

Einführung in Konzepte der Physik

Stefan M. Sattler

25. März 2005, Graz

Abstract: Skriptum zur Vorlesung von *Univ. Prof. Max Lippitsch Einführung in die Konzepte der Physik* im Wintersemester 2004/05 in Graz mit folgenden Themen: Was ist Physik? Methodik der Naturwissenschaften, erkenntnistheoretische Grundlagen. Was ist ein Naturgesetz? Phänomen, Experiment und Theorie. Quantifizierbarkeit und Mathematisierung, Maßsysteme. Modellbildung. Symmetrien und Erhaltungssätze, Stellung der Physik in der abendländischen Geistesgeschichte und im modernen Bildungsbegriff. Erweitert um ein Kapitel zum Determinismus.

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	3
2	Was ist Physik?	3
2.1	Geschichtliche Entwicklung	3
2.2	Definitionsversuche	4
3	Methodik der Naturwissenschaften, erkenntnistheoretische Grundlagen	4
3.1	Methodik der Naturwissenschaften, i.S. in der Physik	4
3.1.1	Experiment	5
3.1.2	Theorie	5
3.1.3	Theorie und Experiment	5
3.2	Erkenntnistheorie	6
3.3	Wissenschaftstheorie	7
3.3.1	Induktivismus	7
3.3.2	Falsifikationismus	7
3.3.3	Grenzen des Falsifikationismus	7
4	Was ist ein Naturgesetz? Phänomen, Experiment und Theorie	7

5	Quantifizierbarkeit und Mathematisierung, Maßsysteme	7
5.1	Quantifizierbarkeit	7
5.2	Mathematisierung	7
5.2.1	Mathematik als Vorbild	7
5.2.2	Experiment	8
5.3	Maßsysteme	11
6	Modellbildung	11
7	Symmetrien und Erhaltungssätze	11
7.1	Symmetrien	11
7.2	Erhaltungssätze	11
8	Determinismus	12
9	Stellung der Physik in der abendländischen Geistesgeschichte und im modernen Bildungsbegriff	13
10	Anhänge	14
10.1	Anhang A - Bayes Theorem	14

1 Vorwort

Aus meiner Begeisterung für Wissenschaft, ihrer Möglichkeiten und Grenzen heraus entstand die Idee dieses Skriptum zu verfassen. Die Einführungsvorlesung *Einführung in Konzepte der Physik* von Prof. Lippitsch, die im Wintersemester 2004/05 auf der Karl-Franzens Universität in Graz abgehalten wurde, behandelte genau jene Themen, die für eine erste Beschäftigung mit *Wissenschaftstheorie* herangezogen werden können.

2 Was ist Physik?

In diesem Kapitel möchte ich mich mit der Frage beschäftigen was man früher bzw. was man heute unter Physik versteht. Ebenfalls halte ich es für relevant die Notwendigkeit der Physik zu hinterfragen.

2.1 Geschichtliche Entwicklung

Zur Zeit als die Menschen begannen sesshaft zu werden und sich die Arbeitsteilung abzuzeichnen begann, waren sie durch den zunehmenden Ackerbau – im Gegensatz zu früher – viel mehr auf passendes Wetter angewiesen. Die Menschen begannen sich darüber Gedanken zu machen, erkannten bald die Bedeutung der Jahreszeiten und der Witterungsverhältnisse, die maßgeblich daran beteiligt waren, ob die Ernte ausreichend Erträge brachte, um ihre Sippe zu versorgen.

Dem analytischen Geist der Menschen ist es zu verdanken, dass sie versuchten das Zustandekommen dieser Phänomene zu erklären. Dazu bediente man sich – wie es auch noch in unserer Zeit üblich ist – einer abstrakten Beschreibung: **Gott**: Eine Art *Übermensch* der die Vorgänge in der Natur steuert. In manchen Kulturen fand die unter den Menschen so gut funktionierende Arbeitsteilung auch bei den Göttern statt: Ein Gott für jede Naturerscheinung. *Was konnte man also machen, um den Erfolg der eigenen Sippe zu verbessern?* Eine Möglichkeit wäre besänftigen: Man glaubte einen besseren Ertrag zu erhalten, wenn man den zuständigen Gottheiten Opfergaben überbrachte, Skulpturen und Gebäude errichtete. Allerdings versuchen wir Menschen bereits seit anbeginn der Zeit *wiederkehrende Elemente* in unserer Umwelt zu finden, um zukünftige Ereignisse vorhersagen zu können¹.

