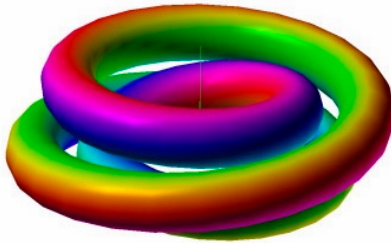


*Karl-Otto Eschrich*

# Fundamente der Physik



Eine kurz gefasste  
Darlegung  
wissenschaftlicher Begriffe  
und Grundsätze  
der Physik



## Vorbemerkung

In meiner ersten Schrift „Grundbegriffe der Physik“ vom Oktober 2005 beschrieb ich die fundamentalen Begriffe der Physik. Vor allem wollte ich dem Wirrwarr in der Sprache der Journalisten begegnen, bei denen eine Idee oder bestenfalls eine Hypothese zur Lösung eines Problems bereits als „Theorie“ bezeichnet wird. Wie soll sich in der Allgemeinheit eine Vorstellung über Wissenschaft bilden und die Fähigkeit zum logischen Denken entwickeln, wenn noch nicht einmal die verwendeten Begriffe klar angewendet werden?

Leider hatte ich selbst den Titel der Schrift zu weit gefasst formuliert. Zu allem Übel fügte ich besonders in den folgenden Auflagen immer weitere meiner Erkenntnisse zu den Elementarteilchen hinzu, wodurch die Klarheit zunehmend schwand. Deshalb entwickelte ich ab Anfang des Jahres 2016 die wissenschaftliche Schrift „Grundlagen der Physik der Elementarteilchen“ (GPE), welche bis jetzt immer mal wieder korrigiert und ergänzt wird. Sie ist auf meiner Internetseite >karl-otto-eschrich-potsdam< veröffentlicht. Zur Zeit ist die Version 1.7.1 erschienen.

Mit dieser Schrift „Fundamente der Physik“ sind die ursprünglichen „Grundbegriffe der Physik“ inhaltlich von der Theorie der Elementarteilchen (in GPE) klar getrennt.

Potsdam, 10. Februar 2020

*Karl Otto Eschrich*

# Inhalt [◊ Sprungmarke zu hier]

Abschnitt	Seite
Grundbegriffe	
• 1 Wissenschaft	1
• 2 Physik	1
• 3 Theorie	2
• 4 Gesetz	3
• 5 Grundbegriff	3
• 6 Materie	3
• 7 Modell	4
• 8 Beobachtung	5
• 9 Ereignis	5
• 10 Πανδυνατο (Pandynato)	6
Größen der Physik	
11• Wirkung, Wirkungsgrösse	7
12• Energie und Bewegungsgrösse (Impuls), Masse	7
13• Gegenstand der Betrachtung, wie Quantenobjekt, Körper, Feld, Fluktuation, Wahrscheinlichkeit, Aufenthaltswahrscheinlichkeit, Zustand, Symmetrien und deren Verletzung	7
Prinzipien	
• 14 Variationsprinzip	9
• 15 Korrespondenzprinzip	10
• 16 Erhaltungssätze	10
Mathematische Begriffe	10

# Grundbegriffe

## • 1 Wissenschaft

Die Wissenschaft ist die Gesamtheit des Wissens und der Methoden über ein zwar begrenztes, jedoch weit umfassendes Gebiet der menschlichen Erfahrung. So kann man zwar Bereiche der Naturwissenschaft abgrenzen, wie Physik, Chemie und Biologie, und als eigenständige Wissenschaft ansehen, die sich jedoch teilweise durchdringen. Ebenso wird die Geisteswissenschaft in Bereiche gegliedert, wie Geschichte, Philologie, Philosophie, Psychologie, Theologie, Staats- und Rechtswissenschaft, Wirtschaftswissenschaft, Kunstwissenschaft u.a. Innerhalb einer Wissenschaft gibt es Bereiche, z.B. in der Physik, die Mechanik, die Elektrodynamik, die Thermodynamik, die Quantenmechanik, die Gravitationstheorie usw., die als Theorien bezeichnet werden, und keine eigenständigen Wissenschaften sind. Im Gegenteil, es wird versucht, sie zu vereinheitlichen.

Die Wissenschaft setzt Grundbegriffe genügend hoher Abstraktion voraus. In der Umgangs- oder Alltagssprache sind Begriffe nicht genau definiert – ihnen ist eine Unschärfe eigen. Diese Unschärfe muss in der Wissenschaft auf ein Minimum reduziert werden.

