

Die Sitzung der Klasse für Naturwissenschaften und die Plenarsitzung am 13. November 2008 waren dem 80. Geburtstag unseres am 18.11.2006 verstorbenen Mitglieds Hans-Jürgen Treder gewidmet.

Rainer Schimming und Herbert Hörz

Prinzipien der Physik¹

1. Einführung

Jede Wissenschaft ist eine Einheit von Gesamtsicht und Detailforschung. Das globale Bild wird durch Grundsätze oder Leitideen bestimmt, die wir, dem allgemeinen Sprachgebrauch folgend, Prinzipien nennen. Sie haben meist eine lange Geschichte und sind Gegenstand wissenschaftsphilosophischer Analysen. Wir unterscheiden Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzipien, auf deren inneren Zusammenhang wir eingehen werden. Als allgemeinstes Prinzip bildete sich der Gedanke von der Einheit der Welt und der damit möglichen Vereinheitlichung von Theorien zur Welterklärung heraus. So kam es in der Geschichte des Denkens immer wieder zu der Frage nach den Grundprinzipien des Weltgeschehens, nach dem ideellen oder materiellen Urstoff, aus dem alles besteht und der die für uns erkennbaren differenzierten Phänomene und deren Veränderungen erklärt.

Wir befassen uns hier vorrangig mit den Prinzipien der Physik. Mit der Suche nach einer einheitlichen Erklärung der Welt erforscht die Physik den inneren Zusammenhang zwischen starker, schwacher, elektromagnetischer Wechselwirkung und der Gravitation. Wir diskutieren Wirkprinzipien, die in der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) und alternativen Gravitationstheorien erfasst werden, sowie Erkenntnisprinzipien, wie sie sich in der Phy-

1 Der Beitrag beruht auf dem Vortrag des ersten Autors auf der Sitzung der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Ehren des 80. Geburtstages von Hans-Jürgen Treder (1928 – 2008) am 13.11.2008 und den Bemerkungen des zweiten Autors in der Diskussion, einschließlich weiterer Überlegungen beider Autoren zu den aufgeworfenen Problemen.

sik ausprägen. So geht es auf der einen Seite um relativ konkrete Prinzipien relativistischer Gravitationstheorien und auf der anderen um relativ abstrakte Prinzipien, zu denen die der Einfachheit, der Einheitlichkeit, der Anschaulichkeit, der Eleganz u.a. gehören. Dazwischen finden wir allgemeinere Determinations- und Entwicklungsprinzipien, wie etwa das Kausalgesetz und das des Qualitätswandels, sowie physikbezogene Prinzipien wie Lokalität, Invarianz, Symmetrie, Kovarianz u.a.

2. Treder und die Physik der Prinzipien

Mit den Prinzipien der Physik hat sich Hans-Jürgen Treder immer wieder befasst. Sie waren sein großes, übergreifendes Thema und sind so ein Schlüssel zum Verständnis seines Wirkens. Die Autoren dieses Beitrags haben aus seinen Publikationen und aus vielen persönlichen Debatten viele Anregungen für ihre eigenen Arbeiten erhalten. Er spannte stets den Bogen von den physikalischen zu den philosophischen Prinzipien und umgekehrt.

Treder hob in den Bemerkungen zur Geschichte der Physik an der Berliner Akademie von 1870 bis 1930 die Bedeutung der Berufung Einsteins nach Berlin als „Bekanntnis zu einer Physik der Prinzipien, zu einer Physik mit letztendlich erkenntnistheoretischer und philosophischer Zielstellung und Denkweise“ hervor. Physikalische Theorien seien nach Helmholtz, Planck und Einstein „nicht einfach Abstraktionen und Generalisierungen der experimentellen Daten, sondern selbständige schöpferische Leistungen des Verstandes von der Art der axiomatisch aufgebauten mathematischen Theorien, mit dem entscheidenden Unterschied des Anspruches der physikalischen Theorien, in letzter Instanz ein Abbild der von diesem Verstand unabhängigen Realität zu sein.“ Das Ziel der Physik sei für sie, so Treder, das „Auffinden der allgemeinen Prinzipien und Strukturen, in denen sich die Einheit der objektiven Realität widerspiegelt.“ Dabei könne es sich generell nur um ein allgemeines physikalisches Prinzip in einer hochabstrakten Form handeln. „Alle drei Physiker akzeptierten wohl ein physikalisches Prinzip als fundamental und notwendig, wenn selbstverständlich auch nicht hinreichend für jede umfassende physikalische Theorie, nämlich das Prinzip der kleinsten Wirkung (Hamiltonsches Prinzip).“ (Treder 1975, S. 17–19)

Dieses Prinzip hat eine physikalische und eine philosophische Seite, worauf Treder immer verwies, denn das mathematisch formulierte Extremalprinzip bedurfte einer philosophischen Interpretation ebenso,– Treder fand sie in der übergreifenden Forderung vom zureichenden Grund für Existierendes –, wie philosophische Prinzipien der spezialwissenschaftlichen Präzisierung be-

dürfen. So gibt es die Beziehung zwischen dem philosophischen Kausalprinzip und der physikalischen Forderung nach Lokalität. Debatten über mögliche Fernwirkungen zeigen jedoch, wie kompliziert der Prozess philosophischer Verallgemeinerung und physikalischer Präzisierung philosophischer Prinzipien ist.

Treder unterschied die Physik der Prinzipien von einer Physik der Modelle. Letztere liefere Beschreibungen von Sachverhalten, deren grundlegender Mechanismus jedoch noch nicht erkannt sei. Treder war, wie andere Physiker, Prinzipiendenker, wobei er stets den Zusammenhang zwischen philosophischen Grundsatzfragen und physikalischen Antworten auf sie sah. Dabei orientierte er sich an Einstein als Vordenker, auch an dessen skeptischer Haltung zu den Grundproblemen der Quantentheorie. Sind nun statistische oder dynamische Theorien grundlegend für das Geschehen? Einstein vertrat eine Wirklichkeitsauffassung, in der die Potenzialität des Geschehens keinen Platz hatte. Mögliche Ereignisse, die mit Wahrscheinlichkeit eintreten können, wobei sich Potenzen jedoch nicht unbedingt (notwendig) realisieren, sollten auf eine dynamische Grundstruktur zurückgeführt werden. So erst sei eine vollständige Beschreibung der Wirklichkeit zu erreichen. Treder war einerseits von der Forderung Einsteins sehr angetan, die grundlegenden Wirkprinzipien aufzudecken, ohne statistische Theorien als fundamental anzuerkennen, doch andererseits genügend im dialektischen Denken geschult, um die statistische Denkweise nicht einfach abzulehnen. Die Dialektik, die wir an anderer Stelle als philosophische System- und Entwicklungstheorie beschrieben haben, ist ein wichtiges Denkinstrument zum Problemverständnis. (Hörz 2006, Schimming 2006)

Treder kam immer wieder auf die Physik der Prinzipien zurück. So erklärte er in einem Vortrag von 1996 im Zusammenhang mit der Auffassung von Leibniz, unsere Welt sei die beste aller möglichen Welten und dem damit verbundenen anthropen Prinzip. „Sie führte zu einem der großen Auswahlprinzipien, einem der großen Denkprinzipien überhaupt, dem Prinzip der kleinsten Wirkung oder seiner verschiedensten Varianten, dem Prinzip der Herleitbarkeit aller fundamentalen Naturgesetze aus einer bestimmten, aus mathematischen und physikalischen Gründen zu wählenden, bestimmte Eigenschaften besitzenden, integralen Funktion. ... In den letzten fünfzig bis hundert Jahren ist man so vorgegangen, daß man solche Prinzipien hatte, solche Prinzipien suchte oder zum Schluß als krönenden Abschluß oder irgendwo in der Mitte fand und dann weiter entwickelte.“ (Treder 1999, S. 13)