Wenn wir heute ein gewaltiges Gewitter miterleben, machen wir uns wenig Gedanken um unsere Sicherheit. Wir müssen nicht fürchten, dass unser Haus durch einen Blitzschlag in Brand gesteckt wird – wir verfügen über einen *Blitzableiter*. Was taten aber die Menschen, als sie erstmals Hütten bauten, um ihre Häuser zu schützen? Auch sie brauchten eine Art Blitzableiter, den sie in Form eines Tempels, für die zuständige Gottheit, realisierten.

Sehr bald stellten die Menschen jedoch fest, dass die Opfergaben keine Garantie auf Erfolg in Aussicht stellen und begannen in Eigeninitiative Lösungsstrategien zu entwickeln.

¹Ich würde dieses Vorgehen als *Optimierungsversuche* ansehen, unser Leben angenehmer, auf jeden Fall aber rationeller zu führen

2.2 Definitionsversuche

„*peri physios*“, lautete der Buchtitel von *Anaximander*, was soviel heißt wie „Über die Natur“². Somit war er der Schöpfer des Wortes **Physik**. Was aber verstehen wir heute unter Physik? Im Internetzeitalter schlagen wir in der Wikipedia³ nach und finden:

Die Physik (griechisch *φυσική*, physiki „die Natürliche“) ist die Naturwissenschaft, welche die grundlegenden Gesetze der Natur, ihre elementaren Bausteine und deren Wechselwirkungen untersucht. Sie befasst sich sowohl mit den Eigenschaften und dem Verhalten von Materie und Feldern in Raum und Zeit als auch mit der Dynamik von Raum und Zeit selbst. Die Physik beschreibt die Natur quantitativ mittels naturwissenschaftlicher Modelle, so genannter Theorien und ermöglicht damit insbesondere Vorhersagen über das Verhalten der betrachteten Systeme. Dazu verwendet sie die Sprache der Mathematik. Zur Abgrenzung gegenüber der Biologie wird die Physik oftmals als die *Wissenschaft von der unbelebten Natur* bezeichnet.

Anders Ausgedrückt ist Physik die Wissenschaft von den *einfachen Dingen*. Sie beschäftigt sich mit der unbelebten Natur und den in ihr *beobachtbaren Phänomenen*, die anschließend in einer Hypothese/Theorie verpackt werden. Die Physik bedient sich dabei den Hilfsmitteln der Mathematik, um eine möglichst einfache und abstrakte Beschreibung der Natur zu formulieren.

3 Methodik der Naturwissenschaften, erkenntnistheoretische Grundlagen

In diesem Kapitel möchte ich die Methoden⁴ in der Physik ein wenig beschreiben (Kapitel 3.1) und anschließend ihre Exaktheit bzw. Zuverlässigkeit unter zu hilfenahme philosophischer Theorien hinterfragen. (Kapitel 3.2 und 3.3)

3.1 Methodik der Naturwissenschaften, i.S. in der Physik

Trotz der wunderschön mathematisch ausformulierten Theorien und Gesetze, bleibt die wichtigste Methode immer noch die *Beobachtung* der Natur. Um diese Beobachtung „wissenschaftlicher“ zu gestalten versucht man *wiederholbare Bedingungen* zu schaffen, die ein späteres Überprüfen der Beobachtung zulassen sollen. Ein Physiker muss sich mögliche *Experimente* – siehe dazu auch Kapitel 3.1.1 – ausdenken und diese gewissenhaft durchführen, um *allgemein gültige Gesetze* aus in der Natur *wiederkehrenden Elementen* ableiten zu können.