Im wissenschaftlichen Überbau sind hauptsächlich die Vorstellungen der Wissenschaftler über ihre Wissenschaft enthalten, die bewussten und die unbewussten; aber auch allgemein in der Wissenschaft anerkannte Prinzipien. In der Physik wurde beispielsweise das Variationsprinzip geschaffen. Dieses wurde über mehrere Schritte aus dem Prinzip des kürzesten (oder auch längsten) Weges eines Lichtstrahls entwickelt.  $\diamond$

## • 2 Physik

Die Physik ist die Wissenschaft über die unbelebte Materie. Die Materie wird als objektiv existent, also außerhalb eines Bewusstseins existierend betrachtet. Die Physik selbst hingegen ist ein Produkt des menschlichen Geistes. *Ebenso ist unsere Vorstellung von der Materie von den Sinnesorganen, ihrer Erweiterung durch Messgeräte und der alltäglichen Erfahrung mit ihr abhängig.*

Am Anfang jeder Wissenschaft steht die Bildung und Auswahl von Begriffen. Grundlage dafür ist das vorhandene Abstraktionsvermögen, das sich durch den Umgang mit der Natur – mit der Materie – herausgebildet hat. Ebenso ist eine grundlegende Eigenschaft des Bewusstseins, nach Beziehungen zwischen Begriffen zu suchen, und für diese neue Begriffe zu bilden [siehe • 3 ff].  $\diamond$

## • 3 Theorie

Eine Theorie stellt ein abgeschlossenes System von Gesetzen (in der Mathematik von Axiomen) dar, dass außerdem widerspruchsfrei und vollständig ist. In der Mathematik gilt der von *Kurt Gödel* (1906 – 1978) für formale Systeme

stammende Unvollständigkeitssatz, der besagt, dass jedes hinreichend mächtige formale System entweder widersprüchlich oder unvollständig ist; es können komplexe Aussagen gemacht werden, die weder als richtig, noch als falsch bewiesen werden können. In der Physik hingegen werden Modelle konstruiert und Aussagen daraus abgeleitet, die in Experimenten bestätigt werden müssten. Erfolgt keine Bestätigung, sagt man, das Modell sei nicht anwendbar, also mindestens eine Annahme sei falsch.

Im ersten Schritt der Bildung einer Theorie steckt ein Großteil der geistigen Leistung, nämlich herauszufinden was wesentlich und was unwesentlich bezüglich der gesuchten Zusammenhänge ist. Aus der Natur wird also ein Bereich abgegrenzt, und somit vieles ausgegrenzt. Einige Begriffe bilden die Grundlage (Grundbegriffe), aus denen alle anderen Begriffe unter Anwendung von Definitionen und Zusammenhängen abgeleitet werden können. In der Physik werden die Beziehungen zwischen den Begriffen durch Gesetze, formuliert durch mathematische Relationen, häufig Gleichungen, ausgedrückt. Das bedeutet, man verwendet Begriffe einer höheren Abstraktionsebene und erreicht dadurch eine Universalität der physikalischen Beziehungen. Dies ist eine wesentliche Grundlage zur Anwendung mathematischer Methoden. In deren Folge können bisher unbekannte Erscheinungen abgeleitet werden (z.B. die Hertzschenelektromagnetischen – Wellen).

Einer Theorie gingen in ihrer Entwicklung häufig einzelne Gesetze voraus; meist erst die Zusammenführung einzelner Gesetze ergeben eine Theorie.

Die Universalität der eine Theorie bildenden Gesetze erlaubt ihre (nahezu unbeschränkte) Anwendung auf Modelle der materiellen Umwelt. Eine Theorie hat bereits auf Grund der Wahl der Begriffe einen eingegrenzten Geltungsbereich. Dieser kann durch Widersprüche bei ihrer Anwendung weiter eingegrenzt werden. Andererseits fordern die Widersprüche zu einer Erweiterung oder Schöpfung einer neuen Theorie heraus, letzteres oft auf der Basis eines völlig neuen Begriffssystems oder neuer Vorstellungen über diese Begriffe. Notwendige Voraussetzung für die Richtigkeit der übergeordneten Theorie ist, dass die untergeordnete Theorie als Spezialfall enthalten ist (was abzuleiten manchmal auf Grund der unterschiedlichen Begriffssysteme nicht einfach ist).

Ein aus einer Theorie abgeleiteter Lehrsatz, also eine Aussage mit besonderer Bedeutung, ist ein Theorem. Z. B. das Noether–Theorem, welches Erhaltungssätze und Symmetrien, jeweils in einen Zusammenhang bringt.

