die Form- und Strukturmöglichkeiten hoch abstrakter mathematischer Modelle im Vordergrund, deren mögliche Verbindungen zur theoretischen Physik jetzt systematisch ausgelotet werden.



Abb. 20: Auf einer Fläche angeheftete Extradimension¹⁰

Was lässt sich aber nun mit den hinzugewonnen Raumdimensionen theoretisch anfangen? Welche Eigenschaften zeigen sie? Da die zusätzlichen Raumdimensionen bislang empirisch nicht nachweisbar sind, müssen sie in sich auf engem Raum aufgewickelt sein. Man kann sich das jetzt etwa so vorstellen, dass an einer der uns aus dem Alltag bekannten drei Raumdimensionen zusätzliche Dimensionen angeheftet sind, die dann aber so stark gekrümmt sein müssen, dass sie sich im Verhältnis zu unseren vertrauten Größenordnungen in sehr kleinen Ringen abschließen.¹¹ Mit den derzeitigen Möglich-

¹⁰ Bildquelle: http://www.speed-light.info/speed_of_light/extra_dimension.jpg (download 11.7.2011).

¹¹ »Nach dem Kaluzu-Klein-Ansatz ist auf sehr kleinen Skalen an jedem Punkt des uns vertrauten Raums eine kreisförmige Extradimension geheftet« (Greene 2008, 411).

keiten der Experimentalphysik lassen sich Verhältnisse bis in einen Bereich von etwa einem Hundertstel Mikrometer untersuchen. Die verborgenen Dimensionen müssten also aus empirischen Gründen unterhalb der Nachweisgrenze eingefaltet sein, denn man hat sie bislang noch nicht beobachtet.

Die Gleichungen der Stringtheorie legen Rahmenbedingungen fest, die Aussagen darüber erlauben, in welchen topologischen Formen die Zusatzdimensionen auftreten. Als eine Lösung haben sich die so genannten Calabi-Yau-Räume gezeigt. Dabei ergibt sich für die Stringtheorie jedoch das Problem, dass diese Räume nicht eindeutig definiert sind. Es ist eine riesige Zahl von Lösungen denkbar, die mit diesen Modellen vereinbar sind.¹² Die Stringtheorie führt derzeit also keineswegs zu einer schlüssigen Weltformel. Sie stellt eher eine mathematische Metatheorie dar, die Gruppen von Modellen beschreibt, die prinzipiell im Einklang mit den derzeitigen physikalischen Konzepten über die Gesetze unseres Universums stehen könnten.

Zudem hat sich gezeigt, dass es nicht nur eine Stringtheorie gibt, sondern mindestens fünf verschiedene Varianten, die jeweils von einer anderen Modellierung ausgehen und entsprechend andere Weisen der Beschreibung des Universums generieren.

Die unterschiedlichen Stringtheorien lassen sich wiederum in ein übergreifendes mathematisches Modell überführen, dass jedoch eine Raumdimension mehr, also mit der Zeitdimension zusammen elf Dimensionen benötigt. Diese übergreifende Konzeption wird unter dem Titel M-Theorie referiert:

»Als Ende der achtziger und Anfang der neunziger Jahre viele Physiker eifrig nach einer Erklärung der einen oder der anderen Stringtheorie suchten, war das Rätsel der fünf Versionen kein Problem, das die Wissenschaftler in ihrem Forschungsalltag beschäftigte, sondern nur eine jener wenig aufregenden Fragen, von denen jeder annahm, sie würden in ferner Zukunft behandelt werden, wenn das Verständnis der einzelnen Stringtheorien erheblich weiter gediehen sei.

Fast aus heiterem Himmel wurden diese bescheidenen Hoffnungen im Frühjahr 1995 bei weitem übertroffen. Gestützt auf die Vorar-

12 »Unsere heutige Kenntnis der String-Gleichungen liefert uns nämlich keinen Hinweis darauf, welche Form wir aus dem großen Angebot auswählen sollen. Aus Sicht der bekannten Gleichungen ist jeder Calabi-Yau-Raum so gut wie jeder andere. Die Gleichungen bestimmen noch nicht einmal die Größe der Zusatzdimensionen. Da wir die Extradimensionen nicht sehen, müssen sie klein sein, doch wie klein genau, ist ebenfalls eine ungelöste Frage« (Greene 2008, 418).