Ist das Experiment erfolgreich durchgeführt worden, so hat der Experimentator Grund zur Annahme, dass seine zuvor aufgestellte Hypothese zielführend ist und er wird sich

²Da *peri* besser mit „oben drüber“ übersetzt werden sollte, ist „Rundherum um die Natur“ vielleicht aussagekräftiger

³<http://de.wikipedia.org>

⁴Vorgehensweisen

bemühen die gewonnene Erkenntnis niederzuschreiben. Gerne wird an dieser Stelle erwähnt, dass physikalische Theorien als mathematische Formeln – der Sprache der Physik – niedergeschrieben werden.

In den Geisteswissenschaften müssen nachfolgende Begrifflichkeiten wie „Experiment“ adaptiert werden, da sich diese Wissenschaften anderen Methoden bedienen. Dort finden vielmehr Verfahren wie die Dialektik Anwendung: aus dem Gegensatz von These und Antithese folgt durch die Synthese ein Erkenntniszugewinn.

3.1.1 Experiment

3.1.2 Theorie

3.1.3 Theorie und Experiment

Ich möchte - wie vorweggenommen - die naturwissenschaftliche Methodik am Beispiel der Physik illustrieren. Die Physik bedient sich als Sprache der Mathematik und als Methode der Logik, um theoretische Konzepte zu erarbeiten. Experimente und Beobachtungen der unbelebten Natur müssen die Theorie stützen, sonst fällt sie. Dieses fundamentale Konzept verfolgen auch die anderen Naturwissenschaften, wie Chemie und Biologie.

Demzufolge bilden die Grundlage der wissenschaftlichen Methodik die beiden Säulen Theorie und Experiment. Die Symbiose dieser beiden Teilbereiche naturwissenschaftlicher Arbeit gab es nicht immer.

Aristoteles (384 - 322 v.Chr.) hatte die Überzeugung, dass man Gesetzmässigkeiten allein durch Denken, also nur durch die Theorie, eruieren könnte. Nach dieser philosophisch geprägten Grundhaltung entstammt Erkenntnis ausschliesslich der intelligiblen Welt und Bedarf keiner Verifikation durch die reale Welt.

Erst mit *Galileo Galilei* (1564 - 1642) kam im 16. Jahrhundert die moderne, wissenschaftliche Methode auf, die Gesetze durch Beobachtungen zu bestätigen. Diese Epoche bezeichnet man mit der Aufklärung, in der sich der Mensch zunehmend darauf besann sich seines Verstandes zu bedienen. Als Ausfluss dieses „geistigen Entwicklungsschrittes“ sind die heute wesentlichen Eigenschaften des „rationalen Forschens“ anzusehen:

- eine Versachlichung des Problems (auch durch die Verwendung einer sachlichen Fachsprache),
- eine theoretische Einbettung (meist durch die Verwendung der mathematischen Sprache),
- die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse unter gleichen Bedingungen.

Dieser Entwicklungsschritt war notwendig, weil der so genannte „gesunde Menschenverstand“ oft Fehlschlüsse nach sich zieht. Das Problem des „gesunden Menschenverstandes“ ist, dass er empirisch geprägt ist, demnach unserer täglich erfahrbaren Welt entstammt. Aus diesem Grund haben die grossen physikalischen Theorien des 20. Jahrhunderts, die Relativitätstheorie und die Quantentheorie, einen schöpferischen Geist erfordert, der bereit war vom Wege des „gesunden Menschenverstandes“ abzuweichen.

Auch heute noch bereiten diese Konstrukte beträchtliche Verständnisprobleme und treiben unser Vorstellungsvermögen an die Grenzen (z.B. Krümmung einer vierdimensionalen Mannigfaltigkeit, Tunneleffekt), wengleich sie vielfach verifiziert und in der wissenschaftlichen Gemeinschaft anerkannt sind und hochgelobt werden.

3.2 Erkenntnistheorie

Bevor ich näher auf die Erkenntnistheorie eingehen werde, möchte ich vorerst einige Begriffe erwähnen, die für das spätere Verständnis wichtig sein werden.

