

der zu vergleichen. Von einer Deformation der Welt zu sprechen, hat nur Sinn, wenn es irgend etwas gibt, das ~~an~~ an der Deformation nicht teilnimmt und woran die Veränderung festgestellt werden könnte, was natürlich durch Koinzidenzbeobachtung zu geschehen hätte. Eine Verzerrung, die alle Koinzidenzen bestehen lässt (keine neuen erzeugt, keine alten zum Verschwinden bringt) ist überhaupt keine Veränderung der Welt, sondern nur die Einführung einer neuen Sprechweise, nämlich z. B. die Ersetzung eines Cartesischen Bezugssystems durch beliebig Gauss'sche Koordinaten. Bei Aufrechterhaltung aller Koinzidenzen von einer Verzerrung zu sprechen, hiesse ja, eine Längenänderung der starren Körper, also auch der Masstäbe annehmen. Dies wäre aber ein Widerspruch gegen unsere Längendefinition, weil nach dieser die Länge allein durch Koinzidenzen bestimmt wird.

13. V. 36
N. A. unterschieden
zwischen physischer
und reinen Geometrie

Von Punkten, Geraden und räumlichen Gestalten können wir bisher nur in physischer Bedeutung sprechen. (D.h. eine Gerade z.B. ist ein physikalischer ^{kali} ~~ausgezeichnet~~ Gegenstand). Unter einer Linie müssen wir z.B. eine kontinuierliche Reihe von materiellen Punkten auf einem Körper verstehen (Kante). Die Einführung eines beliebigen idealen Bezugssystems kann nur dadurch erfolgen, dass wir uns Liniensysteme (Flächenscharen) physisch markiert denken und festsetzen, dass sie als Koordinaten dienen sollen. Ich kann die Natur mit Hilfe ganz beliebiger Bezugssysteme beschreiben oder wie man zu sagen pflegt, mit Hilfe beliebiger Geometrien. Gelänge es, die Naturgesetze so zu formulieren, dass sie nur solche Aussagen über Koinzidenzen enthalten, die für beliebige Bezugssysteme gelten, so enthalten sie ein Minimum von willkürlichen Beschreibungsmitteln, gäben also die Natur gleichsam am treuesten wieder.

Dass die Geometrie ein Teil der Physik sei, hat schon Newton gewusst, als er sie erklärte als „denjenigen Teil der allgemeinen Mechanik, welcher die Kunst des Messens genau feststellt und begründet“. Einstein spricht dasselbe aus, wenn er sagt, sie sei die „Lehre von

den Lagerungsmöglichkeiten der starren Körper" (Geometrie und Erfahrung). Von der Geometrie als Lehre von den Lageverhältnissen starrer Körper unterscheiden wir die reine oder mathematische Geometrie, die wir als hypothetisch, deduktives System im früher erläuterten Sinne auffassen können. Ursprünglich gelangte man zur mathematischen euklidischen Geometrie auf folgendem Wege: Die Erfahrung zeigte, dass aus gewissen Lage- oder Grössenbeobachtungen und gewissen allgemeinen Annahmen das Resultat gewisser anderer (neuer) Beobachtungen voraus-sagen konnte. Sodass man tatsächliche Messung erspart. So brauchte man etwa von einem Würfel nur eine Seite zu messen, um das Volumen zu berechnen. Von einem Dreieck nur 2 Winkel, um den dritten zu wissen. Das Eintreffen der Vorausgesagten Resultate Bestätigte die Richtigkeit der allgemeinen Annahmen. Betrachtet man jene allgemeinen Annahmen und alle aus ihnen folgenden Sätze bloss für sich in ihren gegenseitigen Zusammenhängen und sieht gänzlich ab von der Bedeutung der darin vorkommenden Worte und Zeichen, so erhält man die reine Geometrie als ein rein formales System von Axiomen und Lehrsätzen, welche inhaltsleer sind, also keine wirklichen Sätze, sondern nur sogenannte Satzfunktionen. Nachdem diese Idee einmal gefasst ist, kann man der Mathematiker sich beliebige solche Systeme erdenken und ihre inneren Beziehungen untersuchen. Der Naturforscher kann ihre Anwendbarkeit prüfen, das heisst, zusehen, ob sich irgendwelche Arten von Naturgegenständen finden, die man so in jene leeren Satzformen der Axiome einsetzen kann, dass daraus echte wahre Sätze entstehen. Findet man solche, so gelten von ihnen natürlich auch die aus den Axiomen abgeleiteten Lehrsätze.

Man kann bei der Beschreibung der Natur z. B. das Worte Gerade für solche Gebilde brauchen, die den euklidischen Axiomen gehorchen. Dann hat ein aus drei solchen Gebilden geformtes Dreieck definitionsgemäss die Winkelsumme von 180° . Aber wir wissen seit 1919, dass astronomische Lichtstrahlen dieser Bedingung nicht immer genügen. Man

Nachdem diese Idee einmal gefasst ist, kann
der Mathematiker sich beliebige solche Systeme
edanken und in ihren inneren Beziehungen
untersuchen. Der Naturforscher kann ihnen Anwendung
barkeit prüfen, d.h. zusehen, welche Systeme
von Natur gestützt sind für den Fall,
von denen die Axiome einer Geometrie gelten,
und die daher den Worten zugeordnet werden
können, die in der Axiomen vorzukommen.

kann aber auch festsetzen, dass man unter Geraden solche ^{Gebilde} wie Lichtstrahlen, gespannte Fäden usw. verstehen will. Dies bedeutet, dass man es vorzieht, die Natur mit Hilfe einer nichteuklidischen Geometrie zu beschreiben. Beide Möglichkeiten bestehen und sinnlos ist die Behauptung mancher Philosophen, nur die erste entspräche dem, wahren Wesen der Geraden. Die Behauptung des Apriorismus, dass die geometrischen Grundbegriffe, z.B. der Geraden, seien undefinierbar, ihr Inhalt und ihre Gesetzmässigkeit seien unabhängig von physischer Erfahrung in einer, reinen Anschauung gegeben, hält kritisch er Prüfung nicht stand. Viel mehr bedeuten sie ursprünglich durchaus nur physikalisch ausgezeichnete Gebilde. Man muss auf jeden Fall durch Definition festsetzen, was man darunter verstehen will und dass man prinzipiell willkürlich tun. Poincaré meinte, wir würden bei der Wahl nur von dem Wunsche geleitet, möglichst einfache geometrische Lehrsätze zu erhalten und daher stets die euklidische Geometrie vorziehen. In Wirklichkeit ist es viel wichtiger, d.h. bequemer, die Konvention so zu wählen, dass bei der Anwendung auf die Natur, d.h. beim Uebergang von der reinen zur physischen Geometrie ein möglichst einfaches System der Physik entsteht. Der Uebergang von der reinen zur physischen Geometrie entspricht dem Uebergang von der Spezialehre zur Anwendung der Sprache. Die reine Geometrie kann daher als die Grammatik der physischen aufgefasst werden.

VII Die vierdimensionale Welt.