Ein besonders anschauliches Beispiel einer Theorie ist die von *James Clerk Maxwell* (1831-1879) stammende Elektrodynamik. Sie entstand aus einer Reihe bereits bekannter Gesetze, die unter einer einheitlichen Sichtweise zusammengefasst wurden. Sie ist auf die elektrischen und magnetischen Erscheinungen der Natur begrenzt. Es stellte sich heraus, dass das Licht eine elektromagnetische Erscheinung ist, was man vorher nicht geahnt hatte. Als man das Elektron als Träger der (negativen) elektrischen Ladung entdeckte, stieß man gleichsam bei ihm an die Grenze der Anwendbarkeit der Theorie. Die dabei auftretenden Widersprüche wurden zum größten Teil in einer neuen, auf anderen Vorstellungen und anderen Grundbegriffen basierenden Theorie, der Quantenelektrodynamik gelöst.

Als Beispiel einer Theorie, die aus einem einzigen Gesetz besteht, ist die Newtonsche Gravitationstheorie, bestehend aus dem Newtonschen Gravitationsgesetz, zu nennen. Aufgrund später festgestellter Unvereinbarkeiten mit der Elektrodynamik, schuf *Albert Einstein* (1879–1955) eine neue Gravitationstheorie (Allgemeinen Relativitätstheorie, 1915/16).

Theorien enthalten unbekannte und somit unausgesprochene Voraussetzungen. Das ist dem begrenzten Erkenntnisstand über unsere eigenen Erfahrungen geschuldet. So setzt beispielsweise die Newtonsche Mechanik unausgesprochen einen metrischen Raum und metrische Zeit voraus. ◇

#### • 4 Gesetz

Ein Gesetz ist der einfachste Bestandteil einer Wissenschaft. Auf der Grundlage bereits vorhandener Begriffe wird ein Zusammenhang zwischen ihnen hergestellt und durch eine mathematische Relation ausgedrückt, am einfachsten in Form einer Gleichung. Ein Gesetz hat einen eingeschränkten Geltungsbereich. In einem Gesetz wird das „Konzentrat“ aus mannigfaltiger Beobachtung und Messungen ausgedrückt und insbesondere durch die mathematische Form verallgemeinert. Dadurch wird es in seinem Geltungsbereich universell anwendbar. Ein Gesetz verstehen ist häufig nichts weiter als Gewöhnung an die verwendeten Begriffe, aber in dem Maße, dass man es anwenden kann.

Existiert eine Theorie, so verlangt man als notwendige Bedingung für ihre Richtigkeit, dass aus ihr die einzelnen Gesetze abgeleitet werden können. ◇

#### • 5 Grundbegriff

Die Grundbegriffe sind im Rahmen der Theorie nicht definiert, also nicht erklärt. Ihre Bedeutung erschließt sich aus früheren Erfahrungen (des Wissenschaftlers) und kann nur beschrieben und an Hand von Beispielen deutlich gemacht werden. Alle anderen in einer Theorie verwendeten Begriffe werden von ihnen abgeleitet.

Dabei besteht eine gewisse Willkür, welche Begriffe als Grundbegriffe und welche als abgeleitete Begriffe gewählt werden (vergleiche die Keplerschen Gesetze mit der Newtonschen Mechanik plus dem Newtonschen Gravitationsgesetz). ◇

#### • 6 Materie

Die Elementarteilchen sind die einfachsten, elementarsten Bestandteile der Materie.

Der Begriff der Materie kann als Gegenstück zum Bewusstsein (manchmal inkorrekt als menschlicher Geist bezeichnet) verstanden werden.

Über die Sinnesorgane und dem Bewusstsein tritt der Mensch, selbst aus Materie bestehend, mit Materie in Wechselwirkung. Infolge der Selbstreflexion (einer internen Wechselwirkung des Bewusstseins „mit sich selbst“) kann ein Eigenbewusstsein entstehen. Somit kann eine Trennung des Eigenbe-

wusstseins von allem anderen gelingen. Da man anderen Individuen „vernünftigerweise“ ebenfalls ein Eigenbewusstsein zugestehen sollte, kann man Materie als alles außerhalb und vor allem unabhängig von jeglichem Bewusstsein Existierendem verstehen.

Ein Individuum hat nur ein Bild der Materie, also eine Vorstellung über sie. Dieses Bild ist natürlich vom Bewusstsein und den „vorgeschalteten“ Sinnesorganen abhängig, da man nur im Bewusstsein über die Materie reflektieren kann. Da jedes Bewusstsein beschränkt ist, ist das Bild der Materie nicht nur unvollständig, sondern auch einseitig, gleichsam eine Schablone der Materie. Für ein einzelnes Individuum existiert die Materie (nur) in dessen Bewusstsein.