1999 erklärte er dann in einem Vortrag „Die Unvollendbarkeit der menschlichen Erkenntnis“: „Wir werden uns niemals der Illusion hingeben können, eine formalisierbare, universale Theorie aller physikalischen Dinge zu haben. Wir werden immer umfassendere Theorien haben, immer mehr physikalische Dinge in dem strengen Sinne erklären, daß sie das Prinzip des zureichenden Grundes erfüllen. Aber diese Theorie wird uns immer wieder vor ganz neue, früher nicht formulierbare Probleme stellen, in denen wiederum dieses Prinzip des zureichenden Grundes, die Notwendigkeit zu existieren, nicht realisiert ist, sondern nur die schwächere Aussage: Die Beweisbarkeit der Nichtbeweisbarkeit der Nichtbeweisbarkeit ... und daß nur die Beweisbarkeit der Nichtbeweisbarkeit gezeigt werden kann und nicht die Beweisbarkeit ...“ (Treder 1999, S. 49)

Unsere Prinzipienkenntnis ist nie abgeschlossen. Das bis zum Ende des 19. Jahrhunderts favorisierte Prinzip der Rückführbarkeit aller Prozesse auf die klassische Mechanik schloss den Zufall aus der Betrachtung aus, konnte das Entstehen von Neuem nicht erklären und leistete einer Auffassung von Determinismus Vorschub, die mit der Laplaceschen Form die Vorausbestimmtheit und Voraussagbarkeit allen Geschehens postulierte. Prinzipienkenner dieser Zeit erforschten grundlegende physikalische Mechanismen und wiesen schon, etwa mit der statistischen Physik, über das beschränkte Prinzip hinaus.

3. Die Suche nach der Einheit der Welt als Grundprinzip der Welterklärung

Es war und ist eine prinzipielle Herausforderung an die Erkenntnis, das herauszufinden, was die Welt im Innersten zusammenhält. Dabei haben wir es mit zwei Tendenzen zu tun: Auf der einen Seite wird nach einheitlichen Grundprinzipien gesucht, um die Einheit der Welt in ihren grundlegenden Mechanismen zu erfassen. Die dafür geltende Leitidee ist: Das Weltgeschehen hat gleiche elementare Grundbausteine und funktioniert nach gleichen fundamentalen Mechanismen. Auf der anderen Seite haben wir es mit einer weiteren Differenzierung wissenschaftlichen Erkennens der Welt zu tun. Immer spezifischere Bereiche werden ausgemacht, die es zu erforschen gilt. Man spricht von „Orchideenfächern“, die alle möglichen Gebiete umfassen. Das lässt die Frage nach dem inneren Zusammenhang der Wissenschaften immer aktuell bleiben. Ihre Beantwortung hängt mit unterschiedlichen Auffassungen zu den Grundprinzipien des Weltgeschehens zusammen.

Nach der Auffassung des griechischen Philosophen Aristoteles (384 – 322 v. u. Ztr.) sind verschiedene Prinzipien (Gründe) zu unterscheiden. Er stellte fest: „Unser Ergebnis war, daß die Wissenschaft das, was im prinzipiellsten Sinne Grund ist, zum Ausgangspunkte zu nehmen hat. Denn dann behaupten wir die Erkenntnis eines Gegenstandes zu besitzen, wenn wir ihn auf seinen letzten Grund zurückzuführen glauben. Vom Grunde aber sprechen wir in vierfacher Bedeutung. Als Grund bezeichnen wir einmal die Substanz und den Wesensbegriff; hier wird die Frage nach dem Warum auf den Begriff als das Letzte zurückgeführt; Grund und Prinzip aber ist die abschließende Antwort auf diese Frage. Zweitens bezeichnen wir als Grund die Materie und das Substrat, drittens den Anstoß, von dem die Bewegung ausgeht, viertens das gerade Entgegengesetzte, das Wozu und das Gute als den Zweck, auf den alles Geschehen und alle Bewegung hinzielt.“ (Aristoteles 1907, S. 12) Für Aristoteles ist Substanz das Wesen, womit sich die Philosophie beschäftigt, die nach den ersten Prinzipien sucht. Die Physik befasst sich nach ihm mit der Materie, dem Substrat. Die Frage nach dem Anstoß der Bewegung kann mit der wissenschaftlich begründeten Auffassung von der Selbstbewegung der Materie beantwortet werden, was einen ersten Bewegter ausschließt. Das Gute, das Wozu, das Ziel des Geschehens ist Gegenstand von ethischen Überlegungen, die hier nur am Rande mit dem Humanitätsprinzip zur Debatte stehen.

Bei der Einheitssuche geht es stets um den Zusammenhang zwischen einer substanzialen, auf die Substanzen zielende, und einer relationalen, Veränderung und Entwicklung in den Relationen zwischen substanzialen Größen berücksichtigende, Betrachtungsweise, denn nur sie entspricht dem wirklichen Geschehen. Substanz ist also nicht im Sinne unveränderlicher Grundbausteine der Welt zu sehen. Substanzen und Relationen gehen ineinander über. Räumliche Beziehungen werden substanzial durch Gravitonen vermittelt. Generell gilt für Substanzen, zu denen im weiteren Sinne alle Grundbausteine des Geschehens, also Teilchen, Medien und Felder gehören: (1) Sie sind im Raum lokalisierbar. (2) Sie sind beweglich, d.h. sie wechseln den Ort. (3) Sie sind quantifizierbar. Die Menge der Substanz ist bilanzierbar. (4) Sie sind relational miteinander verbunden und verändern sich in der Zeit.

Griechische Philosophen sahen das Urprinzip in einem Urstoff, aus dem alles bestand. Für Thales war es das Wasser und für Heraklit das Feuer. Aristoteles verwies darauf, dass andere Denker die grundlegenden Prinzipien zur Erklärung der Vielfalt in der Mathematik oder in der Welt der Ideen suchten. Für ihn selbst war klar, dass das Auffinden materieller Prinzipien in die Phy-

sik gehört, doch die ersten Prinzipien von der Philosophie zu suchen seien. „Man sieht also, daß auch die Untersuchung der Prinzipien des Schließens die Aufgabe des Philosophen als desjenigen ist, der alle Wesenheit als solche zu betrachten hat. Wer auf irgend einem Gebiete Fachmann ist, für den ziemt es sich, daß er die am meisten grundlegenden Prinzipien des Verfahrens für sein Gebiet aufzeigen könne; und so muß es auch derjenige, der das Seiende als solches betrachtet, für die grundlegenden Prinzipien von allem leisten können. Dies aber ist der Philosoph, und das Prinzip von grundlegendster Bedeutung unter allen ist dasjenige, über welches es schlechterdings unmöglich ist, anderer Meinung zu sein.“ (Aristoteles 1907, S. 65) Als allgemeinstes Prinzip formulierte er dann den Satz vom ausgeschlossenen logischen Widerspruch, nach dem Dasselbe Demselben nicht zugleich und in der selben Beziehung zukommen und nicht zukommen kann. Im Gegensatz zur Reduktion der Prinzipienfrage bei Aristoteles auf die Logik, gab es für Lukrez (etwa 99–55 v. u. Ztr.) dann wiederum zwei, an der Erfahrung zu überprüfende, Prinzipien: Atome und Vakuum, Körper und leerer Raum. (Lukrez 1957, S. 41)

Francis Bacon (1561 – 1626) kritisierte Aristoteles, weil er das Prinzip der Logik über die Prinzipien der Erfahrung stellte: „Die Logik, mit der man jetzt Missbrauch treibt, dient mehr dazu, die in den gewöhnlichen Begriffen stekenden Irrthümer zu befestigen, als die Wahrheit zu erforschen; sie ist deshalb mehr schädlich als nützlich.“ Deshalb betonte Bacon: „Der Syllogismus wird für die Prinzipien der Wissenschaften nicht benutzt und für die Lehrsätze vergeblich benutzt, da er der Feinheit der Natur lange nicht gleichkommt; er legt der Zustimmung, aber nicht der Sache Fesseln an.“ (Bacon 1870, S. 86) Es reicht also nach ihm nicht aus, als allgemeines Prinzip zur Welterklärung den Ausschluss logischer Widersprüche heranzuziehen und die Erfahrung zu negieren.