Gegen die frühere Argumentation, dass man nicht sinnvoll von einer räumlichen Deformation ^{der Welt} sprechen könne, an welcher alle Gegenstände teilnehmen, lässt sich einwenden, dass die Verzerrung zwar nicht zu feststellbaren Grössenänderungen, wohl aber vielleicht zu Änderungen des physikalischen Verhaltens ^{führen} könne, solange dies nicht durch besondere Annahmen über die Werte der Naturkonstanten ^{physikalische} vor und ^{nach} der Deformation ausgeschlossen wurde. Fragen wir aber, wie denn diese Konstanten ermittelt, so zeigt sich dass dies durch Feststellung eines Zusammenhangs zwischen verschiedenen Koinzidenzen geschieht, der darin besteht,

dass sie gleichzeitig stattfinden (Es muss etwa bei einem Versuch der Zeiger eines Galvonometers auf eine bestimmte Zahl weisen, während zugleich die Quecksilbersäule eines Thermometers einen bestimmten Skalenstrich erreicht). Wir brauchen also nur hinzuzufügen, dass die Gleichzeitigkeitsbeziehungen der Koinzidenzen durch die Deformation nicht tangiert werden sollen, dann sind wir sicher, dass keine Beobachtung uns andere Konstanten oder andere Naturgesetze ergeben kann, dass also die gedachte Änderung keine reale sondern nur eine solche der Sprechweise ist. So ergibt sich, dass es bei der Naturbeschreibung allein auf die räumlich-zeitlichen Koinzidenzen ankommt. Den Sinn und die Tragweite dieses Satzes macht man sich nach dem Vorgange von Minkowski am besten mit Hilfe einer graphischen Darstellung klar, in welcher die Zeit als vierte Koordinate neben den drei Raumkoordinaten eingeführt wird.

Die Welt erscheint in dieser Darstellung als ein Vierdimensionales, von Weltlinien durchzogenes Kontinuum, deren jede das Abbild der Bewegung eines Punktes ist. Die Weltliniendarstellung ist auf Fälle beschränkt, die der Bedingung, Genidentität genügen, d. h. auf solche Objekte, von denen man sinnvoll sagen kann, sie seien während einer endlichen Zeit, dieselben geblieben. In diesem Modell werden die Koinzidenzen durch Schnitte oder Berührungen von Weltlinien dargestellt.

Ein solches Modell kann, ^{man} völlig beliebig deformieren, solange dabei die topologischen Zusammenhangsverhältnisse der Weltlinien nicht ^{gestört} werden, bleibt es ein gleich gutes Abbild der Wirklichkeit.

Die Weltlinien beschreiben die Bewegung von Teilchen, sie dürfen nicht als deren Bahnen missverstanden werden. Man darf also nicht sagen, dass ein Punkt seine Weltlinie durchlaufe oder dass der den Momentanzustand der Gegenwart darstellende dreidimensionale Schnitt durch die vierdimensionale Welt in dieser die Zeitachse entlang wandere, denn ein solches Wandern müsste ja in der Zeit geschehen, diese aber ist innerhalb des Modells schon dargestellt und kann nicht noch einmal

^x
heterielle
Partikel oder
Ereignispaar

von aussen herangebracht werden. Damit erledigen sich auch jene Rede-
 weisen als sinnlos, wonach die vierdimensionale Darstellung die Unwir-
 klichkeit der Zeit beweise und die Welt als ^{wohl aber} starres bewegungsloses
 Sein erkennen lasse. Dagegen hat es einen guten Sinn, die vierdimensi-
 onale Welt als eine absolute zu bezeichnen, im Gegensatz zu dreidimen-
 sionalen Darstellungen mit hinzu gefügten Zeitangaben, die mehr will-
 kürliche Züge enthalten, daher relativ sind in Bezug auf die Darstel-
 lungsmittel und sich zur vierdimensionalen Darstellung so verhalten,
 wie die perspektivischen Abbilder eines ^{räumliches} Objectes zu seiner plas-
 tischen Nachbildung. Die Betrachtungsweise der Relativitätstheorie
 (die mit grösserem Rechte Absoluttheorie heissen könnte) räumt also nicht
 etwa der Subjectivität oder Willkür der Beobachter irgendeinen Spiel-
 raum ein, sondern ihr kommt im Gegenteil eine höhere Objectivität zu,
 als der früheren Darstellungsart. Da die Weltlinien Bewegungen darste-
 llen, so bedeutet eine Deformation des vierdimensionalen Modells eine
 Aenderung der Bewegungszustände durch die z.B. an einer Stelle aus der
 Ruhe oder geradlinig gleichförmigen Bewegung eines Teilchens irgendeine krumme i
 und ungleichförmige Bewegung desselben Teilchens werden kann. Da
 nun jene Deformation keine wirkliche Aenderung beschreibt, sondern nur
 die Einführung einer neuen Sprechweise bedeutet, so folgt, dass es auch
 nur eine Aenderung der Sprechweise ist, ob wir irgend einem Teilchen
 Ruhe oder irgendeine Bewegung zuschreiben. In der Tat hängt es allein
 von der Wahl des Bezugssystems ab, welche Art der Bewegung ein und
 dasselbe Teilchen ^{verfolgt} hat. Allerdings könnte es immer noch sein, dass eine
 der möglichen Sprechweisen den natürlichen Verhältnissen besonders
 gut angepasst wäre; dies wäre z.B. dann der Fall, wenn in allen Natur-
 gesetzen von Koinzidenzen mit den Punkten eines ganz bestimmten Kör-
 pers die Rede wäre. Ihn müsste man dann vermutlich als Bezugssystem
 benutzen, um zu der einfachsten Formulierung der Naturgesetze zu gelan-
 gen. Dass es einen solchen ausgezeichneten Körper (Neumanns Körper a)
 nicht gäbe, dass also alle Systeme gleichberechtigt sind, diese Behaup-

Hier bei dem Worte Bewegung in seine kinematische

Welle zusammen. Es gibt eine Bedeutung der unter.

In der ersten Bedeutung ist Bewegung definiert

als Ortsänderung in der Zeit und so betrachtet

Sich an einem relativ zu einem Bezugskörper

trage gemacht werden können. So ist die

Definition ~~hier~~ relativ.

In anderer Bedeutung referiert ist

die definiert durch die Art wie sie

in Naturgesetzen vorkommt und so könnte

es z.B. sein dass in allen Beweisen.

gesetzt die Koordinaten mit den Punkten

eines ganz bestimmten Körpers eine Rolle

spielen. Neumann

V. Eddington Pantologie

tung findet den physikalischen Inhalt des Einstein'schen Postulats der allgemeinen Relativität der Bewegung.