beiten zahlreicher Stringtheoretiker [...], entdeckte Edward Witten – seit zwei Jahrzehnten der namhafteste Stringtheoretiker der Welt – eine verborgene Einheit, die alle fünf Stringtheorien miteinander verband. Wie Witten zeigte, sind die fünf Theorien nicht etwa verschieden, sondern in Wirklichkeit fünf unterschiedliche Möglichkeiten, eine einzige Theorie mathematisch zu analysieren. [...] Die für die Vereinheitlichung verantwortliche Master-Theorie wird vorläufig als M-Theorie bezeichnet, wobei die schillernde Konnotationsvielfalt des Platzhalter M – Master? Majestätisch? Mutter? Magisch? Mysterium? Matrix? – darauf wartet, von den weltweiten Forschungsanstrengungen, die im Anschluss an Witten's beflügelte Einsicht unternommen werden, mit endgültiger Bedeutung gefüllt zu werden.«¹³

Die M-Theorie zeigt etwas andere topografische Eigenschaften als die untergeordneten Stringtheorien. In ihr kommen nicht nur Strings vor, sondern auch mehrdimensionale schwingende Membranen. Dies inspirierte Gerhard 't Hooft und Leonard Susskind dazu, ein Modell zu entwickeln, entsprechend dessen unsere Alltagsrealität nichts anderes darstellt als eine »holographische Projektion von physikalischen Prozessen, die auf fernen, zweidimensionalen Flächen stattfinden«.¹⁴

Theorie ohne Empirie

Wie bereits gesagt, es gibt derzeit keine explizit nur durch die Stringtheorie abgeleitete Vorhersage, die durch die Experimentalphysik bestätigt wurde. Prinzipiell ist dies jedoch nicht ausgeschlossen. Möglicherweise könnte es mit genaueren Messverfahren gelingen, größere Strings nachzuweisen oder in Sphären vorzudringen, in denen sich die postulierten eingefalteten Dimensionen offenbaren. Umgekehrt ist die Stringtheorie bislang auch nicht widerlegt worden. Mit Blick auf ihre komplexen mathematischen Modellierungsleistungen ist jedoch zu fragen, ob es innerhalb der Stringtheorie überhaupt noch um die Frage der experimentellen Verifikation oder Widerlegung gehen kann. Einiges spricht dafür, dass eine solchermaßen hochgetriebene Theorie einen Formenreichtum bietet, über den sich Theorie in mehr oder weniger produktiver Weise mit sich selbst beschäftigen kann, um damit in ihrer metatheoretischen Anlage weitgehend unabhängig von empirischen Ergebnissen forschen und arbeiten zu können.

¹³ Greene (2008, 425 f.).

¹⁴ Greene (2008, 425 f.). Siehe auch Susskind (1994).

Wie bereits erwähnt, beruht die Stringtheorie auf einer Modellierung, die zunächst mit den Methoden der klassischen Physik beginnt. In mehrdimensionalen Räumen schwingende Fäden oder Membranen können mit dem Instrumentarium der Newtonschen Physik beschrieben werden. Erst sekundär wird dann eine Quantisierung der Variablen eingeführt. Das Modell beruht damit auf einer vom Hintergrund unabhängigen Raumzeit, die gleichsam das Gefäß darstellt, in dem sich das schwirrende Gewebe schwingender Fäden und Membranen abspielt.

Viele Stringtheoretiker sind sich durchaus bewusst, dass hiermit eine Anfangsentscheidung getroffen worden ist, die theoretisch problematisch ist und irgendwann einer Korrektur bedarf. Wie und ob dies geleistet werden kann, bleibt auch aus theoretischer Perspektive eine offene Frage:

»Allem Anschein nach muß die vollständige Formulierung der String/M-Theorie mit der traditionellen Vorgehensweise brechen und von Anfang an eindeutig quantenmechanischen Charakter haben.

Gegenwärtig weiß niemand, wie das geschehen soll. Doch für viele Stringtheoretiker steht fest, daß eine derartige Verankerung der quantenmechanischen Prinzipien in der theoretischen Beschreibung des Universums die nächste große Umwälzung für unser Verständnis der Welt bedeuten wird. So meint Cumrun Vafa: »Ich glaube, daß eine Neuformulierung der Quantenmechanik viele ihrer Rätsel lösen wird. Allgemein geht man wohl davon aus, daß die unlängst entdeckten Dualitäten auf einen neuen, geometrischeren Rahmen der Quantenmechanik schließen lassen, in dem Raum, Zeit und Quanteneigenschaften untrennbar miteinander verbunden sind.« Und Edward Witten: »Ich glaube, der logische Status der Quantenmechanik wird sich in einer Weise verändern, wie sich der logische Status der Gravitation gewandelt hat, als Einstein das Äquivalenzprinzip entdeckt hat. Dieser Prozess ist bei der Quantenmechanik noch lange nicht abgeschlossen, doch ich denke, man wird eines Tages auf unsere Zeit zurückblicken als die Epoche, wo er begann.«