Die Suche nach substanzbezogenen Prinzipien führte in der Geschichte des Denkens immer wieder auf dialektische Beziehungen, die eine Einheit von Gegensätzen erfassten. Zu ihnen gehören etwa: Konzentrierte Raumerfüllung durch Körper versus leerer Raum (Vakuum), Bewegung als Einheit von diskontinuierlichen Ruhemomenten und kontinuierlichen Übergängen von einem Zustand in den anderen, Wechselwirkung als Einheit von Aktion und Reaktion. Der Atomismus als Auffassung von der Zusammensetzung der Substanzen aus kleinsten Bausteinen unterlag und unterliegt dem Wandel, denn unsere Einsichten in die fundamentalen Substanzen und Relationen verändern sich mit der Suche nach Quarks und Leptonen, nach den Higgs-Teil-

chen, nach Superstrings usw. Wir suchen deshalb auch in der Physik nach neuen Materiearten und Materieformen.

Ein weiteres interessantes historisches Beispiel neben dem Atomismus ist die von Johann Wolfgang von Goethe (1749 – 1832) entfachte Diskussion um die Suche nach dem Urphänomen, an der sich später Hermann von Helmholtz (1821–1894) mit seinen Interpretationen von Goethes Ansichten beteiligte. (Hörz 2000) Helmholtz fasste den Substanzgedanken weiter, als es mit der Vorstellung materieller Stoffe geschieht. Substanz sei das, was in den Erscheinungen konstant bleibe, eben das Wesen der Dinge. Wenn wir das Wesen eines Systems als die Gesamtheit der relativ invarianten inneren Beziehungen betrachten, dann ergeben sich für die Wechselwirkung des Systems wesentliche und unwesentliche Beziehungen, die zu dieser Gesamtheit gehören. Wesentlich ist alles das, was die Grundqualität des Systems mehr oder weniger verändert oder gar zerstört. Qualität ist dabei als die Gesamtheit der notwendigen und zufälligen, wesentlichen und unwesentlichen Beziehungen des Systems in einem bestimmten Zeitintervall, im Unterschied zu anderen Systemen, zu bestimmen. Wenn wir zwischen der Systemstruktur als Gesamtheit aller Beziehungen und den Systemgesetzen als den allgemein-notwendigen, d.h. reproduzierbaren, und wesentlichen, d. h. den Charakter des Systems bestimmenden Beziehungen, unterscheiden, dann orientierten die Überlegungen von Helmholtz auf die Suche nach den Gesetzen, oder wie er es ausdrückte, nach den Substanzen als den unveränderlichen Bewegungsgrößen, zu denen die Energieerhaltung und Naturkonstanten gehören. Der riesige Umfang des wissenschaftlichen Materials könne mit solchen Größen geordnet werden.

Es kann die Rückführung der Vielfalt der Erscheinungen entweder auf wenige Prinzipien oder ein Grundprinzip erfolgen. Das führt z. B. zur Suche mathematischer Physiker nach der Weltformel. Man kann auch die Substanzen selbst suchen, weshalb Hochenergiephysiker sich mit den stofflich-energetischen Grundbestandteilen der Naturphänomene befassen. Grundprinzip kann so entweder ein stofflich-energetisches Urphänomen (Goethe) oder eine gesetzmäßige Struktur, wie die Symmetrieprinzipien, also informationell sein. Naturforscher wechseln zwischen der stofflich-energetischen und der strukturell-informationellen Betrachtung. Ziel sollte sein, in beiden Richtungen weiter zu forschen und eventuell einen Zusammenhang zwischen beiden aufzudecken. Das Wesen der Dinge ist nie allein in der Mathematik oder allein in einer Ursubstanz zu fassen. Jede mathematische Gleichung bedarf der Transformationsregeln, um zu beobachtbaren Ereignissen zu kommen. Jede

Ursubstanz ist dabei nicht nur Ausdruck wesentlicher, in der Mathematik erfassbarer Strukturen, sondern in der Wechselwirkung mit anderen Substanzen zu fassen, was zur Vielfalt der Naturphänomene führt. So hat sich die Suche nach den Substanzen als dem Wesen des Geschehens auf die Erkenntnis von Prinzipien der Strukturbildungs- und Entwicklungsmechanismen verlagert.

4. **Prinzipiengeflecht: Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzipien**

Man kann verschiedene Arten von Prinzipien unterscheiden:

- *Theoretische* Leitideen als Grundgedanken einer Theorie oder einer Klasse von Theorien.
- *Methodische* Arten des Herangehens an die Interpretation von experimentellen Ergebnissen, an die Aufstellung von Theorien und an die Vermittlung neuer Erkenntnisse. Sie umfassen sowohl allgemeine und spezifische programmatische Forderungen wie die nach Einfachheit oder nach der konkreten Ableitung überprüfbarer Folgerungen, als auch heuristische, d. h. erkenntnisfördernde, Hinweise als Suchanleitungen. Hieraus ergeben sich Motivationen. Dabei haben wir es mit einem System von Determinanten der Wissenschaftsentwicklung zu tun, die detailliert zu untersuchen sind und wozu unterschiedliche Konzeptionen existieren. (Hörz 1988, S. 136ff.)
- Jede wissenschaftliche Arbeit ist mit einer Hintergrundtheorie verbunden, die sich auf die Erforschbarkeit des Gegenstandes, auf Vermutungen über bestimmte Zusammenhänge, auf Wirkprinzipien u.a. bezieht, die meist nicht direkt reflektiert wird und als die Philosophie des Erkenntnissuchenden bezeichnet werden kann. Es handelt sich hier um ein konstruktives Vorurteil oder besser um ein *Vor-Urteil*, das erst noch zu bestätigen ist.
- Man kann dann auch von einem *Nach-Urteil* im doppelten Sinne sprechen. Einerseits geht es um die Bestätigung des Vor-Urteils durch die philosophische Interpretation der neuen Erkenntnisse. Andererseits kann aus dem bisherigen erfolgreichen Herangehen die Erwartung herausdestilliert werden, dass das bisher Bewährte auch zu weiteren Erfolgen führt. Das ist mit der Frage verbunden: Gelten die bisher anerkannten Prinzipien weiter?

Prinzipien haben so in der Wissenschaft sowohl übergreifenden Charakter, da sie in unterschiedlichen Disziplinen zu verwenden sind, als auch eine Brückenfunktion, indem sie auf Zusammenhänge in den Wissenschaften aufmerksam machen, etwa auf mathematisierbare Beziehungen (Hörz, Schimming 2009) oder auf gemeinsame philosophische Aspekte in verschiedenen spezialwissenschaftlichen Untersuchungen.

Um die Prinzipien der Physik besser in das Beziehungsgeflecht unterschiedlicher Prinzipien einordnen zu können, schlagen wir die Unterscheidung zwischen Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzipien vor, ausgehend davon, dass sich Menschen die Wirklichkeit gegenständlich, rational und ästhetisch aneignen, um sie besser zu erkennen und nach bestimmten Zielstellungen gestalten zu können. Dabei hat sich im Laufe der Geschichte unser Verständnis der Prinzipiengruppen herausgebildet.

Wirkprinzipien bestimmen das Geschehen in allen Wirklichkeitsbereichen. Sie sind die Gesetzmäßigkeiten, Regularitäten und wesentlichen Kausalbeziehungen für die Erhaltung, Entwicklung und Auflösung von Systemstrukturen und deren Funktionen. Deshalb kann man die Wirkprinzipien auch als Einheit von Struktur- und Funktionsprinzipien erfassen. Die spezifischen Wirkprinzipien für bestimmte Wirklichkeitsbereiche (Natur, Gesellschaft, Mensch, Technik, Aneignung der Wirklichkeit durch Menschen) werden von den entsprechenden Spezialwissenschaften untersucht und in Theorien formuliert. Durch Verallgemeinerung und spekulative Deduktion von Wirklichkeitsstrukturen baut die Philosophie dann eine Lehre vom Sein des Seienden, eine Ontologie, auf, deren Prinzipien durch Präzisierung für bestimmte Bereiche beweis- und widerlegbar werden. So kann man, wie an anderer Stelle ausführlich gezeigt, philosophische Prinzipien der Selbstorganisation menschlichen Verhaltens begründen. Dazu gehören die Wirkprinzipien der Entwicklung, der Kooperation, der Hierarchie und der Zielorientierung im Sinne relativer Ziele des Geschehens als Tendenzen der weiteren Entwicklung. (Hörz 1994a)