Die *Erkenntnistheorie* oder die *Epistemologie* (von *griechisch* επιστημη, epistémē = Wissenschaft, Wissen + λογος, lógos = Wissenschaft, Lehre) ist der Zweig der *Philosophie*, der sich mit der Frage beschäftigt, wie Wissen, Erkenntnis und Wahrheit prinzipiell zu erlangen und zu nutzen sind und welche natürlichen Grenzen der Erkenntnis gesetzt sind.

Mitunter wird unter Epistemologie im umfassenden Sinne auch *Wissenschaftstheorie* verstanden. Im Gegensatz zur *Ontologie*, die sich mit dem Sein der Dinge beschäftigt, fragt die Erkenntnistheorie, wie wir zu Erkenntnisgebilden ursprünglich kommen. In den Naturwissenschaften benutzt man zur Gewinnung neuer Erkenntnisse – explizit oder implizit – das *Bayes-Theorem*⁵.

Im 16. Jahrhundert begannen sich Philosophen wieder ernsthaft mit dem Problem der *Erkenntnis* zu beschäftigen. Zu dieser Zeit gab es drei wichtige Strömungen, die hier eine kurze ⁶ Erwähnung erfahren sollen:

R. Descartes vertrat den *Rationalismus* (ratio = Vernunft). Er versuchte die Welt durch logisch Einwandfreie Schlüsse zu beschreiben und glaubte, dass die Menschen eines Tages auf die *empirie* komplett verzichten können.

D. Hume begründete den *Empirismus* (empirie = Erfahrung) mit seiner Kernaussage: „Wir sollen uns an dem orientieren, was der Fall ist.“

- Strukturierte Erfahrung
- objektivierbare Daten

I. Kant schlug eine Symbiose aus dem Rationalismus und dem Empirismus vor und begründete den *Kritizismus*. „Die Rationalisten übertreiben.“ Er strebte eine kritische analysis des menschlichen Erkenntnisvermögens an.

- Was kann ich wissen?
- Was soll ich tun?
- Was darf ich hoffen?

⁵Ausführung zum Bayes Theorem siehe Anhang A

⁶siehe auch das Skriptum: *Einführung in die Philosophie Teil I und II, Prof. Götschl*

Im weiteren Verlauf der Philosophie begann man sich mit den Wissenschaften auseinanderzusetzen, insbesondere wollte man die Genauigkeit der Aussagen, die von der Physik gemacht wurden und werden hinterfragen und verstehen, um sie dann für alle Wissenschaften anzuwenden.

Für die Beschreibung der Arbeitsmethoden der Physik bediente man sich der Logik. Mit ihr waren Schlussfolgerungen durch Deduktion und Induktion⁷ möglich.

3.3 Wissenschaftstheorie

3.3.1 Induktivismus

3.3.2 Falsifikationismus

3.3.3 Grenzen des Falsifikationismus

4 Was ist ein Naturgesetz? Phänomen, Experiment und Theorie

5 Quantifizierbarkeit und Mathematisierung, Maßsysteme

5.1 Quantifizierbarkeit

5.2 Mathematisierung

5.2.1 Mathematik als Vorbild

Ein entscheidender und auch gar nicht zu übersehender Punkt ist, daß die Mathematik in der frühen Neuzeit zur "Vorbildwissenschaft" wird. Sie können hier übrigens fast immer statt "Mathematik" auch "Geometrie" sagen, nur in ausgesuchten Zusammenhängen, auf die wir nicht eingehen, gibt es da einen relevanten Unterschied. Also die Mathematik wird Vorbild für alle anderen Wissenschaften, sie wird fast zur Inkarnation von Wissenschaftlichkeit als solcher. Das ist an sich schon auch eine starke Veränderung, denn traditionell, in der aristotelischen Tradition, ist ja die Physik die Vorbildwissenschaft, der Inbegriff von Wissenschaftlichkeit.