Im Gegensatz hierzu war in der Newton'schen Physik zwar nicht ein einzelner Körper ausgezeichnet, wohl aber eine bestimmte Gruppe von solchen, nämlich ^{alle} ⁱⁿ die, die Bezug auf das Fixsternsystem ruhen oder sich geradlinig gleichförmig bewegen. Später, vor der Einführung des Weltäthers bis zum Jahre 1905 wird dieser der einzige ausgezeichnete Bezugskörper. Diese Gruppe von Bezugssystemen nennen wir Gallilei'sche oder Inertialsysteme. In Bezug auf sie gilt das Trägheitsgesetz in der Gallilei'schen Form nebst allen übrigen Gesetzen der Newton'schen Physik. In ihr gilt also auch das, spezielle Relativitätsprinzip. (Welsches die Relativität aller geradlinig gleichförmigen Bewegungen behauptet)

Mechanik

Beschleunigte oder krummlinige Bewegungen haben bei Newton absoluten Charakter. Ebenso auch in der, beschränkten Relativitätstheorie von 1905. Erst die allgemeine Relativitätstheorie von 1915 hebt diesen absoluten Charakter und damit die Auszeichnung besonderer Körpergruppen auf und ^{führt} dadurch zu einer besseren Befriedigung des Kausalbedürfnisses. Um diese Leistung zu vollbringen musste Einstein das Trägheitsgesetz so zu formulieren suchen, dass darin nicht mehr der Bezug auf eine ausgezeichnete Körpergruppe (Inertialsystem) vorkam, sondern nur ein Bezug auf die jeweilige Konfiguration der vorhandenen Körper. Ein Indizium dafür, dass dies möglich sei, lag vor, in der höchst auffälligen, von der damaligen Physik vernachlässigten Tatsache, dass die für das Mass der Trägheit eines Körpers charakterische Grösse (träge Masse) genau die gleiche ist, wie diejenige Grösse, durch welche die erfahrungsgemäss nur von der Konfiguration der Körper abhängigen Wirkungen gemessen werden (Gravitation-Schwere). Es gelangt Einstein, durch diese Tatsache geleitet, ein Gesetz zu finden, dass Trägheit u und Gravitationserscheinungen gemeinsam umfasst. (Beide als, wesensgleich darstellt). Damit ist nicht nur der Bezug auf bestimmte Systeme

Platon wird mit der Einführung des Lichtethers
diesen einzigenugesprochen bezüglich Körper und es musste die

wieder eine ab sich heranstellt so ebenso wie für alle
zu auch Elektrokapazität Erscheinung. Alle Salilabergsysteme

ausgeschaltet, sondern zugleich eine ungeheuere Vereinfachung des Weltbildes erzielt.

Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie.

Das neue Bewegungsgesetz ist ein Differenzialgesetz, d.h. es stellt die Bewegung eines Teilchens nicht direkt in ihrer Abhängigkeit von der Weltkonfiguration dar, sondern nur von der in seiner unmittelbaren Umgebung herrschenden Massverhältnissen, die dann erst indirekt durch jene Konfiguration bedingt sind. Es sagt also einen Zusammenhang aus, zwischen der Bewegung eines Teilchens und dem Ergebnis von Längen und Zeitmessung, die in seiner unmittelbaren Nähe vorgenommen gedacht werden und gewöhnlich in die Form von Aussagen gekleidet werden, über die an jener Stelle herrschende, Raumkrümmung, oder das Gravitationspotential.

Es kann kaum genug betont werden, dass das Zurückgehen auf das tatsächliche Messverfahren den einzigen Weg bildet, um den Sinn des skizzierten Naturbildes zu verstehen.

Zur Feststellung der Koinzidenzen ist Genidentität materieller Punkten wenigstens für kurze Zeit vorausgesetzt und es kann ^{kein} strenger Unterschied gemacht werden zwischen wirklichem Zusammenfallen und enger Nachbarschaft. Ferner sind die Koinzidenzerlebnisse durch ein kontinuierliches Wahrnehmungsfeld verbunden und dadurch erhält die Erfahrungswelt eine ganz besondere Struktur, die sich vielleicht so formulieren lässt, dass den Begriff der unmittelbaren Nachbarschaft eine besondere physikalische Bedeutung zukommt, dass mit anderen Worten eine bestimmte Grössenordnung von Mengen ausgezeichnet ist, innerhalb welcher man beliebigen Deformationen nicht wohl sprechen kann. Die Darstellung der Wirklichkeit durch das vierdimensionale Schema erfolgt ja durch Konstruktion des physikalischen Raumes aus den psychologischen (Tast-, Gesichtsraum usw.). Die letzteren sind aber durchaus nicht relativ. In ihnen kann innerhalb kleiner Bezirke von Längen und Bewegungen in einem nicht auf Koinzidenzen begründetem Sinne gesprochen werden. In diesen Bezirken ist die Verwendung der euklidischen Geometrie mehr als willkürliche Festsetzung. Aber welche Geometrie für niedere und ^{Volte}

Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie

höhere Grössenordnungen konstruiert werden muss, also für atomale und astronomische Dimensionen, ist nicht mehr psychologisch sondern rein physikalisch bestimmt.

VIII. Kritik des Konventionalismus

Das Trägheitsgesetz besagt, dass ein sich selbst überlassener Körper in gleichen Zeiten gleich Strecken zurücklege. Um festzulegen, was unter gleichen Zeiten zu verstehen ist, genügt eine rein psychologische Zeit-zählung nicht, weil sie erfahrungsgemäss nicht zu genau^m und objectiven Aussagen führt. In der Wissenschaft ist daher Zeitmessung auf Raumes-messung zurückgeführt, durch Vermittlung des Bewegungsbegriffes; am besten mit Hilfe periodischer Bewegungen. Unsere Zeiteinheit wird zunächst mit Hilfe einer konkreten

Definition, nämlich durch die Dauer der Erddrehung. Diese Definition befriedigt aber nicht entgültig, da sie sinnlos machen würde, von einer Verlangsamung der Erddrotation zu sprechen. Da aber die Astronomen eine solche tatsächlich annehmen, so gehen sie von einer anderen Definition der Zeiteinheit aus, nämlich von der Konvention, dass sie so gewählt werden soll, dass die Formulierung der Naturgesetze möglichst einfach wird.

Wenn die Naturgesetze in dieser Weise zur Definition der Grundbegriffe benutzt werden, so kann leicht der Anschein entstehen, als würden sie dadurch selbst zu blossen Definitionen, also zu wirklichen Festsetzungen, die nichts über die Wirklichkeit sagen. Diese Ansicht, nach welcher alle Naturgesetze blosse tautologische Konventionen sind, heisst Konventionalismus. Am Beispiel des Trägheitsgesetzes machen wir uns den Irrtum dieser Auffassung klar. Obwohl, gleich, Zeiten als solche definiert sind, in denen ein sich selbst überlassener Körper gleiche Strecken durchläuft, ist dennoch der Satz: „Jeder sich selbst überlassene Körper beschreibt in gleichen Zeiten gleiche Strecken“, nicht tautologisch, sondern er enthält die empirisch prüfbare Behauptung, dass alle sich selbst überlassenen Körper ganz bestimmte quantitative Uebereinstimmung in ihrer Bewegung zeigen. (Das Verhältnis der zwischen beliebigen Zeitpunkten zurück gelegten Strecken ist nämlich für je zwei solcher Körper konstant). Um die Wahrheit dieses Gesetzes festzustellen, braucht man den Begriff der Gleichzeitigkeit zweier Koinzidenzen, nicht aber den ^{den} Gleichheit von Zeiten. Der letztere kann also so festgelegt werden, dass die geschriebene Gesetzmässigkeit einen besonders einfachen Ausdruck findet; und darin besteht eben die Konvention.