Auf der Grundlage erkannter Wirkprinzipien sind *Erkenntnisprinzipien* begründet worden. Sie umfassen die von Mathematik und Logik begründeten formalen Prinzipien der inneren Konsistenz von Theorien durch logische Widerspruchsfreiheit, der formalen Darstellung wirklicher Strukturen als mögliche formalisierbare Beziehungen ideeller Systeme und der darauf aufbauenden Heuristik als Suche nach bisher unbekanntem Zusammenhängen. Dazu gehören Forderungen nach Invarianz und Kovarianz, nach Symmetrien im Zusammenhang mit Symmetriebrechungen. Hinzu kommen Prinzipien der Anschaulichkeit, der Einfachheit u.a. Oft genannt wird Occam's razor. Dieses nach Wilhelm von Ockham (1285–1347) als Ockhams Rasiermesser oder Ockhams Skalpell benannte Prinzip, das in der Geschichte auch von anderen angewandt wurde, besagt, dass von mehreren Theorien, die den gleichen Sachverhalt erklären, die einfachste zu nehmen sei. Überflüssige Erklärungen sind eben dann abzuschneiden. Über Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und

Gestaltungsprinzip ist weiter zu arbeiten. Philosophische Erkenntnistheorien begründen dabei inhaltliche Erkenntnisprinzipien in allgemeiner Form. Dazu gehören die aus Wirkprinzipien abzuleitenden weltanschaulichen Leitideen als Erkenntnisprinzipien zur Welterklärung (Hörz 2006):

Das *Prinzip der Unerschöpflichkeit des materiellen Geschehens* hebt die mit dem aus Erfahrungen extrapolierten ewigen qualitativen Formwandel des Geschehens verbundene Vielfalt der Materiearten (von den fundamentalen Teilchen über anorganische und lebende Systeme bis zu den kosmischen Objekten) und Materieformen (Raum-Zeit-Strukturen, Bewegungsformen, Selbstorganisation, Transformationsprozesse in und zu neuen Entwicklungsniveaus, Informationsübertragung) hervor. Es gibt keine absolut stabilen Systeme. Ständig finden Prozesse der Strukturauflösung und -bildung statt.

Das *Prinzip der Strukturiertheit der Materie* besagt: Es existieren relativ geschlossene Systeme des Geschehens, die koexistieren und wechselwirken, niedriger und höher entwickelt sind und deren wesentliche Verhaltensweisen als objektive Gesetze und Regularitäten von Menschen erkannt werden, um sie als Handlungsorientierung zu nutzen.

Das *Prinzip der dialektischen Determiniertheit* umfasst die Bedingtheit (Kausalität) und Bestimmtheit (Grund von Ereignissen, objektive Gesetze als wesentliche Strukturen) der Objekte und Prozesse in der Wechselwirkung. Es richtet sich gegen den mechanischen Determinismus mit dem Laplaceschen Dämon, nach dem das gegenwärtige Geschehen eindeutig das zukünftige bestimmt, da Zufälle negiert werden. Kausalität im dialektischen Determinismus ist die zeitlich und inhaltlich gerichtete konkrete Vermittlung des Zusammenhangs in der Wechselwirkung, wobei Wirkungen verursacht werden. Das Kausalgesetz drückt aus, dass Wirkungen verursacht sind. Eine bestimmte Kausalbeziehung ist Einwirkung auf ein System als Ursache, die durch den vorhandenen Bedingungskomplex zu einem Möglichkeitsfeld führt, aus dem Möglichkeiten realisiert werden. Diese Einwirkung als Anfangsursache führt zu einer Endwirkung. Dabei gibt es zwischen Anfangs- und Endwirkung eine Vielzahl von Kausalbeziehungen. Zufällig ist das Mögliche, das nicht unbedingt eintritt, aber auch das, was als individueller Spielraum im notwendigen Geschehen einer Gesamtheit existiert. Verhaltensspielräume, die in Gesetzen auftreten sind in der statistischen Gesetzeskonzeption erfasst, die auf den dynamischen, stochastischen und probabilistischen Aspekt von Gesetzen verweist. (Hörz 2008) So werden beim Fallgesetz, außer dem dynamischen Aspekt, die vorhandenen stochastischen und probabilistischen Aspekte, die Schwankungen um den freien Fall im Vakuum durch reale Bedingungen, ver-

nachlässigt. Es ist ein potenzielles statistisches Gesetz, während die Schrödingergleichung ein quantitativ bestimmtes statistisches Gesetz ist, da die stochastischen Verteilungen sich mathematisch ableiten lassen. Man könnte für verschiedene Gesetzesformulierungen, deren dynamischer Aspekt bekannt ist, weil die notwendige Verwirklichung einer Möglichkeit für das System erkannt ist, Möglichkeitsfelder für das Verhalten der Elemente entdecken und dafür Bestimmungen wie mehr, gleich oder weniger wahrscheinliche Realisierungen angeben. Das wären qualitativ bestimmte statistische Gesetze. Sie spielen in den Sozialwissenschaften eine wichtige Rolle.

Das *Entwicklungsprinzip* erfasst den durch innere Triebkräfte und äußere Faktoren bedingten ständigen Qualitätswandel in und von Systemen durch Strukturbildung und Strukturauflösung. Entwicklung ist das Entstehen anderer, neuer und höherer Systemqualitäten im Prozess der Strukturbildung durch Selbstorganisation. Dazu gehört das Umschlagen quantitativer Veränderungen einer bestimmten Grundqualität in qualitative durch die Entstehung, Entfaltung und Zuspitzung, aber auch Lösung und Neusetzung objektiver dialektischer Widersprüche. Qualitätsumschläge führen zu neuen Möglichkeitsfeldern. Man kann eine Struktur der Entwicklungsgesetze erkennen, die die Phasen der Ausgangsqualität mit Möglichkeitsfeldern und der Realisierung einer Möglichkeit als Negation der Grundqualität mit neuem Möglichkeitsfeld in einer neuen Phase verbindet, in der sich eine Möglichkeit als dialektische Negation der Negation realisiert und eine dritte Phase einleitet. Für alle Bereiche sind jedoch Entwicklungsgesetze erst zu suchen. Sie können Langzeitzyklen umfassen, wie die Einheit von Theorie und Praxis im Herauslösen der Wissenschaft als Negation und die qualitativ höhere Verbindung von Wissenschaft und Gesellschaft als dialektische Negation der Negation. Die Geschichte liefert viele Hinweise auf solche noch nicht beendeten Zyklen, wie das Verhältnis von Individuum und Gemeinschaft, die Entwicklung soziokultureller Identitäten, die Herausbildung von Kreativitätspotenzialen mit der Revolution der Denkzeuge.

Diese inhaltlich bestimmten Erkenntnisprinzipien basieren auf den erkannten Wirkprinzipien und bedürfen stets der weiteren Präzisierung. Da es sich bei der Erkenntnis sowohl um die bei der Aneignung der Wirklichkeit erforschten Beziehungen, als auch um die für die Kommunikation dann darzustellenden Beziehungen handelt, können wir auch von Prinzipien der Erforschung und der Darstellung sprechen, die sich unterscheiden. Eine axiomatisch aufgebaute Theorie ist von zufälligen Faktoren bei ihrem Erwerb gereinigt, gewissermaßen entsubjektiviert, und nun allgemein vermittelbar.

Darstellungsprinzipien werden in didaktischen und methodischen Regeln weiter ausgearbeitet.

Gestaltungsprinzipien umfassen Leitideen konkret-historischer Menschengruppen als soziokultureller Identitäten mit einem bestimmten Wertekanon, um Interessen durchzusetzen und Zielvorstellungen zu verwirklichen. Die Gestaltung der Wirklichkeit erfolgt nach Effektivitäts- und Humankriterien, worauf hier nicht weiter einzugehen ist. Die Zukunft ist offen, doch gestaltbar. Das drücken wir mit dem *Prinzip der Zukunftsgestaltung* aus. Es umfasst die Zielsetzung für das individuelle und gesellschaftlich organisierte Handeln mit Idealen, Strategien, Programmen, Plänen, Vorgaben und Vorhaben. Ergänzt wird es durch das *Prinzip der Humanität*, das die Erhaltung der menschlichen Gattung und ihrer natürlichen Lebensbedingungen, die friedliche Lösung von Konflikten, Toleranz gegenüber kulturellen Unterschieden und die Erhöhung der Lebensqualität aller Glieder einer soziokulturellen Einheit fordert. Während die Physik nach den fundamentalen Gesetzen des Geschehens sucht, ist die Verwertung der Erkenntnisse durch die Gesellschaft mit den Gestaltungsprinzipien verbunden.