Mit vorsichtigem Optimismus dürfen wir hoffen, daß eine Neuformulierung der Quantenmechanik im Rahmen der Stringtheorie einen leistungsfähigeren Formalismus hervorbringen wird, der in der Lage sein wird, uns viele Fragen zu beantworten, zum Beispiel warum es so etwas wie Raum und Zeit gibt. Vielleicht kommen

wir dann auch der Beantwortung der Leibnizschen Frage einen Schritt näher – warum es überhaupt etwas gibt und nicht nichts.«¹⁵

All dies lässt deutlich werden, dass die Stringtheorie ein für die theoretische Physik attraktives, jedoch keinesfalls unumstrittenes Projekt darstellt. Wir treffen hier auf eine außerordentlich hohe mathematische Eleganz und auf eine faszinierende Grundidee, doch ebenso schnell kommt der Verdacht auf, dass es sich bei alledem nur noch um ein mathematisches Glasperlenspiel handeln könnte, indem sich theoretische Formen auf theoretische Formen beziehen, ohne dabei jedoch einen zusätzlichen Erkenntnisgewinn für die Physik generieren zu können.

Lassen wir hier *pars pro toto* neben dem Eingangszitat von Dieter Zeh zwei weitere kritische Physikerstimmen zu Wort kommen. Lee Smolin, der seinerseits versucht, die Gravitation über einen primär quantentheoretischen Ansatz zu erklären, der im Gegensatz zur Stringtheorie Raum und Zeit als abhängige Variablen betrachtet,¹⁶ formuliert etwa:

»Supersymmetrie und höhere Dimensionen haben sich als Fälle erwiesen, in denen enorme Anstrengungen unternommen werden mussten, um die Konsequenzen der vorgeschlagenen Vereinheitlichung zu verbergen. [...] Im Falle höherer Dimensionen stehen fast alle Lösungen der Theorie im Widerspruch zu den Beobachtungen. Die seltenen Lösungen, die etwas Ähnliches wie unsere Welt offenbaren, sind instabile Inseln in einem riesigen Ozean von Möglichkeiten, die fast alle vollkommen exotisch aussehen.

Kann die Stringtheorie die Probleme vermeiden, die die früheren höherdimensionalen und supersymmetrischen Theorien heimsuchten? Das ist unwahrscheinlich – einfach schon deshalb, weil es in ihnen viel mehr zu verbergen gibt als in der Kaluzu-Klein-Theorie oder den supersymmetrischen Theorien. Der von der Stanford-Gruppe vorgeschlagene Mechanismus zur Stabilisierung der höheren Dimensionen könnte Erfolg haben, aber der Preis ist hoch, führt er doch zu einer enormen Ausdehnung der Landschaft vermuteter Lösungen. Der Preis für die Vermeidung der Probleme, die das Schicksal der Kaluzu-Klein-Theorie besiegelten, ist daher im günstigsten Fall die Akzeptanz eines von Stringtheoretikern ursprünglich abgelehnten Standpunkts: Dass nämlich eine enorme Zahl von Stringtheorien als potenzielle Beschreibung der Natur gleich ernst zu nehmen seien. Daraus folgt, dass die ursprüngliche

¹⁵ Greene (2006, 440 f.).

¹⁶ Siehe zur Grundidee der Quantenschleifengravitation Smolin (2004).

Hoffnung auf eine eindeutige Vereinheitlichung und damit falsifizierbare Vorhersagen zur Elementarteilchenphysik aufgegeben werden muss.«¹⁷

Smolin verweist hier aus einer Popperianischen Perspektive auf den wunden Punkt der Stringtheorie. Da sich mit ihr eine solche Vielfalt an Modellen des Universums bauen lässt, sagt sie streng genommen nichts aus. So wie sich für jede Lebenslage ein Bibelspruch finden lässt, lassen sich für nahezu jeden empirischen Sachverhalt stringtheoretische Lösungen anbieten. Die Theorie verfügt aus sich heraus also kaum mehr über Erklärungskraft zu sagen, warum die Dinge so sind, wie wir sie vorfinden.

Im gleichen Sinne formuliert Laughlin aus einer emergenztheoretischen Perspektive:

»Die Stringtheorie dreht sich um die Untersuchung einer imaginären Art von Materie, die sich aus langgezogenen Objekten, den Strings, zusammensetzt, nicht aus punktförmigen Teilchen, aus denen, wie experimentell gezeigt worden ist, alle bekannten Materiearten – einschließlich heißer nuklearer Materie – bestehen. Es macht ungeheuren Spaß über die Stringtheorie nachzudenken, weil viele ihrer inneren Beziehungen unerwartet einfach und schön sind. Abgesehen davon, dass sie den Mythos von der ultimativen Theorie stützt, hat sie jedoch keinen praktischen Nutzen. Es gibt keine experimentellen Beweise für die Existenz von Strings in der Natur, und die spezielle Mathematik ermöglicht es auch nicht, bekanntes experimentelles Verhalten leichter vorherzusagen oder zu berechnen. Außerdem sind die komplexen, mit den mächtigen Beschleunigern von heute zugänglichen spektroskopischen Eigenschaften des Raums in der Stringtheorie nur als ›Niedrig-Energie-Phänomenologie‹ zu erklären, was eine abwertende Bezeichnung für transzendente, emergente Eigenschaften der Materie ist, die nicht von grundlegenden Prinzipien aus zu berechnen sind. In Wahrheit ist die Stringtheorie ein Schulbeispiel für eine Trügerische Truthenne, ein schöner Satz von Ideen, die immer knapp außerhalb der Reichweite bleiben werden. Weit davon entfernt, eine wunderbare technische Hoffnung für ein großartigeres Morgen abzugeben, ist sie stattdessen die tragische Folge eines überholten Glaubenssystems – in dem Emergenz keine Rolle spielt und dunkle Gesetze nicht vorkommen.«¹⁸

17 Smolin (2009, 271).

18 Laughlin (2007, 309).

Die Stringtheorie spaltet offensichtlich die theoretische Physik. Die einen sehen in ihr die Chance zum Übergang in ein ultimatives Verstehen von Welt, die anderen betrachten sie als ein nutzloses mathematisches Formenspiel, das die Weltverhältnisse eher mystifizierend verklärt denn erhellen kann.

Theoriebildung und operationale Schließung

Versuchen wir zunächst, die Fronten mit Blick auf das Verhältnis von Anschauung, Theorie und empirischer Forschung etwas genauer zu klären. Wir erinnern uns, dass sich gegen Ende des 19. Jahrhunderts die Mathematik von der Physik als eine eigenständige wissenschaftliche Disziplin ausdifferenziert hat. Gegenstand ihrer Wissenschaft ist die Vertiefung der Einsichten in die mathematische Formbildung in Referenz auf eine strenge Beweisführung in Hinblick auf die Regeln der vollzogenen mathematischen Operationen. Mit Hilfe der hoch abstrakten Formsprache der Mathematik konnte sich die junge Disziplin der Quantenphysik von den klassischen physikalischen Konzeptionen lösen und eine Theorie generieren, welche zunächst auf jegliche physikalische Anschauung verzichten konnte. Nach dem Erfolg der Quantentheorie konnte die Physik langsam die konzeptionelle Deutungshoheit über die Quantentheorie wiedergewinnen, um diese in ein fruchtbares Wechselspiel von Experiment und physikalischer Theoriebildung zu überführen.

Die Stringtheorie kann gewissermaßen als eine Chimäre aus Mathematik und Physik angesehen werden, die sich selbst zu einer eigenständigen, autonomen Wissenschaftsdisziplin entwickelt hat. Sie folgt dabei der metatheoretischen Entscheidung, alles aus schwingenden Fäden aufgebaut zu sehen und konstruiert auf dieser Basis ein mathematisches Formenspiel, das sich auf mögliche Passungen in Hinblick auf die Befunde der Experimentalphysik und der theoretischen Physik untersuchen lässt.

Eine gute Vorarbeit zur disziplinären Schließung der Stringtheorie hat Richard Dawid mit seinem Aufsatz »Wenn Naturwissenschaftler über Naturwissenschaftler streiten« geleistet. Rekurren wir nun etwas ausführlicher auf seine Arbeit, um abschließend seine Argumentation im Sinne unserer Zwecke etwas anders zu gewichten.

Zunächst weist Dawid darauf hin, dass es innerhalb der Physik schon immer Theoriebildungen gab, in denen hochgradig spekulativ vorgegangen wird. Allerdings waren diese in der Regel so angelegt, dass in absehbarer Zeit empirisch überprüfbare Hypothesen aus ihr

abgeleitet werden konnten. So konnte etwa das ›Standardmodell‹ der Elementarteilchen, das in den 1960er-Jahren entwickelt wurde, wenige Jahre später durch die experimentellen Befunde aus der Hochenergiephysik unterfüttert werden.¹⁹ Demgegenüber ist seit den 25 Jahren, in denen die Stringtheorie diskutiert wird, keine hinreichend eindeutige Formulierung einer Theorieanlage formuliert worden, so dass sich belastbare und empirisch überprüfbare Hypothesen generieren ließen: »Die Stringtheorie bleibt auch über dreißig Jahre nach ihrer ersten Formulierung eine sehr unvollständige Theorie. Weder ein vollständiger konzeptioneller Rahmen noch die quantitative Berechnung konkreter stringtheoretischer Prognosen scheinen heute in Reichweite.«²⁰