Dies ist eine Erklärung des Begriffes Materie, aber keine Definition, da der Begriff „Bewusstsein“ nicht definiert, sondern als allgemein bekannter Begriff – a priori – vorausgesetzt ist. Dieses Dilemma tritt stets bei grundlegenden Begriffen auf. Bereits deutlich bei der klassischen, Newtonschen Mechanik (es gibt mehr Begriffe als Relationen zwischen ihnen). Gezwungenermaßen werden einige Begriffe aus dem „gesunden“ Menschenverstand entlehnt, die bestenfalls an Hand von Beispielen oder dargestellten Vorgängen erläutert werden können.

Ob Bewusstsein abhängig oder unabhängig von jeglicher Materie angesehen wird, ist dabei unwesentlich. Hier wird jedoch davon ausgegangen, dass ein Bewusstsein eine Eigenschaft hochkomplexer Materie ist, aber eine darüber stehende Erscheinungsform haben kann, in gewissem Maße außerhalb – nicht unabhängig – von Materie existiert. Denn ein schöpferisches Bewusstsein, ein schöpferischer „Geist“, ist nicht ohne Weiteres aus der Materie zu erklären.

Die Materie hat verschiedene Eigenschaften, wie Wirkung, Energie, Bewegungsgröße. Aus der klassischen Thermodynamik sind z.B. die Zustandsgrößen Entropie, Volumen (oder Massendichte), Druck und Temperatur bekannt.

Raum und Zeit sind bestimmt nicht Materie, werden aber durch sie, nicht zwangsläufig, hervorgerufen. Letztendlich sind Raum und Zeit Eigenschaften der Materie. Raum und Zeit sind jedoch notwendig zur Existenz von Wechselwirkung (siehe GPE, Beobachtbarkeit) und letztlich von Individuen, die in ihrem Bewusstsein erst den Begriff der Materie bilden können.

Bei den Elementarteilchen gibt es zwei grundsätzlich verschiedene Formen, einmal die mit Ruhenergie gleich Null, z.B. die Photonen, und die ungleich Null, z.B. die Elektronen, die u.a. die „stoffliche“ Form darstellen.

Neben dieser seit langem bekannte Form gibt es die sogenannte unsichtbare oder Dunkle Materie.◇

## • 7 Modell

Ein Modell ist ein Ausschnitt aus der Umwelt und deren Reduktion auf physikalische (allgemeiner: wissenschaftliche) Begriffe. Die dadurch mögliche Anwendung einer oder mehrerer Theorien ermöglicht Aussagen über



Zustände oder das Verhalten des Modells, die entweder bereits bekannt waren oder neu sind. So können Vorhersagen getroffen oder auch Theorien auf ihre Richtigkeit oder ihren Geltungsbereich überprüft werden. In der Regel ist ein Modell nicht von der Umgebung isoliert. Dann muss aber bestimmt sein, welche Wechselwirkungen mit der Umgebung bestehen.

Eine Theorie trägt ebenfalls Eigenschaften eines Modells (das trifft auch auf Philosophien zu).

Um eine Aussage zu erhalten sind zwei Aufgaben zu lösen. Als erstes müssen das Modell aufgestellt und dessen mathematische Beziehungen, im einfachsten Fall Gleichungen, verknüpft werden. Besonders bei komplexen Strukturen gelingen keine endgültigen mathematischen Verknüpfungen, beispielsweise in Form von Gleichungen. Dann bleibt nur der Weg numerischer Rechnungen, in der Regel mit dem Ergebnis von Zahlen, in Tabellen angeordnet und in Grafiken veranschaulicht. Der zweite Schritt besteht darin, die mathematischen Ableitungen oder/und numerischen Werte zu interpretieren und zu verstehen.  $\diamond$

### • 8 Beobachtung

Die Beobachtung ist einer der wichtigsten Grundlagen jeder Wissenschaft. Der Begriff der Beobachtung ist in der Physik so bedeutend, dass aus ihm die Grundlage des Verständnisses der Materie im Raum und in der Zeit abgeleitet werden kann. In der Wissenschaft werden Ereignisse beobachtet und mit Begriffen in Verbindung gebracht, zwischen denen Beziehungen oder Zusammenhänge gesucht werden.

Eine Messung ist eine Beobachtung unter einer Reihe spezieller Voraussetzungen. Beispielsweise ist bei einer Messung die Existenz und die vorhergehende Festlegung von Maßstäben erforderlich.  $\diamond$

### • 9 Ereignis

Unter Ereignis ist die Wechselwirkungen von Eigenschaften zu verstehen. Eigenschaften in der Physik z. B. sind die Ladungen (elektrische Ladung, die Farbladung der Quarks, usw.). Gibt es einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen zwei Eigenschaften, so versteht man in der Physik darunter, dass sie einander einer Wirkung, einer Wechselwirkung, unterliegen.