5. Prinzipien der Physik im System der Prinzipien

Die genannten Tendenzen der Welterklärung, die Vereinheitlichung und die Differenzierung, finden wir auch in der Entwicklung der Physik. Jede Differenzierung durch das Eindringen in neue Bereiche führte zur Suche nach übergreifenden Wirkprinzipien, nach dem Erkenntnisprinzip von der substantiellen und relationalen Einheit der Welt, um Gestaltungsprinzipien zu finden, mit denen neue Erkenntnisse zur effektiveren und humaneren Gestaltung menschlicher Lebensbedingungen zu nutzen waren. Schon die Überlegungen von Treder zum Prinzip der kleinsten Wirkung und zum Erkenntnisprinzip vom zureichenden Grund zeigen, dass die Prinzipien der Physik nicht unabhängig vom umfassenden Beziehungsgeflecht der Prinzipien sind. Auch sie kann man in Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzipien einteilen. Auf diesen Zusammenhang machte Treder aufmerksam, als er schrieb: „Die entscheidenden Arbeiten von Helmholtz, Planck, Einstein und Schrödinger gingen explizit oder implizit von erkenntnistheoretischen Fragestellungen aus, die die Prinzipien der Physik betrafen. Aber alle diese Physiker pflegten neben der Prinzipienforschung die umfassende Anwendung der Prinzipien zur Aufhellung der Prozesse und Strukturen.“ (Treders 1975, S. 18) Als historisches Beispiel könnte man die Erfindung des Augenspiegels durch Helmholtz nennen. Die Sorgen der Augenärzte kannte er aus eigener Erfahrung. So nutz-

te er die Theorie des Augenleuchtens sowie die Einsicht in optische Wirkprinzipien, um das hilfreiche Instrument zu gestalten. (Hörz 1994b) Inzwischen hat die Physik umfassende Anwendung in großtechnischen Anlagen, im Maschinenbau, der Elektrotechnik, bei der Waffenproduktion, im Verkehrswesen gefunden. Auf die dabei auftretenden Gefahrenpotenziale kann hier nur hingewiesen werden, da die Frage nach der Wissenschaft als moralischer Instanz hier nicht zu behandeln ist. (Hörz 2007a)

Die Physik ist, wie jede Wissenschaftsdisziplin, durch einen zu erforschenden Objektbereich (Gegenstand), spezifische Methoden, ein Begriffsinstrumentarium mit Grundlagentheorien und durch Forschende und Lehrende mit einem bestimmten Erkenntnisstand bestimmt. Physik ist als Wissenschaft von den fundamentalen Prozessen der Wirklichkeit Rahmentheorie für die anderen Wissenschaften. Durch eingeschränkte Bedingungen für die Existenz und Veränderung organischer Substanzen, lebender Organismen, sozialer Systeme, personalen Verhaltens usw., können sich dort nicht alle Möglichkeiten verwirklichen, die in den Gesetzen der Physik enthalten sind, doch generell gilt: Kein Systemverhalten verletzt die fundamentalen Gesetze. Diese werden erkannt und mit Gesetzesformulierungen, wenn möglich mathematisiert, in Theorien eingeordnet.

Die Vielfalt der Disziplinen wächst. Wir haben es sowohl mit der Erforschung bestimmter Bewegungsformen, wie anorganische, organische, lebende, soziale und ihren Beziehungen zu tun, als auch mit Komplexen von Bewegungsformen, wie etwa in den Geo-, Lebens- und Humanwissenschaften. Bedürfniskomplexe, wie Rohstoffe, Energie, Gesundheit, Ernährung, Umwelt, Persönlichkeit u. a. werden ebenso untersucht, wie Tätigkeitsaspekte in ihrem historischen und systematischen Zusammenhang, wozu Produktion, Konsumtion, Kultur und Bildung gehören. Allgemeine Aspekte der Struktur, des Verhaltens und der Evolution von Systemen sind Gegenstand von Mathematik, System- und Selbstorganisationstheorien. Die Physik ist die fundamentale Rahmentheorie für alle anderen.

Die Physik untersucht Teilchen, Kräfte, Medien und Felder in Raum und Zeit. Sie expliziert diese allgemeinen Begriffe entweder durch Berufung auf *Empirisches*, die praktische Gestaltung der Wirklichkeit, d. h. Beobachtungen, Messungen, Experimente, oder auf *Mathematisches*, auf mögliche formalisierbare Beziehungen in idealisierten Systemen. Den *Kern der Physik* bilden in der Einheit von Empirischem und Mathematischem deduktiv aufgebaute Theorien, in denen spezifische Begriffe und Sätze entwickelt werden. Dieser Dreiteilung entspricht die Einteilung in Theoretische Physik (theoreti-

scher Kern), Experimentalphysik (Empirisches) und Mathematische Physik (Mathematisches).

In wissenschaftstheoretischen Arbeiten von K. Popper mit seinem Prinzip der Falsifizierung von Theorien, Paul Feyerabend mit der kritischen Vernunft, Thomas S. Kuhn mit dem Paradigmenwechsel u.a., wird auf unterschiedliche Aspekte im Verständnis von Wissenschaft hingewiesen, auf die hier nicht weiter eingegangen werden soll. (Hörz 1988) Greifen wir nur eine Betrachtungsweise heraus. G. Holton spricht von drei Dimensionen einer Wissenschaft: dem Analytischen, Empirischen und Thematischen. „Die thematische Dimension stellt die grundsätzlichen Annahmen, Begriffe, methodischen Urteile und Entscheidungen dar, die selbst nicht aus objektiv beobachtbaren Tatbeständen oder logisch mathematischen oder anderen Überlegungen ableitbar sind.“ (Holton 1984, S. 19) Umschreibung eines Themas sind nach Holton fundamentales stabiles und weitverbreitetes Vorurteil, Vorstellungswerkzeug, Leitmotiv, ewige Frage. Als Beispiele nennt er Erhaltungssätze, Symmetrie, die Idee der Geometrisierung u.a. Als Themata würden auch häufig Gegensatzpaare auftreten, wie Konstanz versus Veränderung, Diskretes versus Kontinuierliches.

Das Analytische bei Holton identifizieren wir mit dem theoretischen Kern im Verein mit dem Mathematischen. Wir ersetzen den Begriff des Themas, der sich nicht bewährt hat, durch den älteren und etablierten Begriff des Prinzips. Damit ist eine Bedeutungserweiterung verbunden, denn ein Prinzip kann sowohl ein Vor-Urteil im Sinn der philosophischen Rahmentheorie als Wertmaßstab, Heuristik oder Programm zur Suche und Aufstellung einer Theorie sein, als auch ein Nach-Urteil im Sinn der philosophischen Interpretation der neuen Theorie in Verbindung mit präzisierten Auffassungen zum Vor-Urteil und damit eine Leitidee für das weitere Vorgehen, wobei das Nach-Urteil wieder zum Vor-Urteil wird. Erhard Scheibe, der sich mit dem Verhältnis von Rationalismus und Empirismus befasst (Scheibe 2001) und auch die philosophische Selbstreflexion von Physikern im 19. und 20. Jahrhundert über ihr eigenes Tun untersucht (Scheibe 2007), machte schon früher darauf aufmerksam, dass ein Prinzip sowohl relativ apriori (Vor-Urteil), als auch relativ a posteriori (Nach-Urteil) sein kann. (Scheibe 1988)