Man könnte den akademischen Erfolg der Stringtheorie jetzt durch die mikropolitischen Dynamiken einer Gemeinde von theoretischen Physikern erklären, bei der es ja immer auch um die Besetzung von Lehrstühlen mit Vertretern des eigenen Paradigmas geht. Diese Erklärung hält Dawid jedoch für wenig überzeugend. Zum einen gehören die Stringtheoretiker in der Regel zu der Gruppe der besonders begabten und intelligenten Physiker. Bei diesen wäre eigentlich – sobald sie auf Lehrstühlen verankert sind – nicht zu erwarten, dass sie ihre Forschung nur aus Opportunitätsgründen betreiben. Zum anderen zeichnen sich Stringtheoretiker nicht unbedingt dadurch aus, alle dem gleichen vorgegeben Pfad zu folgen. Sie bilden eher eine recht heterogene Gruppe, in der unterschiedlichste theoretische Projekte verfolgt und ausprobiert werden.²¹

Üblicherweise sind die Stringtheoretiker durchaus offen für Kritik an ihrem Ansatz. »Sie räumen ein, dass das Fehlen einer empirischen Bestätigung und die großen Mängel im Verständnis der Theorie gravierende Probleme darstellen. Sie vertreten jedoch die Position, dass die innertheoretische Bewertung der Theorie sowie deren Entwicklungsdynamik dennoch starke Indizien für deren Gültigkeit liefern. Wenn Stringtheoretiker diese Indizien auch ohne empirische Bestätigung in gewissem Grade als Erfolg anrechnen, so basiert dies ihrem

19 Siehe hierzu aus Perspektive der *science studies* die wichtige Studie von Pickering (1984).

20 Dawid (2008, 400).

21 »Als zumindest ebenso augenfälliges Charakteristikum des stringtheoretischen Diskussionsstils könnte man etwa einen sehr offenen und undogmatischen Umgang mit neuen Ideen und eine starke Neigung zum Hinterfragen überkommener Denkweisen anführen. Im Bereich der Stringtheorie arbeitet unbestreitbar ein beträchtlicher Anteil der innovativsten und kreativsten Physiker der Gegenwart. Das Bild einer fremdgesteuerten Masse, die unkritisch den Vorgaben einiger Propheten folgt, erscheint daher kaum angemessen« (Dawid 2008, 408).

Verständnis nach nicht auf einer willkürlichen Absenkung von Kriterien wissenschaftlichen Erfolges, sondern auf einer durch die Theorie selbst induzierten Stärkung theoretischer Bewertungssätze.«²² Zudem werde »das Vertrauen in die Stringtheorie dadurch erhöht, dass die Theorie Verbindungen und Zusammenhänge zwischen Phänomenen offenlegt, die zur Zeit der Konstruktion der Theorie nicht ersichtlich waren.«²³ In den Augen der Stringtheoretiker lässt die »Gesamtheit der theoretischen Argumente zur Stützung der Stringtheorie« die »Annahme plausibel erscheinen, dass die heute vorhandenen empirischen Daten, auch wenn sie keinen direkten Beleg für die Stringtheorie liefern, in ihrer Gesamtheit dennoch nur diese als universale und kohärente physikalische Beschreibung zulassen. Rein theoretische Argumente erhalten hier also eine ungewöhnlich starke Rolle in der Bewertung der Gültigkeit einer wissenschaftlichen Theorie.«²⁴

Der letztbenannte Aspekt ist entscheidend für unsere Diskussion, denn er zeigt auf, dass hier eine veränderte Form des Physik-Betreibens am Entstehen ist, die in eine weitere disziplinäre Ausdifferenzierung der Physik mündet. Mit der Stringtheorie begegnen wir einem Gebiet der theoretischen Physik, das sich darauf spezialisiert hat, die Potenziale theoretischer Formen auszuloten, und sich in seinem Alltagsgeschäft weitgehend von experimentalphysikalischen Anschlüssen gelöst hat.

Physik kommt hier als Theorie zu sich selbst. Das, was in den Fächern der Geistes- und Sozialwissenschaften schon längst geschehen ist,²⁵ passiert nun auch in der Physik: Die Beschäftigung mit

22 Dawid (2008, 405).

23 Ebd., 406.

24 Ebd., 407.

25 Siehe etwa Mayntz zur konstitutionellen Wirklichkeitsferne der Rational Choice Theorie: »Da *Rational Choice* die am besten ausgearbeitete, am weitesten formalisierte und mathematisch eleganteste Sozialtheorie ist, entzündet sich die Diskussion heute vor allem am augenscheinlichen Widerspruch zwischen dem auch in der Soziologie benutzten Modell des rationalen Akteurs und den dieses Modell in Frage stellenden Ergebnissen der kognitiven Psychologie, der experimentellen Spieltheorie und der experimentellen Wirtschaftsforschung. Einerseits wird behauptet, dass die experimentellen Ergebnisse das Modell des rationalen Akteurs empirisch widerlegen und damit unbrauchbar machen (zum Beispiel Fröhlich/Oppenheimer 2006); dem wird entgegengehalten, dass diese experimentellen Ergebnisse zwar eine Herausforderung für die formale Modellierung darstellen, den Kern des Modells des rationalen Akteurs aber nicht antasten (zum Beispiel Gintis 2005). Der Punkt, an dem mangelnde Wirklichkeitsnähe die Fruchtbarkeit eines theoretischen Modells