Es gibt scheinbar noch eine zweite Möglichkeit, die konventionalistische Deutung aufrecht zu erhalten. Wenn man nämlich den Begriff des sich selbst überlassenen Körpers, analysiert. Als ein derartiger Körper ist ein solcher anzusehen, auf den keine Kräfte wirken. Woran er-

kennt man aber das Fehlen der Kräfte? Nur daran, so wird argumentiert, dass er sich geradlinig gleichförmig bewegt. Setzt man aber diese Definition des sich selbst überlassenen Körpers in die Formulierung des Trägheitsgesetzes ein, so wird dieses wirklich zu einer Tautologie. Der Fehler dieser Ueberlegung beruht auf dem an sich richtigen Gedanken, dass eine physikalische Grösse durch die Art ihrer Messung zu definieren sei. Da nämlich Kräfte durch Beschleunigungen gemessen werden, d. h., durch den Grad der Störung geradlinig gleichförmiger ~~na~~ Bewegung, so meint man, die Feststellung einer Abweichung von dieser Art der Bewegung sei identisch mit der Behauptung des Vorhandenseins von Kräften. Aber diese Meinung irrt insofern, als sie die Erfahrungstatsache ausser Betracht lässt, dass jene Störungen nur auftreten, wenn andere Körper sich in der Nähe des Probekörpers befinden. Wir müssen also einen sich selbst überlassenen Körper als solchen definieren, der sich in hinreichender Entfernung von allen anderen befindet, dann wird das Trägheitsgesetz eine inhaltvolle Aussage über Naturvorgänge, zur völligen Aufklärung des Irrtums gehört Einsicht in den Inhalt des Kraftbegriffes.

Bevor wir diese zu gewinnen suchen, sei noch kurz der törichte Versuch erwähnt, das Trägheitsgesetz aus dem Kausalprinzip zu erklären. Man kann natürlich nicht schliessen, dass die Geschwindigkeit konstant bleiben müsse, solange keine Ursache ihrer Aenderung vorliegt. Denn mit demselben Rechte hätte man auf die Konstanz der Beschleunigung oder des Ortes schliessen können. (Das letztere entspräche dem antiken ^{Denken}). Ein Argument aber, aus dem Widersprechendes folgt, ist falsch.

Der Ursprung des Kraftbegriffes liegt natürlich in dem Erlebnis der Anstrengung, die zur Bewegung eines Körpers erforderlich ist und die in ihrer Stärke von der Natur des Körpers abhängt. Die Physik, die ein solchen Erfahrungen entsprechendes Bewegungsgesetz aufzustellen hat, sucht die Bewegung durch eine Grösse zu beschreiben, welche allein von der jeweiligen Gesamtkonfiguration der beteiligten Körper

abhängt und findet eine solche in dem Produkt zweier Faktoren, nämlich der Beschleunigung des Probekörpers und einer für ihn charakteristischen Konstante, welche seine träge Masse genannt wird. Die Gleichung: $k = m \cdot b$ ist also nicht eine blosser Definition, sondern ihr Sinn wird dargestellt durch die Aussage; „Die Grösse $m \cdot b$ ist eine allein von der Konstellation der beteiligten Körper abhängige Ortsfunktion, die bei grosser Entfernung der Massen zu wird. (Der letzte Nebensatz stellt das Trägheitsgesetz dar).

Als zweites Beispiel zur Diskussion des Konventionalismus die das Energieprinzip. Da die Energie eines Systems bezogen auf einen gewissen Anfangszustand I nicht anders gemessen werden kann, als durch den Betrag der Arbeit und Wärme, die das System abgibt, wenn es aus jenem Zustand in einen Anderen Zustand II übergeht, so scheint die Gleichung: $E = U - A$ nicht als eine Definition der Grösse E zu sein. Aber dem ist durchaus nicht so. Sie soll vielmehr die Erfahrungstatsache ausdrücken, dass die Summe der abgegebenen Arbeit und Wärme nur abhängt von den Zuständen I und II, nicht aber vom Wege des Ueberganges. Diese Tatsachen, auf die Unmöglichkeit des Perpetuum mobile beruht, ist nämlich der einzige Grund, warum überhaupt jene Summe mit dem besonderen Namen Energie ausgezeichnet wurde.

Die behandelten Beispiele zeigen, dass der psychologische Grund des konventionallistischen Irrtums in einer Verkennung des Umstandes liegt, dass die Formeln der Physik nicht schon für sich allein Naturgesetze aussprechen, sondern erst zusammen mit der Erklärung der Bedeutung der in ihnen vorkommenden Grössen. Man kann allerdings rein formal irgendwelche Sätze durch Konvention für schlechthin gültig erklären, indem man etwa fordert, dass die räumlichen Verhältnisse nur euklidisch beschrieben werden dürfen, oder dass die Materie aus kugelförmigen Atomen gedacht werden muss, aber es ist ein Irrtum, zu glauben, dass solche Sätze dann bereits Naturgesetze seien.

Ein echtes Gesetz, eine wirkliche Aussage über die Natur liegt

vielmehr erst dann vor, wenn man angibt, welche anderen Sätze oder Hilfhypothesen hinzu befügt werden müssen, um mit den Tatsachen der Beobachtung in Einklang zu bleiben. Schematisch ausgedrückt: Ich kann sowohl die Konvention K_1 wie die Konvention K_2 usf. als Prinzipien der Naturbeschreibung zugrunde legen, aber keine sagt irgendetwas über die Welt aus. Ein echter Satz über die Natur ist erst gegeben durch die Aussage: Unter Vora²setzung von K_1 muss man die Sätze S_1 hinzu nehmen, um mit der Erfahrung in Uebereinstimmung zu bleiben! Oder die Aussage: Unter Voraussetzung von K_2 muss man die Sätze S_2 hinzu nehmen! Beide Aussagen (und beliebig viele andere, die entsprechend gebaut sind) geben aber dieselben Erfahrungstatsachen wieder; sie haben denselben Sinn, Also nicht Konventionen und Hypothesen für sich, sondern der Umstand, dass zu ganz bestimmten Konventionen ganz bestimmte Sätze gehören, dieser Umstand bildet die Tatsachen der Natur ab.

IX.-Grundgedanken der speziellen Relativitätstheorie.

Im Begriffe der Koinzidenz sind die Begriffe von Raum und Zeitgrössen noch nicht enthalten, sondern sie werden aus ihnen erst konstruiert. Dazu bedarf es neuer Definitionen, wie wir bei den Raumgrössen unter Definition der Gleichheit von Zeiten bereits sahen. Der damals vorausgesetzte Begriff der Gleichzeitigkeit an verschiedenen Orten wird aus dem der Gleichzeitigkeit am selben Orte erst abgeleitet. Dieser letztere wird nicht weiter erklärt, sondern ist ein Name für eine bestimmte Art von Erlebnissen. Die zeitliche Ordnung entfernter Ereignisse kann nur mit Hilfe von Signalen festgestellt werden. Einstein erkannte, dass das Prinzip dieser Feststellung die Definition der Gleichzeitigkeit ist. Die beiden Erfahrungstatsachen, 1-) dass es keine unendlich grosse Signalgeschwindigkeit gibt und 2-) dass das spezielle Relativitätsprinzip gilt, führen zu einem relativen Gleichzeitigkeitsbegriff, der aber natürlich völlig wieder-