Prinzipien der Physik sind fundamental für die Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzipien anderer Wissenschaften. Zugleich nutzt die Physik die von der Mathematik entwickelten Erkenntnisprinzipien, wie die von der Philosophie in der Einheit von Ontologie und Gnoseologie begründeten Prinzipien der Welterklärung im Sinne von Vor-Urteilen, ihre allgemeinen daraus

abgeleiteten Erkenntnis- und Gestaltungsprinzipien, und präzisiert mit den Nach-Urteilen philosophische Erkenntnisse in einem komplizierten Erkenntnisprozess. (Hörz 2007b)

6. Zur Einheit der Physik

Der prinzipielle Gedanke von der Einheitlichkeit des Geschehens ist auch Erkenntnisprinzip der Physik. Er vereint Universalität und Ganzheitlichkeit, d.h. die Erfassung eines möglichst großen Gültigkeitsbereichs mit möglichst kleinem theoretischem Aufwand. In der Physik ist das die Suche nach der „ultimativen Theorie“, der „Theorie für alles“, der „Weltformel“ oder gar dem „Ende der Physik“. So ist die Geschichte der Physik zugleich eine Geschichte theoretischer Vereinheitlichung. Als wesentliche Etappen nach der Herauslösung der Physik als Wissenschaftsdisziplin aus der Naturphilosophie seien genannt:

- Newtons Theorie von 1686 als Einheit von irdischer Schwerkraft und Himmelsmechanik.
- Maxwells Elektrodynamik von 1856 als Einheit von Elektrik, Magnetismus und Optik.
- Boltzmanns Thermodynamik ab 1866 als Einheit von statistischer Mechanik und Wärmelehre.
- Einsteins Spezielle Relativitätstheorie von 1905 als Einheit von klassischer Mechanik und Elektrodynamik.
- Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie von 1915 als Einheit von spezieller Relativitätstheorie, Newtonscher Gravitationstheorie und Riemannscher Geometrie.

Das Programm der Vereinheitlichung wird weiter betrieben, um den Zusammenhang zwischen den Feldern, Kräften oder Wechselwirkungen, also der starken, schwachen und elektromagnetischen Wechselwirkung mit der Gravitation, theoretisch einheitlich zu erfassen. „Große Vereinheitliche Theorien“ nehmen an, dass es bei extrem hohen Energien nur ein „X-Teilchen“ gäbe. Die bekannten Teilchen hätten sich durch Symmetriebrechung bei niederen Energien ausdifferenziert. Dabei geht es um die Ablösung des Dualismus von Teilchen und Feldern, von Stoff und Kraft, generell von Substanz und Relationen in einer monistischen Auffassung, bei der das eine auf das andere zurückgeführt werden kann. Die Modellierung von Teilchen durch Felder, das Einsteinsche Partikelprogramm, ist teilweise erfolgreich. Die Modellierung von Feldern durch Teilchen gelang nicht.

Philosophisch ist es fraglich, ob eine generelle Rückführbarkeit der Teilchen auf die Felder oder der Felder auf die Teilchen überhaupt dem wirklichen Geschehen entspricht. Felder (Wellen) drücken Wirkungsmöglichkeiten aus, Teilchen (Korpuskeln) Realisierungen von Möglichkeiten. Es ist also ein übergreifender theoretischer Ausdruck zu finden, der die Einheit von Möglichkeit und Wirklichkeit repräsentiert, aus dem sich jedoch dann die Teilchen und Felder wieder ableiten lassen. Es geht also weniger um die Reduktion von Materiearten auf Materieformen oder umgekehrt, sondern um die Aufdeckung fundamentaler Mechanismen in der Materiestruktur, aus denen sich Materiearten und -formen ableiten lassen.

Als Kandidaten für die Vereinheitlichung der 4 Wechselwirkungen gelten:

- Supersymmetrie: Jedes Boson hat ein Fermion als Partner und umgekehrt, wobei die Umwandlung in den Partner möglich ist.
- Stringtheorie: Sie ersetzt das Konzept der punktförmigen Partikel durch das der Strings, die man sich als bewegliche Fäden vorstellen soll. Diese Fundamentaltheorie ging aus einer speziellen Theorie der Hadronen (ca. 1970) hervor.
- Superstringtheorie/Membrantheorie/M-Theorie: Dabei handelt es sich um Weiterentwicklungen der ursprünglichen Stringtheorie.
- Schleifen-Gravitations-Theorie: Raum und Zeit sind diskret. Physikalische Prozesse sind die Fäden eines Netzwerks, dessen Knoten die Raum-Zeit-Punkte sind.

Das Prinzip der Vereinheitlichung wird weiter verfolgt und wird uns sicher interessante Einsichten in die substanziellen und relationalen Grundlagen allen Geschehens vermitteln. Die Herausbildung neuer Theorien, wie der Relativitäts- und Quantentheorie, hebt zwar die bisherige Erkenntnis der Gesetze (Prinzipien) nicht auf, beschränkt jedoch ihre Gültigkeit auf bestimmte Bedingungen. Neue Erkenntnis- und experimentelle Gestaltungsmöglichkeiten durch Präzisionsinstrumente, Beschleuniger, Raumforschung usw. schaffen für uns neue Bedingungen, die uns bisher unbekannte Mechanismen des Geschehens aufdecken lassen. Insofern ist die Prinzipienkenntnis zwar nie abgeschlossen, doch auch dadurch bestimmt, dass bisher begründete Prinzipien für ihre Existenz- und Wirkungsbedingungen aus den neuen Prinzipien ableitbar sein müssen. Sollte etwa der Large Hadron Collider in Genf bisheriges prinzipielles Herangehen nicht bestätigen, so wäre über die Prinzipien der Physik zwar neu nachzudenken, doch bisherige wären nicht aufzugeben, sondern auf Geltungsbedingungen einzuschränken.

7. Prinzipien physikalischer Theorienbildung

Wir kommen nun zur Darlegung spezifischer Prinzipien der physikalischen Theorienbildung als Präzisierung allgemeiner Prinzipien. Dazu gehören: (1) Variationsprinzipien und Erhaltungssätze, (2) Lokalität, (3) Symmetrie, Invarianz, Kovarianz, doch auch (4) die Optimierung der Erkenntnis. Am Beispiel der Gravitationstheorien wird dann gezeigt (5), welche Prinzipien ihrer Bildung zu Grunde liegen.

(1) Variationsprinzipien und Erhaltungssätze: Fundamentale Differentialgleichungsgesetze für Teilchen und Felder sind Euler-Lagrange-Gleichungen zu einem Variationsprinzip. Das physikalische Gesetz ist dann gleichbedeutend damit, dass ein bestimmter Integralausdruck, genannt Wirkungsintegral, stationär wird. Demnach ist die gesamte Information des Gesetzes schon im Integranden, genannt Lagrangefunktion oder Lagrangian, kodiert. Diese Reduktion ist Ausdruck der Prinzipien der Einfachheit und Sparsamkeit.

(2) Lokalität: Die mit Differentialgleichungen formulierten Gesetze der Physik drücken, im Gegensatz zu gemischten oder Integralgleichungen, Lokalität in Raum und Zeit aus, d.h. Teilchen, Medien und Felder bewegen oder verbreiten sich mit Nahwirkung von Zeitpunkt zu Zeitpunkt, im Gegensatz zur Fernwirkung. Kausalität als direkte, konkrete und fundamentale Vermittlung des Zusammenhangs von Objekten und Prozessen in ihrer Wechselwirkung wird so physikalisch erfasst. Doch auf der Grundlage von Kausalbeziehungen existieren weitere Formen des Zusammenhangs, wie die Durchsetzung der Notwendigkeit im Zufall, die Verwirklichung von Möglichkeiten, die Formierung von Inhalten, die Strukturierung des Chaos, die im dialektischen Determinismus erfasst werden. Physikalisch präzisiert haben wir es mit verschiedenen partiellen Differentialgleichungen zu tun, deren philosophischer Gehalt unterschiedlich ist. Hyperbolische Differentialgleichungen beschreiben Wellenvorgänge, parabolische Ausgleichsvorgänge und elliptische stationäre Zustände.