den Möglichkeiten bestimmter Theorieformen bildet jetzt auch hier einen eigenen, unabhängigen Diskurs, der sich in gewisser Distanz zur empirischen Relevanz perpetuieren und fortentwickeln kann. Hiermit verschwindet aber auch für die Naturwissenschaften der sichere Hafen einer eindeutigen Selbstkonditionierung durch das Paar empirische Beobachtung/mathematische Beschreibung.²⁶

Es werden jetzt unterschiedliche mathematische Modelle und physikalische Konzeptionen möglich, von denen aus die physikalische Welt betrachtet und analysiert werden kann. So wie etwa in der Soziologie grundlegende metatheoretische Entscheidungen – etwa die Frage, ob man von einem systemtheoretischen Blickwinkel oder akteurstheoretisch anfängt – kaum mehr durch die empirischen Sachlagen berührt werden können, begegnen wir jetzt auch in der Physik einer Pluralität theoretischer Zugänge. Theoretische Physik lässt sich auf Basis der Stringtheorie betreiben, aber ebenso aus einer emergenztheoretischen Perspektive oder nach einem reduktionistischen Baukastenprinzip, wie es mit der Quantenschleifengravitation verfolgt wird.²⁷

Für die gegenwärtige theoretische Physik scheint die Leitdifferenz *empirisch/mathematisch* nicht mehr auszureichen, um die theoretischen und methodologischen Entwicklungen des Faches zu konditionieren. Es wird hiermit deutlich, dass auch die Physik ein *sinnförmiges* Unternehmen ist, dass *nolens volens* von der Wahl willkürlich gesetzter Ausgangsunterscheidungen abhängig ist. Ob man reduktionistisch herangeht oder die Prozesse von makroskopischen Ordnungsprinzipien her beschreibt, ob man die Modellierung mit Teilchen, Stringfäden oder ›Wellen aus nichts‹ beginnt, zeigt sich selbst als kontingente Theorieentscheidung. Sie beruht auf der Wahl eines metatheoretischen Bezugspunktes, der – sobald einmal gewählt – einen mathematischen und konzeptionellen Strukturreichtum entfaltet,

beeinträchtigt, ist schwer zu bestimmen; er hängt mit einer methodologischen Grundsatzentscheidung zusammen, der Wahl zwischen einem eher empirisch-induktiven oder eher axiomatisch-deduktiven Vorgehen. Wenn wir theoretische Modelle durchspielen wollen, sind wirklichkeitsnahe Verhaltensannahmen nicht zentral« (Mayntz 2006, 14).

- 26 »Die Diskussion um den gegenwärtigen Status der Stringtheorie kreist in direktem Gegensatz dazu um die Frage, wie weit gerade die konsequente Anwendung streng formalisierter und als kanonisch anerkannter naturwissenschaftlicher Argumentationsformen in deren angestammten Fachgebiet vom etablierten Wissenschaftsparadigma wegführen kann und darf. Die Prinzipien wissenschaftlichen Handelns stehen im Rahmen der Debatte um Stringphysik gerade dort zur Disposition, wo sie am sichersten verankert schienen« (Dawid 2008, 416).

- 27 Siehe zu Letzterem etwa Smolin (2009)

an dem man sich orientieren kann, mit dessen Hilfe Beschreibungen angefertigt werden können und aus dem sich dann gegebenenfalls auch empirisch überprüfbare Hypothesen ableiten lassen.

Sobald eine solchermaßen entwickelte Theorieform einen gewissen Grad an interner Ausdifferenzierung erreicht hat, wird die Frage der empirischen Relevanz für die Theoriearbeit immer unbedeutender. Die Theorieform selbst erscheint dann so strukturreich, dass allein das Ausloten ihrer Möglichkeiten ein hinreichend attraktives Projekt darstellt, um intelligente Physiker zu faszinieren. Derzeit verfügt die Physik noch nicht über eine Reflexionstheorie, um solch komplexe Theorieverhältnisse angemessen beschreiben oder verstehen zu können. Bislang bleibt ihr nur der Streit unterschiedlicher Schulen, ohne dabei jedoch über eine Sprache zu verfügen, die Ursachen der offensichtlichen Differenzen ans Licht zu bringen.

Diese liegen in der Geschichte einer zunehmend ausdifferenzierten und in unglaubliche Höhen getriebenen Wissenschaft, die gerade deshalb, weil sie in ihren Theorieprojekten so erfolgreich ist, der Tatsache begegnet, dass ihre Ausgangsunterscheidungen kontingent sind.