Ein Ereignis ist nur dann beobachtbar, wenn es eingegrenzt ist. Außerdem ist es nur dann als solches zu beobachten, wenn die wechselwirkenden Eigenschaften nicht „zusammenfallen“: Ein Ereignis ist nur dann beobachtbar, wenn sich die wechselwirkenden Eigenschaften in Raum und Zeit unterscheiden. Unterscheiden sich zwei Eigenschaften nicht in Raum und Zeit, so würden sie „zusammenfallen“, wären identisch und es hätte keinen Sinn von einer Wechselwirkung zu sprechen.

Da sich wechselwirkende Eigenschaften in Raum und Zeit unterscheiden (müssen), muss die Ausbreitung der Wirkung zwischen ihnen begrenzt sein. Diese obere Grenze der Ausbreitung der Wechselwirkung wird mit der

Lichtgeschwindigkeit (Vakuumlichtgeschwindigkeit) identifiziert.

Es gibt noch eine weitere Einschränkung über die Wirkung zwischen zwei Eigenschaften. Denn, will man von einer Wechselwirkung sprechen, kann sie nicht beliebig klein sein, sonst hätte man einen Grenzübergang zu keiner Wechselwirkung, was sinnlos wäre: Es gibt eine untere Grenze für das Maß einer Wirkung. Dieser minimale Wert soll mit dem Planckschen Wirkungsquantum identifiziert werden.

Die Ausbreitung der Wirkung erfolgt wiederum durch Eigenschaften; in der Physik z.B. durch Wechselwirkungsteilchen (Felder) beschrieben.

Es ist nicht ausgeschlossen, dass es Materie gibt, die diese Bedingungen nicht erfüllt, etwa ohne Unterschiede in Raum oder Zeit existiert. Dann ist die Wechselwirkung einer direkten Beobachtung nicht zugänglich. Dies ist sicherlich keine Erklärung für die sogenannte Dunkle Materie, für und über sie gibt es andere Vorstellungen (siehe GPE). [◇](#)

#### • 10 Πανδυνατο (Pandynato)

Unter Pandynato versteht man den Ausgangszustand aller Materie mit der Eigenschaft, Ereignisse hervorbringen zu können. Es existiert unabhängig von Raum und Zeit, die vielmehr erst durch die Ereignisse entstehen. Pandynato ist die Übertragung von das Allmögliche in die griechische Sprache.

Insbesondere kann ein Ereignis eine Quanten-Fluktuation sein.

Infolge von Symmetrieverletzungen und dadurch ermöglichter Bildung stabiler Konglomerate (z.B. gewisser Elementarteilchen), kann daraus durch Evolution der Ausgangszustand eines Kosmos entstehen.

Die Anzahl der verschiedenen Ereignisse, also u. a. die Art der Wechselwirkungen, wird als begrenzt, aber groß angenommen.

In vielen Theorien der Physik ist die Einführung eines geometrischen Raumes und einer Zeit notwendig. Dabei werden deren Eigenschaften festgelegt. Beim Raum beispielsweise ob er metrisch ist oder nichtmetrisch, die Anzahl seiner Dimensionen und seine Krümmung (siehe hier z.B. GPE). [◇](#)

---

1. Der griechische Ausdruck Pandynato ist in germanischen Sprachen leider sperrig, ein lateinischer ist nicht zu finden, da es keinen Ausdruck für Möglichkeit/möglich gibt. Im lateinischen bedeutet sogar dynastes Machthaber. Am nächsten käme omnipotens, als Substantiv omnipotentia, welches allmächtig bzw. das Allmächtige bedeutet, und nicht den Kern der Aussage des alle Möglichkeiten beinhaltenden trifft. Außerdem ist diese Eigenschaft in der abendländischen bzw. christlichen Kultur Gott zugeschrieben.

## Größen der Physik

### • 11 Wirkung, Wirkungsgröße

Die Wirkung ist die grundlegende Größe in der Physik. Die Physik beschäftigt sich mit der Wechsel-Wirkung der Objekte untereinander (siehe auch • 8 Beobachtung und • 9 Ereignis). Das Maß dieses Wirkungs-austausches kann keine beliebigen Werte annehmen, sondern muss ein Vielfaches des Planckschen Wirkungs-Quantums (Symbol:  $h$ , oder häufig  $\hbar = h/2\pi$ ) betragen. Dies postulierte zuerst *Albert Einstein* im Jahre 1905 für die Wechselwirkung des Lichtes mit Atomen, dem Lichtelektrischen- oder Photo-Effekt. Die Quanten des Lichtes sind die damit eingeführten Photonen.