(3) Symmetrie, Invarianz, Kovarianz: Wird an einem Objekt (geometrische Figur, mathematischer Raum, Differentialgleichung) eine Transformation ausgeführt und ist diese danach nicht feststellbar, so liegt eine Symmetrie des Objekts vor. Diese hat eine formale und eine inhaltliche Seite. Formal geht es bei der Symmetrie um die Invarianz gegenüber aktiven Transformationen von Raum, Zeit und/oder innerem Zustandsraum. Dazu nutzen wir die Theorie der Transformationsgruppen. Wirkliche Prozesse werden von uns dabei oft symmetrisiert, um sie in ihren Strukturen besser erkennen und ein-

ordnen zu können. Doch diese Symmetrisierung ist eine Abstraktion von wirklichen Asymmetrien, die selbst wesentlich werden können, wenn es etwa um die Entstehung unseres Kosmos, um Entropie, um bestimmtes Elementarteilchenverhalten geht. Sind die von der Physik untersuchten Strukturen und Prozesse unabhängig vom Bezugssystem des Beobachters und von der Wahl des Koordinatensystems, was für die universelle Gültigkeit physikalischer Gesetze wesentlich ist, dann ist Kovarianz, d.h. Forminvarianz unter passiven Transformationen, wie Wechsel des Koordinaten- oder Bezugssystems, gefordert. Dafür nutzen wir die Differentialgeometrie, in der physikalische Größen als geometrische Objekte genommen werden. Physikalische Gesetze sollen eichinvariant, also kovariant bezüglich innerer Zustandsräume, sein.

(4) Optimierung der Erkenntnis: Indem wir einfache, einheitliche und anschauliche Strukturen in der Wirklichkeit aufsuchen, optimieren wir unsere Erkenntnis über die sonst uns so erscheinende chaotische Vielfalt, die jedoch eine innere Struktur besitzt, deren Prinzipien (Gesetze) wir erkennen wollen. Die Welt ist zwar einfach, einheitlich und anschaulich, doch wir sollten uns vor Vereinfachungen hüten, da Einfachheit nicht als Undifferenziertheit zu verstehen ist, und Anschaulichkeit stets die Hervorhebung des rational erkannten Wesens in unserer sinnlichen Erkenntnis umfasst. Was für uns anschaulich ist, hängt von der Erfahrung, unserem Wissen und unserer traditionellen Vorstellung ab. Um ein Beispiel zu nennen: Wir erfassen einen konkreten Raum, etwa eine Halle, in der Dreidimensionalität als ausgedehnt in Länge, Breite und Höhe. Dieses anschauliche Bild unserer Sinne ist eine Abstraktion vom wirklichen Raum, dessen Wände, von uns vernachlässigt, selbst wieder aus dreidimensionalen Raumpunkten zusammengesetzt sind.

Die auf Wirkprinzipien basierenden Erkenntnisprinzipien Einfachheit, Einheitlichkeit und Anschaulichkeit sind Prinzipien der Erkenntnisoptimierung, die jedoch im Resultat einer ständigen kritischen Überprüfung bedürfen. Eine bestimmte Zielgröße wird minimiert oder maximiert unter sinnvollen Einschränkungen, die durch das Erkenntnis- oder Gestaltungsziel bestimmt sind.

(5) Gravitationstheorien: Albert Einstein hat bekanntlich seine Theorie von Raum, Zeit und Gravitation von 1915 Allgemeine Relativitätstheorie (ART) genannt. Sie beruht auf Grundsätzen, die in ihrer Gesamtheit einem Axiomensystem nahekommen. Dazu gehören:

1. Wahl der Geometrie: Raum und Zeit bilden zusammen eine vierdimensionale glatte Mannigfaltigkeit M . Diese ist mit einer Riemannschen Metrik g Lorentzscher Signatur versehen. Das Paar (M, g) heißt kurz auch Raumzeit.

2. Äquivalenzprinzip: Genau die Metrik g repräsentiert das Gravitationsfeld.
3. Prinzip der minimalen gravitativen Kopplung: Von den Gesetzen der Speziellen Relativitätstheorie (SRT) in kartesischen Koordinaten für die physikalischen Entitäten, d.h. für alle Teilchen, Medien und Felder, außer dem Gravitationsfeld, gelangt man zur ART, indem man die flache Metrik durch die gekrümmte Metrik g und die partiellen Ableitungen nach den Koordinaten durch die kovarianten Ableitungen bezüglich g ersetzt.
4. Universalität des Energie-Impuls-Tensors: Die physikalischen Entitäten (manche sprechen von physikalischer Materie) wirken genau über ihren Beitrag zum Energie-Impuls-Tensor T als Quelle des Gravitationsfeldes.
5. Variationsprinzipien: Die Differentialgesetze für Teilchen, Medien und Felder folgen aus Variationsprinzipien. Für deren Integranden, genannt Lagrangefunktionen, gilt Grundsatz 3.

Die Lagrangefunktion des Gravitationsfeldes ist gleich der Skalarkrümmung von g multipliziert mit einer Kopplungskonstanten.

6. Anschluss an die Physik vor der ART: Im Grenzfall sehr kleiner Krümmung von g geht die ART in die SRT über. Im Grenzfall sehr kleiner Krümmung und im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit kleiner Geschwindigkeiten gelten die klassische Mechanik und die Newtonsche Gravitationstheorie.

Die ART stellt Gravitation geometrisch den übrigen physikalischen Entitäten gegenüber. In einem bekannten Lehrbuch heißt es dazu: „Spacetime tells matter how to move. Matter tells spacetime how to curve.“ (Misner 1973)

Die Literatur zu den Grundsätzen oder Prinzipien der ART ist kaum zu übersehen. Zu den profundesten Autoren gehört dabei Hans-Jürgen Treder. (Vgl. Schimming 2008 und die dort genannten Publikationen von Treder)

Die ART ist eine empirisch sehr erfolgreiche Theorie. Alle praktischen Überprüfungen hat sie bestanden. Trotzdem wird seit ihrer Aufstellung nach alternativen Theorien gesucht. Darunter versteht man geometrisierte Gravitationstheorien, die sich von der ART unterscheiden. Der Grund für die Suche liegt in theoretischen Defiziten der ART oder in dem, was man für Defizite hielt oder hält, nämlich:

- Nur ein Feld, eben das Gravitationsfeld, ist geometrisiert.
- Die ART ist eine Theorie für Tensorfelder, während die Quantentheorie Spinorfelder als die eigentlichen fundamentalen physikalischen Größen ausgemacht habe.
- Gravitationsenergie ist nicht lokalisierbar, ja es gibt Schwierigkeiten, sie überhaupt geeignet zu definieren.

- Singularitäten physikalisch wichtiger Lösungen der Einsteinschen Gleichungen sind unvermeidlich, so astrophysikalische (Zentrum eines Black Hole) und kosmologische (Big Bang, Big Crunch)
- Als Lösungen der Einsteinschen Feldgleichungen treten auch unliebsame exotische Objekte auf, so Zeitreisen, Wurm Löcher und kosmische Strings.
- Die Einsteinschen Gleichungen widersetzen sich einer Quantisierung nach den Regeln der Quantenfeldtheorie. Quantengravitation gibt es nur als Rezeptsammlung, nicht als ganzheitliche Theorie.

Man kann die alternativen Theorien im oben genannten Sinn grob unterteilen in (1) rein metrische, in denen allein eine Riemannsche Metrik g die Gravitation repräsentiert, und (2) in erweiterte, die eine reichhaltigere Geometrie als die Riemannsche zu Grunde legen. Bei der Suche nach rein metrischen alternativen Theorien stehen die Dimension der Raum-Zeit-Mannigfaltigkeit (in der ART 4), die Ordnung der Feldgleichungen (in der ART 2) oder ein anderer Grundsatz zur Disposition. Unter den höherdimensionalen Theorien haben die vom Kaluza-Klein-Typ die größte Bedeutung, unter den Theorien höherer Ordnung diejenigen mit der Ordnung 4. Bei den erweiterten Gravitationstheorien besteht die geometrische Basis entweder aus einer Metrik und einem Zusatzobjekt oder aus einem „Superobjekt“, aus dem eine Riemannsche Metrik ableitbar ist. Die Theorien ersten Typs umfassen Metrik + Skalarfeld, Metrik + Vektorfeld, Metrik + Torsion, Metrik + offener Zusammenhang, Metrik + Metrik (bimetrische Theorien). Zu den Theorien zweiten Typs gehören solche mit unsymmetrischem Fundamentaltensor oder mit Fernparallelismus (d.h. mit ausgezeichneten 4-Bein oder n-Bein). Eine noch allgemeinere Basis wäre etwa die Finsler-Geometrie, die aus der Variationsrechnung heraus entstanden ist und überraschende Parallelen zur Riemann-Geometrie aufweist.