Nicht nur für die Quantentheorie wird damit die Einsicht von Bohr virulent, dass jegliche Weltbeschreibung auf sinnförmigen Begriffen beruht.²⁸

Sobald man bereit ist, diese Sachlage zu akzeptieren, wird aber auch deutlich, dass man die Idee aufgeben muss, dass die mathematischen Modelle der Physik die Welt repräsentieren können.²⁹ Die

28 Siehe in diesem Sinne auch Fuchs: »Gesetzt, die Leitdifferenz bzw. die Form der Physik sei *empirisch/mathematisch*, dann müßte die Beobachtung oder Messung eben auch eine mathematische Repräsentanz finden. Was man stattdessen sieht, so der erste Eindruck, ist, daß das Beobachten bzw. der Beobachter empirisch und mathematisch keine klare Bearbeitung finden. Das könnte daran liegen, daß die Operation der Beobachtung im *blinden Fleck* der Physik verschwindet: Systemtheoretisch gesehen, ist auch die Physik ein sinnförmiges Unternehmen, das die Einheit des Schemas beobachtbar/unbeobachtbar nicht mitbeobachten kann, und das heißt schließlich, daß die Welt, in der beobachtet wird, von der Welt, die beobachtet wird, nicht unterscheidbar ist« (Fuchs 2009).

29 »Mit dem Begriff der Repräsentation fällt die Vorstellung, daß das System Merkmale seiner Umwelt copiert. Auch von Simulation wird man nicht sinnvoll sprechen können, denn auch das setzt eine Analogie voraus. An die Stelle solcher Erkenntnisbegriffe muß die Vorstellung treten, daß das System eigensinnig Komplexität aufbaut und dadurch in immer stärkerem Maße unwahrscheinlich, irritierbar, stöbar, enttäuschbar wird. Aber wenn es gelingt, die Autopoiesis unter solchen Bedingungen struktureller Komplexität trotzdem fortzusetzen, hat das System darin einen internen Anhaltspunkt dafür, daß es »richtig liegt«, obwohl es nicht wissen kann, wo und wie, da man niemals unabhängig von dem eigenen

entwickelten physikalischen Theoriegebilde sind gerade deshalb erfolgreich, weil sie sich auf Ebene der Sinnbezüge systemisch abschließen, weil ihre Theorieform operational geschlossen ist. Ihre Erklärungs- und Beschreibungskraft entwickeln sie gerade deshalb, weil sie definierten operativen Pfaden folgen, weil sie ihre metatheoretischen Ausgangsunterscheidungen stabil halten und weil sie erst auf diesem Wege eine stabile Semantik konstruieren können, mit der sich den Unschärfen nicht-wissenschaftlicher Alltagssprache trotzen lässt. Erst auf diese Weise lassen sich empirische und theoretische Daten so ordnen, dass sie theoriefähig werden, also dass sie wahr/falsch-Aussagen generieren lassen, welche die weitere Theoriebildung produktiv irritieren.³⁰

Es gilt auch hier die kybernetische Einsicht, dass Offenheit nur durch Geschlossenheit erreicht werden kann³¹ und dass »die Zahl der Außenkontaktstellen sehr viel geringer sein muß als die Zahl der Innenkontaktstellen, so daß ein Ereignis viele Veränderungen zur Folge haben kann und kleine Ursachen, wenn das System in Resonanz versetzt wird, weitreichende Wirkungen auslösen können«. ³² Erst die semantische Geschlossenheit hinreichend ausdifferenzierter Theoriegebilde bildet die Voraussetzung für die Kontakt- und Resonanzfähigkeit gegenüber einer Umwelt, die damit freilich weiterhin nicht im Sinne des Konzepts der Repräsentation erreicht werden kann.³³

Umweltentwurf (Fremdreferenz) wird feststellen können, was in der Umwelt ›an sich‹ der Fall ist.« (Luhmann 1998, 317).

30 Üblicherweise wird dies mit Popper (2007) unter dem Begriff der Falsifikation gefasst. Mit Blick auf die durch einen Soziologen beobachtbare Praxis von Wissenschaftlern stellt sich die Sachlage jedoch keineswegs so dar, dass eine Theorie, sobald sie hinreichend entwickelt und ausdifferenziert ist, durch einzelne Experimente widerlegt wird. Vielmehr stellt das Experiment gleichsam einen Dialog der Theorie mit der Natur dar. Wie in jedem kommunikativen Prozess entscheidet das Verstehen, was gehört wird. Auf welche Weise ein theoretisches Gebilde durch ein experimentelles Ergebnis irritiert wird, ist keineswegs, wie man annehmen könnte, durch ›objektive‹ Sachlagen bestimmt, sondern durch innere, von der Theorie selbst gesetzte Zwänge. Herausgearbeitet hat dies schon Fleck (1980). Siehe zu einem neueren Blickwinkel Rheinberger (2006).