In der klassischen Physik wurde die Wirkung, Symbol  $W$ , als  $W = E \cdot t$  (Energie mal Zeit, eigentlich das Integral der Energie über die Zeit  $W = \int E dt$ ) eingeführt.

Hier wird gerade umgekehrt vorgegangen. Aus dem Grundbegriff Wirkung werden andere Begriffe wie Raum und Zeit einerseits und Bewegungsgröße (Impuls) bzw. Energie andererseits abgeleitet.  $\diamond$

### • 12 Energie und Bewegungsgröße (Impuls)

Die Energie, Symbol  $E$ , wird durch die Norm  $\|F\|$  einer Wechselwirkung, die durch die Größe  $F$  beschrieben wird, festgelegt. Dies muss in einer Weise geschehen, dass im Übergang zu metrischen Größen  $E$  entsteht (Korrespondenz-Prinzip, siehe • 15). Dies geschieht häufig durch die Bildung einer quadratischen Form aus Größen, die eine Wechselwirkung beschreiben.

Es muss die Bedingung  $\sum E_i \cdot t_i = n \cdot \hbar$  erfüllt sein ( $n$  ist die Anzahl der beteiligten Fluktuationen; Summation  $\Sigma$  über  $n$  Teilchen).

(Man kann auch eine „negative“ Energie  $E = - \|F\|$  definieren, was durch eine Spiegelung der Zeit  $t \Rightarrow -t$  umgekehrt werden kann; siehe GPE)

Da in  $F$  nichtklassische Größen wie  $\mathbf{x}$  und eventuell  $t$  eingehen, sind  $\|F\|$  und  $E$  im Einbettungsraum mit Unschärfen behaftet, man erhält somit den Übergang  $E \Rightarrow E + \delta E$ .

Die Bewegungsgröße, Symbol  $\mathbf{p}$ , ist eine allgemeine Intensitätsgröße einer Wechselwirkung. Sie wird durch einen Satz  $\mathbf{p}_i$  von  $M$  Werten dargestellt, gemäß der Anzahl  $M$  der Dimensionen des Raumes. In der Darstellung in den räumlichen Dimensionen  $\mathbf{x}_i$  müssen sie für ein Teilchen die Bedingung  $\sum \mathbf{p}_i \cdot \mathbf{x}_i = \hbar$  erfüllen (Summe über  $i$  von 1 bis  $M$ ). Für eine Fluktuation besteht nicht der Zusammenhang  $|\mathbf{x}_i|/t = c$  (siehe auch den nächsten Abschnitt • 13).

Der Begriff der Masse  $m$  ist in der Newtonschen Physik zentral. Hingegen spielt er in der relativistischen Physik keine Rolle. Aus dem Äquivalenzprinzip erhält man  $m = E/c^2$ .

13 • **Gegenstände der Betrachtung** sind: Quantenobjekt, Körper, Feld, Fluktuation, Wahrscheinlichkeit, Zustand, Symmetrien und deren Verletzung.  
**Quantenobjekt**

Ein Quantenobjekt wird durch seine Wechsel-Wirkung mit anderen Quantenobjekten bestimmt.

„Hinterlegt“ man Quantenobjekten, deren physikalischer Raum nichtklassisch ist, einen klassischen, metrischen Raum, dann erscheint das Quantenobjekt als „verschmiertes“, unscharfes Gebilde. Dies ist der tiefere Hintergrund der Unschärferelation von *Werner Heisenberg* (1901-1976), geht jedoch darüber hinaus. In einer kleinen Umgebung eines Raumpunktes gibt es dann nur noch eine gewisse Wahrscheinlichkeit, mit einem klassischen Körper, einem Gerät, ein Quantenobjekt zu messen (Gerät, nach *Lew Landau* (1908 – 1968)). Der offensichtliche „Umweg“, die zusätzlich eingeführte Metrik, kann sich jedoch als nützlich erweisen, wenn man das Werkzeug der Differential- oder Integralrechnung benutzen will, wie sie in der klassischen Physik bei der Darstellung von Zusammenhängen zwischen physikalischen Größen häufig angewendet wird. Dann müssen alle „zuviel“ eingeführten Punkte und Linien wieder aufsummiert (oder integriert) werden (*Feynmansche Pfadintegrale*, *Richard Feynman* (1918 – 1988)).