spruchslos ist. Es wäre möglich, einen absoluten Gleichzeitigkeitsbegriff aufrecht zu erhalten, indem man durch konkrete Definition einen beliebigen Körper als Bezugskörper herausgreift und die auf in bezogenen Messungen als die, richtigen festsetzt. Doch dies wäre erstens völlig willkürlich und nicht reproduzierbar und würde zweitens zur Einführung neuer Hypothesen nötigen, (Lorenz-Kontraktion), ^{doch} welche erklärt wird, warum jenes Bezugssystem durch keine besonderen Erfahrungen ausgezeichnet ist. Dem gegenüber ist die Einführung der relativen Gleichzeitigkeit viel einfacher und entspricht dem Prinzip, nur prinzipiell Beobachtbares in die Formulierung der Naturgesetze, aufzunehmen. Gerade hiedurch wird es möglich, die absolute Naturordnung zu erkennen und davon zu unterscheiden, was von der Methode der Beschreibung (Messung) abhängt. Absolut ist eine gewisse Ordnung der Koinzidenzen mit Raumartigen und zeitartigen Unterscheiden. Dagegen hängt die Art, wie diese Ordnung in räumliche und zeitliche Intervalle zerlegt wird, vom Bezugssystem d.h. von den Geschreibungsmitteln ab.

Die Unmöglichkeit, ein Bezugssystem auszuzeichnen macht es auch unmöglich, den „Aether“ als Bezugssystem zu betrachten und ihm einen Bewegungszustand zuzuschreiben. Er verliert also seinen Charakter als Substanz. Die Welt besteht nicht aus Substanz, sondern aus geordneten Ereignissen. Für die objective oder absolute Ordnung der Welt charakteristisch ist der Abstand zwischen zwei benachbarten Ereignissen in der vierdimensionalen Darstellung. $(ds^2 = dr^2 - c^2 dt^2)$ als Beispiel für Gravitationsfreie Stellen, wo dr den räumlichen, dt den zeitlichen Abstand der beiden Ereignisse bedeutet,) Wesentlich für die raumzeitliche Ordnung ist die Lichtgeschwindigkeit c . Sie vermittelt im Grund alle gesetzmässige Verknüpfung der Welt und so beruht auf ihr die kausale Ordnung.

X. Das Kausalprinzip in der Klassischen Physik.

In der üblichen Formulierung sagt das Kausalprinzip, dass jedes

Ereignis die Wirkung einer Ursache sei. Die Begriffe Ursache ^{und} Wirkung haben keinen fest zu umschreibenden Inhalt, weil Ereignisse in der der Natur nicht isolierbar sind. In den Naturgesetzen treten daher die Worte Ursache und Wirkung gar nicht auf, sondern die Verknüpfung der Ereignisse wird dargestellt mit Hilfe mathematischer Funktionen. Jedes Ereignis nämlich wird als eine Zustandsänderung aufgefasst. Jeder Zustand wird gewisse Grössenwerte charakterisiert und jedes Naturgesetz gibt eine Beziehung zwischen den Grössenänderung an, die verschiedene Ereignisse beschreiben. Die Grössenänderungen werden womöglich unendlich klein angenommen und dann erhalten die Naturgesetze die Form von Differentialgleichungen.

Da Differentialgesetze Mikrogenetze sind, die nicht direkt verifiziert werden können, so ist bei dieser Methode Vorsicht geboten hinsichtlich der Beurteilung ihres Erkenntniswertes. Sie entspricht aber der Erfahrungstatsache, dass alle beobachteten Wirkungen nahe sind, d. h., dass jedesmal, wenn die Abhängigkeit eines Ereignisses von einem anderen in räumlich und zeitlicher Entfernung festgestellt wird, stets auch dazwischen liegen Ereignisse gefunden werden können, die gleichfalls von jenen abhängig sind und zwar so, dass grösserer räumlicher Distanz auch grössere zeitliche entspricht. Das typische Naturgesetz der klassischen Physik ist daher eine Formel, welche das Geschehen an einem Punkt in seiner Abhängigkeit von dem Geschehen in der unmittelbaren Nachbarschaft darstellt, die Feldgleichung (unter, Feld' ist ein räumlicher Bezirk zu verstehen, dessen Zustand in jedem Punkt durch die Werte gewisser Grössen vollständig bestimmt ist.)

Die Feldphysik sucht alles Geschehen durch solche Zustandsgrössen zu beschreiben, also auch die Vorgänge z. B. an Atomen und Elektronen durch blosse Feldgleichungen auszudrücken. Die bekanntesten Feldgleichungen sind die von Maxwell für die elektromagnetischen Vorgänge aufgestellten. Sie gelten aber bestimmt nicht in beliebig kleinen Bezirken. Die Theorie der Wirbelatome war auch eine Feldphysik.

erwähnt a Euler

Von diesem Standpunkt scheint sich das Kausalprinzip in der vierdimensionalen Darstellung leicht ausdrücken zu lassen. Es scheint auszusagen, dass das Innere des vierdimensionalen Zylinders völlig bestimmt ist durch einen in der Zeitrichtung beliebig dünnen räumlichen Schnitt und den Zylindermantel (Grenzbedingungen) oder auch durch zwei Reihen räumliche Schnitte und den Mantel. Dabei sind zeitartige Richtungen zwar ausgezeichnet wegen der früher beschriebenen Struktur der Raum-Zeit-Mannigfaltigkeit, nicht aber die Richtung Vergangenheit-Zukunft vor der Richtung Zukunft-Vergangenheit bevorzugt.

Es wäre also, wenn Gesetz nichts anderes bedeutete als Darstellbarkeit durch Funktionen, jedes nur denkbare Naturgeschehen gesetzmässig und der Kausalsatz, der die Gesetzmässigkeit der Natur behauptet, wäre eine leere Tautologie. Um ihm einen sachlichen Inhalt zu geben sucht man meist den verwendeten Funktionen einschränkende Bedingungen aufzuerlegen, indem man entweder fordert, dass sie einfach sein müssen oder dass Raum- und Zeitkoordinaten nicht explizit in ihnen auftreten. Dies letzte, von Maxwell zur Definition der Kausalität benutzte Kriterium ist identisch mit dem Satz:

Gleich Ursachen, gleich Wirkungen, denn es sagt, dass der Ablauf eines Naturprozesses immer der selbe ist, unabhängig vom Ort und von der Zeit, wo er sich abspielt. Beide Kriterien sind tatsächlich bei jedem bekannten Naturgesetz erfüllt (obwohl Einfachheit ein recht vager Begriff ist) und so könnten sie praktisch als hinreichend zu einer Definition der Gesetzmässigkeit betrachtet werden. Dennoch ist die Situation logisch nicht befriedigend denn man kann sich denken, dass beide Kriterien nicht erfüllt wären und dass man trotzdem das Geschehen als Kausal ansehen würde. Dies wäre nämlich der Fall, wenn man im Besetze von wie immer geschaffenen Formen wäre, welche stets zu richtigen Voraussagen der Ereignisse führten. Das Eintreffen von Voraussagen ist in der Tat stets das entscheidende Kriterium für das Vorhandensein von

Kausalität. Es ist aber rein praktischer Natur und daher zu einer logischen Formulierung des Kausalprinzips nicht geeignet.