31 Vgl. Ashby (1956).

32 Luhmann (1998, 467).

33 »Gegen naheliegende Missverständnisse muß immer wieder darauf hingewiesen werden, daß die Geschlossenheit des Systems seine Offenheit keineswegs ausschließt, sondern gerade Bedingung dafür ist, daß das System zu einer komplexen und distanzierten Umwelt in Kontakt treten kann. Ebenso unbestreitbar ist, daß in einer völlig entropischen Welt ohne Diskontinuitäten keine Wissenschaft, ja überhaupt kein Beobachten sich entwickeln könnte. [...]

Ein hochgradig ausdifferenziertes physikalisches Fachgebiet wie die Hochenergiephysik, aus dem heraus die Stringtheorie entwickelt wurde, kommt nicht umhin, sich nochmals in primär theoretisch und primär experimentell vorgehende Teildisziplinen aufzuspalten. Die Theorien werden nun überwiegend auf Basis theoretischer Überlegungen überprüft und entwickelt, während die Experimentalphysik vorwiegend an der methodischen Entwicklung von Experimentalsystemen arbeitet. Dass dabei physikalische Subdisziplinen entstehen, die einander nur noch mit Sprachlosigkeit oder wechselseitigem Unverständnis begegnen können, liegt in der Natur solcher Differenzierungsprozesse. Auch die Physik hat nun zu erleiden, was Philosophie und Soziologie schon längst erfahren mussten. Man kann nicht anders, als in dem Linguakäfig selbstgesponnener Bedeutungsgewebe zu leben, um hierfür den Preis zu zahlen, dass selbst der Nachbar einen nicht mehr versteht, insofern er nicht die gleichen metatheoretischen Unterscheidungen teilt.

Die Auseinandersetzung um die Stringtheorie lässt verschiedene Aspekte der zeitgenössischen physikalischen Theoriebildung deutlich werden. Die zentralen Konzepte physikalischer Theorien repräsentieren keine äußere Realität. Sie beruhen primär auf internen Anschauungen und Konzepten, die dann in immer raffinierteren Bezügen entfaltet und ausdifferenziert werden. Niemand hat jemals ein String gesehen, doch mit der Anschauung einer eindimensionalen, schwingenden Saite lässt sich eine mathematische Theorie entfalten, welche die Relativitätstheorie und die Quantentheorie in einer produktiven Weise rekombinieren lässt.

Dies heißt aber jetzt auch, dass es nicht nur *eine* physikalische Theorie geben kann, denn welche Grundanschauungen jeweils gewählt werden, ist *kontingent*. Ob man mit Strings beginnt, die vom Hintergrund unabhängig in einem gegebenen Raum hängen, oder mit der Quantenschleifengravitation über Quantenprozesse erst einen Raum konstituiert, sind Ausgangsentscheidungen, die *vor* Beginn der Theoriearbeit getroffen werden müssen. Auch für die Physik wird hiermit die Unterscheidung von Theorie und Meta-Theorie bedeutsam. Letztere muss jetzt als eine notwendige, jedoch nicht durch den Untersuchungsgegenstand selbst konditionierte Entscheidung über jene die Theorie fundierenden konzeptionellen Anschauungen gesehen werden. Dies heißt aber jetzt auch, dass es in der Physik mehrere, wenn nicht gar viele Theorien geben kann und dass die Vertreter der jeweiligen Theorien sich einander mit Unverständnis begegnen.

Oder um mit Spencer-Brown zu formulieren: die Welt muß durch eine Unterscheidung zerteilt werden, woraufhin man es mit der Trinität von Diesseits, Jenseits und Grenze zu tun hat« (Luhmann 1998, 303).

Gerade der Befund, dass die derzeit elaboriertesten Theorieprojekte der Physik keineswegs in einer einheitlichen Universaltheorie konvergieren, sondern vielmehr auf babylonische Verhältnisse zulaufen, lässt deutlich werden, worin unter den gegebenen Verhältnissen die Leistung, aber auch die Entfremdung physikalischen Weltverstehens liegt.

All dies lässt die Auseinandersetzung um das Verständnis und die Deutung der Quantentheorie in einem etwas kühleren Licht erscheinen. Es lässt vermuten, dass die Auseinandersetzung um die Frage, welche Erklärung als für das Deutungsproblem der Quantentheorie angemessen erscheint, nicht durch physikalische Theorie selbst, sondern nur durch die Meta-Theorie der gewählten Ausgangsanschauung, also durch Metaphysik, entschieden werden kann. Hiermit wäre dann aber auch von dem Traum der *einen* Physik Abschied zu nehmen.