In den Anfangsjahren der Quantenmechanik sprach man von **Aufenthalts-wahrscheinlichkeit**, offensichtlich unter der Vorstellung eines Quantenobjektes als punktförmigen oder kugelförmigen Körper der klassischen Mechanik.

Dies wurde durch *Lew Landau* spätestens im Jahre 1947 korrigiert. Es ist die Wahrscheinlichkeit einer Messung.

### **Feld**

Ein Feld ist eine Hilfsgröße zur Beschreibung einer Wechselwirkung. Die Wechselwirkung kann andererseits durch eine Vielzahl virtueller Teilchen (Fluktuationen) beschrieben werden.

In der klassischen Physik wurde der Feldbegriff zur Beschreibung von Kräften zwischen Ladungen eingeführt. Eine Sonderrolle hat die Gravitationskraft. Sie bedarf letztlich zu ihrer Beschreibung kein Feld (keine virtuellen Gravitonen), denn sie kann vollständig auf die Raumkrümmung zurückgeführt und durch dessen Metrik beschrieben werden. Diese Sonderstellung ist einleuchtend, ist doch ihre Ursache, die Energie (plus Bewegungsgröße, plus Druck oder Spannung) eine abgeleitete Größe aus den verschiedenen Wechselwirkungen (Feldern). Anderenfalls wären Gravitonen Teilchen von Teilchen. Die Beschreibung der Gravitation ist bis zu Abständen möglich, die groß sind gegenüber den zeitlichen und räumlichen Unschärfen, die im Einbettungsraum vorhanden sind.

### **Fluktuation**

Eine Fluktuation hat die Wirkung  $\hbar$  (oder  $h$ , das Maßsystem ist hier nicht festgelegt; gemäß dem üblichen Gebrauch wird hier ebenfalls  $\hbar$  geschrieben). Eine Fluktuation ist nicht an die Existenz eines Raumes und der Zeit geknüpft. Es genügt das Vorhandensein einer schlichten Möglichkeit, der Potenz, einer Fluktuation. Dafür, für das Ur-Universum, wurden bereits verschiedene Begriffe eingeführt. Seiner Bedeutung nach ist es **Πανδυνατο** (Pandynato – das alle Eigenschaften und Dinge in seiner möglichen Existenz enthaltende).

Diese Fluktuation erzeugt die Zeit  $t$  und den Raum  $x$ . Die Zeit  $t$  besitzt eine (einzige) Dimension, da  $\hbar$  eine einkomponentige Größe ist (siehe GPE). Der

Raum  $\mathbf{x}$  ist in der Anzahl der Dimensionen nicht festgelegt, nach unserer Erfahrung muss er mindestens die Anzahl drei haben. Festgelegt ist nur die Dimension, in welcher die Bewegungsgröße  $\mathbf{p}$  gerichtet ist. Die Dynamik, ausgedrückt durch die Bewegungsgröße, ist eine immanente Eigenschaft einer Fluktuation.

Das in einer Fluktuation erzeugte Teilchen ist im einfachsten Fall ein Photon. Da dieses Photon einer unmittelbaren Messung nicht zugänglich ist, mit ihm gibt es keine Wechselwirkung, wird es als virtuelles Photon bezeichnet. Es wurde im Rahmen der Quantenelektrodynamik zur Beschreibung der Wechselwirkung elektrischer Ladungen eingeführt.

### **Symmetrie und Symmetrieverletzung**

In der Physik spricht man von der Symmetrie einer Theorie und der Symmetrie eines (konkreten) Systems. Dabei gibt es kontinuierliche und diskrete Symmetrien, bezüglich des Raumes, der Zeit oder eines Parameters. Wenn eine Theorie eine gewisse Symmetrie besitzt, muss das durch sie beschriebene System diese Symmetrie nicht aufweisen. Die Existenz von Symmetrien spielt insbesondere in den Theorien eine wichtige Rolle, da Erhaltungssätze daraus folgen. Andererseits ist gerade die Verletzung einer räumlichen Symmetrie bei Konglomeraten von großer Bedeutung, da dies die Bildung übergeordneter Konglomerate und Strukturen ermöglicht.  $\diamond$

## Prinzipien

### • 14 Variationsprinzip

Das Variationsprinzip hat sich in der Physik zu einem mächtigen Werkzeug entwickelt. Mit seiner Hilfe können in metrischen Räumen für physikalische Objekte (Felder oder stoffliche Objekte) die Bewegungsgleichungen bzw. Grundgleichungen abgeleitet werden. Dabei wird verlangt, dass die Variation der Wirkung zwischen zwei beliebigen, aber festen, Raumpunkten verschwindet. Die Wirkung selbst wird als Integral einer bestimmten Funktion (der Lagrange-Funktion) über die Zeit dargestellt. Diese Funktion ist vorerst nicht bekannt, man legt nur fest von welchen physikalischen Größen und in welcher Form sie von diesen abhängt, d.h. man gibt bestimmte Symmetrien vor.