Die Klassische Physik ist deterministisch. Der Determinismus behauptet, dass die Zukunft aus der Gegenwart restlos vorausgesagt werden könne. Er hat nichts zu tun mit der Gültigkeit des Satzes vom Widerspruch für Aussagen über die Zukunft, wie Aristoteles und auch neuere Logiker glaubten. Nach dem Satze des Widerspruchs ist auch jede Aussage über die Zukunft entweder wahr oder falsch. Der Determinismus behauptet, dass ihre Wahrheit oder Falschheit aus Aussage über die Gegenwart erschlossen werden könne, was ja etwas ganz anderes ist.

XL. Die statistische Betrachtungsweise.

In der Klassischen Physik wird die Kausalrelation stets als eindeutig angesehen. Es muss aber die Möglichkeit einer Mehrdeutigkeit in Betracht gezogen werden, sodass z.B. verschiedene Ereignisse W_1, W_2 usw. bis W_n als Wirkungen des gleichen Ereignisses U betrachtet würden. Dies würde das Bestehen einer gewissen beschränkten Ordnung der Natur bedeuten, innerhalb welcher wir verschiedene Typen unterscheiden könnten. 1) n ist endlich, 2) n ist unendlich aber die W liegen alle in einem endlichen Bereich, 3) n ist unendlich, die W liegen nicht in einem endlichen Bereich, weisen aber Häufungsstellen in einem solchen auf. Hier haben wir verschiedene Grade der Ordnung vor uns und es taucht die Frage auf, wann wir überhaupt noch von Ordnung sprechen. Die Antwort auf diese Frage scheint eine Definition der Gesetzmässigkeit liefern zu müssen, denn diese wäre einfach die Negation der vollkommenen Unordnung. Zur Definition der Unordnung aber dient die Wahrscheinlichkeitsrechnung. Wo innerhalb sehr grosser Beobachtungsreihen eine bestimmte durchschnittliche Verteilung der Daten vorliegt, da sagen wir, dass keine Ordnung vorhanden sei. Es ist, vage ausgedrückt, diejenige Verteilung, welche von allen Möglichkeiten keine auszeichnet.

Durch die Wahrscheinlichkeitsrechnung wird dies formuliert und auf die Frage, wie denn die Anwendung dieser Rechnung auf die Wirklichkeit möglich sei, ist zu antworten, dass ihre Geltung nur die Gesetzlichkeit oder Unordnung definiert ist. Diese herrscht, wie erwähnt, innerhalb der raumartigen Schichten der vierdimensionalen Welt, während die Kausalgesetze die Ordnung in der Richtung der Zeitartigen Fasern angeben. Anders ausgedrückt, das Nacheinander der Welt ist geordnet, das Nebeneinander zufällig. Noch anders ausgedrückt; Es gibt nur Successionsgesetze, keine Koexistenzgesetze.

Die klassische Physik wendet dies an in der kinetischen Wärmetheorie. Bei der Angabe der Anfangsbedingungen z.B. eines bestimmten Gasvolumens, wo die Verteilung der momentanen Lagen und Geschwindigkeit der Moleküle gänzlich regellos angenommen wird. Unter dieser Voraussetzung ergibt die Rechnung (wenn die Moleküle als elastische, den Gesetzen der Mechanik unterworfenen Kugeln behandelt werden) dass für einen solchen Schwarm äusserst zahlreicher Moleküle gerade das Verhalten das Wahrscheinlichste ist, welches den empirisch gefundenen Gasgesetzen entspricht. Insbesondere ergibt sich die Geltung des sogenannten Entropiesatzes, jenes Makrogesetzes, dem in der Physik eine ganz besondere Rolle zukommt, weil es etwas über die Richtung des Ablaufes der Makrovorgänge in der Natur aussagt. Da die strenge Geltung der Wahrscheinlichkeitsregel den Uebergang zu unendlich vielen Fällen erfordert, die natürlich in Wirklichkeit nicht vorliegen, so erhalten wir auch auf diesem Wege keine strenge Definition der Gesetzmässigkeit.

Die klassischen Mikrogesetze, die der Mechanik sowohl als auch der Elektrodynamik, erlauben keine Unterscheidung der Zeitrichtung früher-später von der Entgegengesetzten. Es bleibt also nur übrig, die Anfangsbedingungen in der Natur für die Auszeichnung der Richtung von der Vergangenheit in die Zukunft verantwortlich zu machen. Dies geschieht durch die von Boltzmann gegebene statistische Interpretation der Entropie, die gleichsam als Mass der molekularen Unordnung erscheint.

Die Zahl der denkbaren Molekülverteilungen, die einem Makrozustand von grösserer Entropie entsprechen, ist viel grösser als die Zahl der ^{wahrscheinlichen} Verteilungen, die einen Makrozustand von geringerer Entropie ergeben. Ist ein Zustand kleinerer Entropie gegeben, so folgt aus der Annahme molekularer Unordnung (ja, diese Annahme sagt gar nichts anderes), dass der Uebergang in einen Zustand grösserer Entropie wahrscheinlicher ist als irgend ein anderer Vorgang. So ist der Entropiesatz ein Wahrscheinlichkeitsgesetz, welche nur das Bestehen von Unordnung oder Gesetzlosigkeit in den raumartigen Richtungen formuliert. (Es drückt also das Bestehen von Koinzidenzgesetzen aus.)

Hätte der Entropiesatz dieselbe strenge Geltung, wie sie den übrigen Naturgesetzen gewöhnlich zugeschrieben wird, so könnten die kosmischen Prozesse des Entstehens und Vergehens der Sternsysteme und

aller übrigen nicht zyklischer Natur, sein, wie es z.B. in extremer Form die Lehre von der ewigen Wiederkunft behauptet oder wie Arrhenius es ausmalt. Wenn der Satz aber nur Wahrscheinlichkeitsgeltung hat, (und dass diese Interpretation richtig ist, wird z.B. durch die Tatsache der sogenannten Brown'schen Bewegung plausibel gemacht) so sind alle Naturvorgänge nicht mehr prinzipiell irreversibel sondern je längere Zeit verfliesst, umso grösser wird die Wahrscheinlichkeit dass auch Prozesse in der Welt vorkommen, die sich in der Richtung abnehmender Entropie abspielen. Ist das Universum endlich, so würde dies für den gesamten Weltprozess gelten und die Zeit würde gleichsam Vergangenheit und Zukunft vertauschen können und in umgekehrter Richtung verlaufen. Die Untersuchung, inwiefern eine solche Sprechweise sinnvoll ist würde hier zu weit führen.

XII. Die Grundbegriffe der ^{neuen} Physik.

Die Grundlage der klassisch physikalischen Begriffsbildung bilden die Koinzidenzen, die als direkt beobachtet angesehen werden. Sie sind

aber aus gewissen Wahrnehmungserlebnissen konstruiert und können nur insofern als objective Beobachtungsergebnisse gelten, als man streng unterscheiden kann zwischen beobachtetem Ereignis und Beobachtungsmittel. Diese Unterscheidung ist zwar streng genommen schon in der klassischen Theorie ~~z~~ praktisch nicht mit voller Genauigkeit möglich, da stets eine Wechselwirkung zwischen beiden besteht, durch welche die beobachteten Ereignisse gestört werden. Da aber die Störung unter Voraussetzung einer stetigen Wechselwirkung prinzipiell beliebig klein gemacht werden, so könnte jene Trennung wenigstens theoretisch scharf durchgeführt werden. Dies ist aber nicht mehr möglich, wenn jene Wechselwirkung diskontinuierlich geschieht, d. h. wenn bei jedem Naturprozess- und auch eine Beobachtung ist ja ein Naturprozess- ein endlicher Betrag von Energie ausgetauscht wird. Dass dies der Fall sei ist nun gerade der Grundsatz der Quantentheorie. Nach ihr wird daher der Begriff der Beobachtung und der objektiven Naturbeschreibung problematisch und das alte philosophische Problem der Unterscheidung von subjektiv und objektiv tritt hier in greifbarer Gestalt auf. Es bleibt innerhalb gewisser Grenzen willkürlich, was man zum Beobachtungsprozess und was man zum beobachteten Prozess rechnen will.