H.-J. Treder hat zahlreiche alternative Theorien diskutiert, zu einigen nennenswerte Beiträge geleistet und selbst eine alternative Theorie, die Treder-sche Tetradentheorie, vorgeschlagen. Dazu finden sich Bemerkungen an anderer Stelle. (Schimming 2008)

8. Fazit

1. Es existieren unabhängig von den Menschen Wirkprinzipien, die das Geschehen in allen Wirklichkeitsbereichen bestimmen. Es sind die Gesetzmäßigkeiten, Regularitäten und wesentlichen Kausalbeziehungen für die Erhaltung, Entwicklung und Auflösung von Systemstrukturen und deren Funktionen. Sie sind von uns zu erkennen und in Theorien zu formulieren.

- Auf ihnen sind unsere Erkenntnis- und Gestaltungsprinzipien aufgebaut.
2. So werden die erkannten Wirkprinzipien zu begründeten Leitideen für die Welterklärung, für unser Erkennen und Handeln. Wir haben es stets mit einem zusammenhängenden Geflecht von Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzipien zu tun, die allgemein mathematisch formal und philosophisch inhaltlich bestimmt sind. Die Physik als fundamentale Wissenschaft aller Bewegungen von Körpern, Medien und Feldern präzisiert sie als Vor-Urteile, wobei ihre Einhaltung zu neuen Erkenntnissen führt, die als Nach-Urteile Präzisierungen in Philosophie und Mathematik herausfordern und zugleich wiederum als Vor-Urteile für weitere Erkenntnis genutzt werden.
 3. Allgemeinste philosophische Prinzipien sind die Unerschöpflichkeit des Geschehens als Herausforderung für ständige Erkenntniskritik, die Strukturiertheit als Ordnungsprinzip, die dialektische Determiniertheit mit der Anerkennung objektiver Zufälle als möglichen Tendenzen weiterer Veränderungen als Überwindung einer Auffassung vom Automatismus des Geschehens, der nichts Neues zulässt, und das Entwicklungsprinzip, das die Entstehung höherer Qualitäten, gemessen mit Effektivitäts- und Humankriterien, mit Phasen der Stagnation und Regression in Entwicklungszyklen verbindet. Entscheidend für unsere Welterklärung ist das Prinzip der Vereinheitlichung, das sich in einem dialektisch-monistischen Verständnis des inneren Zusammenhangs differenter Objekte und Prozesse ausdrückt und uns nach einheitlichen Theorien auch in der Physik suchen lässt.
 4. In der Physik werden allgemeine Prinzipien präzisiert, Gesetze mit mathematischen Gleichungen formuliert, Erhaltungssätze begründet, Symmetrien erkundet, Invarianz und Kovarianz festgestellt. Kausalität drückt sich dabei in der Forderung nach Lokalität aus. Die physikalischen Präzisierungen bedürfen der philosophischen Analyse und Kritik, wie auch die philosophische Interpretationen ständig neu zu überprüfen sind.
 5. Die Optimierung unserer Erkenntnis erfolgt mit den Prinzipien der Sparsamkeit, der Einfachheit und Anschaulichkeit. Sie basieren auf erkannten Wirkprinzipien und bedürfen der ständigen kritischen Analyse, um die Modelle, die als-ob-Objekte oder als-ob-Theorien sind, und bestimmte Aspekte des Geschehens erfassen, nicht philosophisch reduktionistisch als Gesamtsicht der wirklichen Objekte zu nehmen oder sie als Kreativitätsbarriere für die Suche nach neuen Theorien aufzubauen.
 6. Prinzipien der Physik im Sinne der Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungs-

prinzipien sind nie vollständig erkannt. Die Suche nach neuen Prinzipien geht unter neuen Bedingungen immer weiter. Doch bisher bekannte und begründete Prinzipien gelten unter ihren Existenz- und Wirkungsbedingungen weiter.

Literatur

- Aristoteles (1907), *Metaphysik*. Ins Deutsche übertragen von Adolf Lasson, Jena: Eugen Diederichs
- Bacon, Francis (1870), *Franz Bacon's Neues Organon*. Übersetzt, erläutert und mit einer Lebensbeschreibung des Verfassers versehen von J. H. von Kirchmann, Berlin: L. Heimann
- Hörz, Herbert (1988), *Wissenschaft als Prozeß. Grundlagen einer dialektischen Theorie der Wissenschaftsentwicklung*, Berlin: Akademie-Verlag
- Hörz, Herbert (1994a), *Selbstorganisation sozialer Systeme*, Münster: LIT Verlag
- Hörz, Herbert (1994b), *Physiologie und Kultur in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts*. Marburg: Basiliken-Press
- Hörz, Herbert (2000), *Naturphilosophie als Heuristik? Korrespondenz zwischen Hermann von Helmholtz und Lord Kelvin (William Thomson)*. Marburg: Basiliken-Press.
- Hörz, Herbert (2006) *Dialektik als Heuristik*, in: *Erwägen, Wissen, Ethik*, 17.Jg. (2006), Heft 2, S. 167-176
- Hörz, Herbert (2007a), *Ist Wissenschaft eine moralische Instanz? In: Sitzungsberichte Leibniz-Sozietät der Wissenschaften*, Bd. 93 (2007), S. 25-50
- Hörz, Herbert (2007b), *Wahrheit, Hoffnung und Glaube. Philosophie als Brücke zwischen Wissenschaft und Weltanschauung*, Berlin: trafo Verlag
- Hörz, Herbert (2008), *Statistische Gesetzeskonzeption. Zur Genese einer philosophischen Theorie*, in: Gerhard Banse, Herbert Hörz, Heinz Liebscher (Hrsg.), *Von Aufklärung bis Zweifel*, Berlin: trafo Verlag, S. 129-152
- Hörz, Herbert, Schimming, Rainer (2009), *Die unglaubliche Effektivität der Mathematik in den Wissenschaften – Zur Konzeption eines Rationalen Potenzialismus*, in: *Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften (im Druck)*
- Holton, Gerald (1984), *Themata. Zur Ideengeschichte der Physik*. Braunschweig, Wiesbaden: Friedrich Vieweg & Sohn
- Lukrez (1957), *Über die Natur der Dinge*. Aus dem Lateinischen übersetzt von Hermann Diels, Berlin: Aufbau-Verlag
- Misner, Charles W. et al (1973): *Gravitation*. San Francisco: Freeman
- Scheibe, Erhard (1988), *Kant's Apriorism and some modern positions*, in: E. Scheibe (ed), *Conference of the International Academy of Philosophical Sciences 1986*, Berlin. De Gruyter, p. 1-22
- Scheibe, Erhard (2001), *Between rationalism and empiricism*, New York : Springer Verlag

- Scheibe, Erhard (2007), *Die Philosophie der Physiker*, München: C. H. Beck
- Schimming, Rainer (2006), *Dialektik als Metaphysik*, in: *Erwägen, Wissen, Ethik*, 17.Jg. (2006), Heft 2, S. 225
- Schimming, Rainer (2008): *Nachrufe für verstorbene Mitglieder. Prof. Dr. habil. h.c. mult. Hans-Jürgen Treder*. *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften* 94 (2008), S. 189-197
- Treder, Hans-Jürgen (1975), *Zur Geschichte der Berliner Physik an der Berliner Akademie 1870 bis 1930*, in: *Physiker über Physiker*, Berlin: Akademie-Verlag, S. 11-48
- Treder, Hans-Jürgen (1999), *Über die Unvollendbarkeit der menschlichen Erkenntnis. Vorträge zu philosophischen Problemen der Physik*, Berlin: Edition Weltfenster des Leibniz-Arbeitskreis Berlin e.V., hrsg. v. Doris Kiekeben