Dass dabei die Wirkung extremale Werte annimmt ist nicht der Hintergrund des Prinzips, sondern die Eigenschaft, dass bei verschwindender Variation der Wirkung sich diese nicht ändert. Also kleine Änderungen – Variationen – der physikalischen Größen dürfen die physikalische Größe Wirkung nicht ändern. Daraus folgen stabile Lösungen der Lagrange-Funktion, mit anderen Worten: es werden Funktionen gesucht, deren Zeitintegral sich nicht ändert, wenn ihre Parameter variiert werden. Als Nebenprodukt aus der Differentialgeometrie erhält man extremale Werte des Zeitintegrals.

In der nichtmetrischen Raum-Zeit  $(\mathbf{x}, t)$  kann im Allgemeinen für Wechselwirkungen kein Variationsprinzip eingeführt werden. Das hängt damit zusammen, dass die physikalische Größe Wirkung keinen kontinuierlichen Wert annimmt, da  $W$  ein Vielfaches von  $\hbar$  ist, also keine infinitesimal vari-

ierbaren Werte annehmen kann. Für eine sehr große Anzahl von Teilchen ist die Wirkung eine quasi kontinuierliche Größe. Dann kann auch in einer nichtmetrischen Raum-Zeit  $(\mathbf{x}, t)$  ein Variationsprinzip angewendet werden, da die Wirkung eine Größe ohne Unschärfe ist. Dabei müssen alle Wirkungen der gesamten Raum-Zeit oder eines isolierten Teiles der Raum-Zeit berücksichtigt werden. Es sind nur Prozesse möglich, bei denen die Wirkung eine stabile Größe ist, ihre Variation verschwindet. Wäre die Wirkung nicht stabil, würde sie in so kurzer Zeit wie möglich einem stabilen Zustand zustreben. Bei Photonen bedeutet dies (im Einbettungsraum) den Übergang zur Wellenoptik und bei Negation der Unschärfe zur geometrischen Optik – der Lichtstrahl nimmt einen Weg mit extremalem Abstand.  $\diamond$

### • 15 Korrespondenzprinzip

Man fordert, dass in den allgemeineren Theorien die spezielleren als Grenzfälle enthalten sind. Dies erlaubt eventuell die Interpretation neu auftretender physikalischer Größen und das Verständnis der allgemeineren und abstrakteren Theorie.

Bekannte Beispiele dafür sind der Übergang der speziellen Relativitätstheorie zur Newtonschen Mechanik, wenn man die Grenzgeschwindigkeit  $c$  formal gegen Unendlich streben lässt, und der Übergang der Quantenmechanik zur Newtonschen Mechanik, wenn man das Wirkungsquantum  $\hbar$  formal gegen Null streben lässt.  $\diamond$

### • 16 Erhaltungssätze

Das **Noether-Theorem** sagt aus, dass zu jeder kontinuierlichen Symmetrie eines physikalischen Systems eine Erhaltungsgröße existiert und umgekehrt. Es wurde 1915 von *Emmy Noether* (1882 – 1935) bewiesen.

Symmetrie bedeutet dabei, dass sich das Verhalten eines physikalischen Systems bei Anwendung einer bestimmten Transformation (z.B. Koordinatentransformation oder Eichtransformation) nicht verändert.

Eine Erhaltungsgröße des Systems ist eine Größe, die sich als Funktion der Zeit, genauer gesagt durch die Dynamik des Systems, nicht ändert [aus Wikipedia: Noether-Theorem].

Vermutlich wird eine diskrete Größe bei einer diskreten Symmetrie erhalten, z. B. der Spin bei Spiegelsymmetrie.  $\diamond$

## Mathematische Begriffe

In der Physik werden eine ganze Reihe mathematischer Begriffe verwendet. Ist doch die Physik einer der grössten Anwender der angewandten Mathematik. Es liegt aber nicht in der Absicht in dieser kleinen und kurzen Abhandlung auf diese Begriffe einzugehen, zumal sie wenig in den Sprachgebrauch des Alltags Eingang gefunden haben. Dann aber gewöhnlich in unsachgemässer Weise. Nur ein Beispiel: Will sich jemand besonders „gelehrt“ darstellen, spricht er von „Schnittmenge“, jedoch ohne die Menge jemals definiert zu haben. Offensichtlich weiss er garnicht, wovon er spricht!