So entstehen Schwierigkeiten, deren Lösung ein unartiges Begriffssystem fordert, dessen Anschluss an die Sinneswahrnehmung natürlich gewahrt bleiben muss.

Die Diskontinuität der Naturvorgänge, welche die Grundtatsache der Quantentheorie bildet, wurde zuerst von Planck für die Strahlungsprozesse entdeckt. Seine Schlüsse führen zu der später restlos bestätigten Annahme, dass eine Strahlung von der Frequenz ν immer nur Energiequanten von der Grösse $h\nu$ auftritt, wo das sogenannte Plancksche Wirkungsquantum h , eine universelle Konstante ist, deren Wert im üblichen Masssystem den Betrag $6,55 \cdot 10^{-27}$ hat.

Die ^aVorstellung der quantenhi^aften Lichtausbreitung ist unvereinbar mit der alten Vorstellung der kontinuierlichen Kugelförmigen Ausbreitung denn bei letzterer würde die ~~Energiedichte~~ der Strahlung in grosser Entfernung von der Lichtquelle beliebig werden, während die Quantentheorie behauptet, dass kleiner Energiebeträge als h nicht existieren.

Alle Versuchsanordnungen, die zur Beobachtung von Interferenzerscheinungen dienen, zeigen den Wellencharakter des Lichtes im Sinne der klassischen Optik, andere Versuche zeigen ebenso deutlich den corpuscularen Charakter der Strahlung. Man könnte vermuten, es gäbe vielleicht zwei Arten von Strahlungsvergängen aber diese Annahme ist nicht durchführbar, denn ob der eine oder der andere Charakter sich zeigt, hängt nicht vom Ursprunge des Lichtes, sondern von der Art seiner Beobachtung ab. Die Annahme, dass die Lichtquelle gleichsam neutrale Wesenheiten ausstrahle, denn erst durch die Beobachtung oder Registrierung eine bestimmte Form aufgeprägt wird, scheitert daran, dass die Unterscheidung von Welle und Corpuskel schon dem Sinne nach eine Verschiedenheit der Ausbreitung bedeutet. Diesen Schwierigkeiten bei der Beschreibung der Lichtausbreitung entsprechen die Schwierigkeiten, auf die Versuch stösst, den Vorgang der Aufnahme und Abgabe von Quanten durch das Bohrsche Atommodell verständlich zu machen.

Dieses Modell liefert nur eine Abstrakte Beziehung zwischen den Energiewerten der im Atom kreisenden Elektronen und der Frequenz der ausgestrahlten Strahlung. Diese Beziehung führt zu glänzend bestätigten Vorhersagen über den Bau der Spektren, sie lässt aber den Vorgang der Emission und Absorption der Quanten durch das Atom völlig im Dunkeln, gestattet darüber nur die Aussage, dass der Eintritt dieser Vorgänge keiner Gesetzmässigkeit gehorcht, das heisst nur den Wahrscheinlichkeitsregeln unterworfen sei.

Die bei der Strahlung auftretende Dualität von Wellen und Partikeln wurde zu einem ganz allgemeinen Prinzip der Naturbeschreibung erhö-

ben durch de Broglie, der den Gedanken, jeder Korpuskel von der Masse m (die ja nach der Relativitätstheorie einen Energiegehalt mc^2 besitzt) eine Welle mit der Schwingungs Frequenz ν zuzuordnen, deren Beziehung durch die gleichen $mc^2 = h\nu$ dargestellt wird. Durch Experimente wurde bald darauf bestätigt, dass Korpuskularstrahlen tatsächlich auch die Eigenschaft von Wellen der vorausgesagten Frequenz besitzen. Damit ist als ein ganz allgemeiner Charakterzug der physikalischen Grundbegriffe jene Doppelnatur festgestellt, die von Bohr als Komplementarität bezeichnet wird.

Der Widerspruch zwischen den beiden Interpretationen (denn nur diese widersprechen sich, nicht etwa die Experimente oder Tatsachen) kann nur aus der Welt geschafft werden durch den Verzicht auf anschauliche Bilder für die Mikrovergänge. Die philosophische Einsicht, dass der Sinn der Naturgesetze nur darin liegen kann, regelmässig Verknüpfungen von Beobachtungsdaten zum Zwecke von Voraussagen zu formulieren, führte W. Heisenberg dazu, unter Verzicht auf anschauliche Modelle einen mathematischen Formalismus zu suchen, der das Erstrebte leistete, und in welchem die Zustände der Atome durch rein formale Zahlen schematisch charakterisiert werden, die nicht räumlich zeitlich interpretiert werden können. Eine scheinbar ganz verschiedene Theorie wurde von Schrödinger aufgestellt. Sie stellt eine Wellenmechanik dar, aus der die makroskopische Geltung der klassischen Mechanik genau so als Grenzfall hervorgeht, wie die geometrische Optik aus der aus der Wellenoptik. In der Theorie tritt eine gewisse Rechnungsgrosse " ψ " auf, die der sogenannten Schrödingerschen Wellengleichung genügt, aber in den direkt prüfbaren Entresultaten wieder herausfällt. Schrödinger selbst interpretiert sie als Mass der an jeder Stelle herrschenden elektrischen Dicht. Doch diese Deutung erscheint nicht durchführbar. An ihrer Stelle ist die Interpretation von Max Born vorzuziehen, welche den Wert von " ψ " an einer Stelle als Mass für die Wahrscheinlichkeit dafür betrachtet, dass eine Korpuskel oder ein

ein Lichtquant an dieser Stelle anzurteffen ist. Was sich in Wellen ausbreitet ist also nicht physikalische Realität, sondern die Masszahl einer Wahrscheinlichkeit. Es kommt hinzu dass die Ausbreitung der phi-Wellen nicht im gewöhnlichen Raum stattfindet, sondern im sogenannten Konfigurationsraum, einer bloss graphische Hilfskonstruktion von Dimensionen als unabhängige Koordinaten vorhanden sind. Das Ganze ist also kein Modell, sondern ein ganz abstraktes Hilfsmittel, zur Voraussage der Wahrscheinlichkeit des Eintreffens bestimmter Ereignisse.

Nachträglich stelle sich heraus, dass die Theorien von Heisenberg und Schrödinger trotz ganzlicher Verschiedenheit ihrer Gestalt im physikalischen Gehalt völlig übereinstimmen d.h. sie ergeben genau dieselben Aussagen für die Wirklichkeit; eine wichtige Illustration der allgemeinen Wahrheit, dass das eigentliche Wesen einer Theorie allein in ihrer logischen Struktur besteht, während ihr symbolische oder anschauliche Einkleidung für ihren Erklärungswert vollkommen gleichgültig ist. Ursprünglich entstanden die Gedanken de Broglies und Schrödinger aus dem Bestreben, die korpuskularen Eigenschaften der Natur ganz auf Welleneigenschaften zurückzuführen, also die Korpuskel und ihre Bewegung gleichsam als nur vorgetäuscht anzusehen; sie nämlich als die Stellen aufzufassen, in denen Wellenzüge auf besondere Art interferieren (Wellenpakete). Im Gegensatz dazu kann man in der Ansicht von Max Born einen Versuch erblicken, nur die Korpuskeln und Quanten als real, die Wellen aber als bloss Hilfskonstruktionen zu betrachten. Die Frage welche Auffassung richtig ist, entbehrt des physikalischen zu-Sinnes. Auf jeden Fall bleibt der Unterschied zwischen Quanten die sich mit Lichtgeschwindigkeit und Korpuskeln die sich mit geringerer Geschwindigkeit bewegen. Den letzteren kommt eine sogenannte Ruhmasse zu, den ersteren nicht. Die Wellen welche de Broglie einer mit der Geschwindigkeit v bewegten Korpuskulare zugeordnet sind, haben die Fortpflanzungsgeschwindigkeit $w = \frac{c^2}{v}$, also grösser als die

Lichtgeschwindigkeit. Das ist ^{aber} kein Widerspruch gegen die Relativitätstheorie, da es sich nicht um die reale Ausbreitung einer „W“ Wirkung handelt. Im Gegenteil gestatten die neuen Ideen die Behauptung, dass es in der Welt nur die eine reale Geschwindigkeit c gebe, mit der alle Wirkungen sich ausbreiten, während alle anderen Bewegungen nur gleichsam vorgetäuscht sind oder einen sekundären Charakter tragen, wie ja etwa die Bewegung einer Welle auf einer Wasserberfläche nicht mit der wahren Bewegung der Wasserteilchen verwechselt werden darf.

XIII. Die Kausalität in der neuen Physik.

Die Tatsache, dass ^{we} der die korpuskulare, noch die Wellenvorstellung für sich allein ein anschauliches Modell des Geschehens liefert, sondern dass je nach den Umständen bald das eine, & bald das andere der sich ausschliessenden Bilder brauchbar zu sein scheint, findet ihren Ausdruck in der prinzipiellen Unmöglichkeit willkommener genauer Beobachtungen. Es besteht nämlich nach der Unbestimmtheitsrelation von Heisenberg eine prinzipielle Grenze aller Messgenauigkeit insofern, als die gesteigerte Genauigkeit der Messung eines Stückes Natur ^(u) (z. B. der Geschwindigkeit eines Elektrons.)

Das Produkt der ~~beide~~ Genauigkeiten ist von der Grossenordnung des Wirkungsquantums. Dieses allgemeine Gesetz ist eine Folge davon dass der Einfluss der Beobachtung auf das Beobachtete nicht beliebig klein gemacht werden kann, so dass die strenge Unterscheidung zwischen beiden nicht aufrecht erhalten werden kann.

(z. B. eines Ortes des Elektrons) gesetzmässig Verkleinerung der Genauigkeit der Messung eines anderen Bestimmungsstückes nach sich zieht,

-Naturerklärung bedeutet Naturbeschreibung durch Gesetze. (Im allgemeinsten Sinn). Galileis Fallgesetz erklärt, warum der fallende Körper nach einer gewissen Zeit eine gewisse Strecke durchlaufen hat. Newton erklärt wieder Galileis Fallgesetz, indem er es als Spezialfall des Gravitationsgesetzes aufzeigt, und Einstein erklärt das Gravitationsgesetz indem er es auf ein verallgemeinertes Trägheitsgesetz zurückführt. Die Funktion der Gesetze besteht im Beschreiben, nicht im Vorschreiben. Sie sagen, was geschieht, aber sie sind keine Befehle, dass etwas geschehen soll oder muss. Wenn man den Naturgesetzen Notwendigkeit zuschreibt, so bedeutet dies nur, dass sie allgemein gültig sind, nicht aber, dass sie einen Zwang ausüben. Ein Staatsgesetz steht dem Bürger als Zwang gegenüber, aber bei einem Naturgesetz von Zwang zu sprechen ist sinnlos. Man wird zu dieser unzweckmassigen Redeweise verführt durch die Doppelbedeutung des Wortes Gesetz, an der wiederum die unbeabsichtigte Verwendung eines psychologischen Modells schuld ist. Solche psychologische Modelle, in denen Naturvorgänge nach dem Vorbild des psychologischen Geschehens gedacht werden, liegen der mythologischen Weltdeutung und der animistischen Naturauffassung zugrunde, aber auch vielen metaphysischen Systemen, zum Beispiel dem Schopenhauers, der die einzelnen Naturvorgänge als Manifestation eines verborgenen Willens erklärt. Bei Bergson eine ähnliche Rolle der Lebensdrang, *élan vital*, der gleichfalls ein ganzes primitives psychologisches Modell darstellt. Es ist für beide charakteristisch, dass sie der naturwissenschaftlichen Erklärung der Gesetze eine angeblich tiefere philosophische Erkenntnis gegenüberstellen, die nicht in einer blossen Beschreibung bestehe, sondern in einem direkten Versenken. Einswerden, Durchdringen) in der Natur, und dies soll erst zu ihrem eigentlichen Verständnis führen. Sie sehen nicht, dass allein die Beschreibung der Gesetze alles das leistet, was von der Erkenntnis gefordert wird, und dass anschauliche psychologische Modelle nur scheinbar das Verständnis fördern, in Wahrheit aber noch mehr hindern als mechanische Modelle. Auch das Wort Kraft, dessen Bedeutung wir später zu analysieren haben, verdankt seine Einführung in die Naturwissenschaft einem psychologischen Modell.

Se a causalidade é uma relação intemporal importa tanto dizer que o passado determina o futuro como dizer que o futuro determina o passado. Que significa aqui a palavra determina??
A questão segundo a ligação causal dos acontecimentos uns com os outros deve ser evitada como sem sentido como o demonstrou Hume

Das Kausalprinzip ist nicht selbst ein Gesetz, sondern sucht nur die Behauptung auszudrücken, dass Naturgesetze bestehen.

E

I.	Aufgabe der Naturphilosophie	1
II.	Das anschauliche Weltbild u. seine Grenzen	4
III.	Die zeitliche Entwicklung des Universums	8
IV.	Beschreibung und Erklärung	11
V.	Aufbau der Theorien	14
VI.	Theorien und anschauliche Modelle	17
VII.	Vom Sinne räumlicher Bestimmungen	19
VIII.	Die vierdimensionale Welt	27
IX.	Kritik der Konventionalismen	31
X.	Grundgedanken der Speziellen Relativitätstheorie	35
XI.	Das Kausalprinzip in der klassischen Physik	36
XII.	Die statistische Betrachtungsweise	39
XIII.	Die Grundbegriffe der neuen Physik	41
XIV.	Die Kausalität in der neuen Physik	46
	Notizen	47