Die Vorbildlichkeit der Mathematik ist jedoch keine einfache Sache in der Renaissance, im Gegenteil. Nämlich diese vielen Leute, die alle sagen: "Wir müssen es in der Physik so machen wie in der Mathematik, eigentlich müssen wir es auch in der Theologie so machen etc" - diese Leute meinen keineswegs immer dasselbe. Manchmal meinen sie sogar ganz entgegengesetzte Sachen. Die meisten meinen einfach die Beweissicherheit. Die Beweise des Euklid sind sicherer, überzeugender und nachvollziehbarer als die irgend eines noch so gut ausgesuchten Physikers. Wer auf diesem Standpunkt steht, kann noch immer in friedlicher Koexistenz mit dem Aristotelismus leben, denn er oder sie kann sagen: "Die Geometrie löst halt faktisch die Vorstellungen am besten ein, die Aristoteles von einer Wissenschaft hatte, aber worum es geht ist natürlich, daß wir auch die Physik in diesen Zustand bringen müssen." Daher hat man sich in der Renaissance auch wieder verstärkt

⁷siehe CHALMERS, Alan: Wege der Wissenschaft. Einführung i.d. Wissenschaftstheorie. Kapitel 4

einer Aufgabe gewidmet, die schon in der späten Antike recht beliebt war, nämlich die Geometrie des Euklid in der Terminologie der Aristotelischen Wissenschaftstheorie zu rekonstruieren oder zu analysieren. Das ist übrigens niemandem je gelungen.

Es ist freilich in der frühen Neuzeit auch ein anderer Aspekt immer deutlicher betont worden, und das ist der Umstand, daß mathematische Problemlösung in Wirklichkeit anders vor sich geht, als man sowohl dem Euklid wie auch dem Aristoteles entnehmen kann. Wenn man in der Mathematik vor einer Aufgabe steht von folgender Art: "Gegeben ist eine Gerade, ein Punkt außerhalb der Geraden, und ein Abstand. Suche den Ort aller Punkt, die auf der gegebenen Gerade liegen und zugleich von dem gegebenen Punkt den gegebenen Abstand haben" - dann machen Mathematiker in Wirklichkeit etwas ganz anderes als einen Mittelbegriff zu suchen oder dgl. Wenn man die Sache so sieht, dann interessiert einen etwas völlig anderes, dann interessiert gar nicht die Beweissicherheit, sondern die Tricks und Methoden der Problemlösung, der Findung also. Und wenn man dann sagt: "Leute, das müssen wir nachmachen", dann zielt man auf die Methode.

Aber es gibt mindestens noch eine dritte Dimension, nämlich die, wo man von der Vorbildlichkeit zu einem direkten Import übergeht. Nicht nur nachmachen, was die Mathematiker tun, sondern gleich die Mathematiker selbst ans Gerät lassen, zB in der Physik. Das ist der stärkste Sinn, den das Wort Mathematisierung annimmt: Die Naturwissenschaft wird mathematisch. Und hier liegen auch einige der interessantesten Fragen und Probleme. Es ist ja immer schon klar gewesen, daß es sich in der Geometrie um Gegenstände einer sehr eigenen Art handelt, die mit denen der Physik kaum etwas gemein haben. Solche Gegenstände wie die der Geometrie gibt es in der Wirklichkeit gar nicht, die sind in einem speziellen Sinn "imaginär", nur vorgestellt. Also was soll es dann bringen, die Geometrie in der Physik anzuwenden? Zumindest auf den ersten Blick ist das gar nicht klar. Eine andere knifflige Frage betrifft die verschiedenen Verhältnisse von Verursachung und Begründung. "Ursache" ist ein entscheidender Begriff in der aristotelischen Physik, man möchte fast sagen, das ist der Begriff der Physik schlechthin; aber gibt es in der Mathematik eigentlich Ursachen? Gibt es da überhaupt Fälle, wo ein Ding oder Zustand eines Dings eine Veränderung in einem anderen Ding bewirkt? Wenn aber in der Geometrie die Ursächlichkeit keine Rolle spielt, wie soll die Geometrie uns dann helfen, die Ursachen der natürlichen Phänomene zu finden? Sie sehen, es gibt zunächst mehr Schwierigkeiten als unmittelbare Erfolgserlebnisse, wenn man über Mathematisierung in diesem starken Sinn nachdenkt.

5.2.2 Experiment

Das führt ein bißchen zu dem - oder: einem - speziellen Sinn des Experiments in der Neuzeit. Ich habe schon auf die eine oder andere Abweichung hingewiesen: daß das Experiment als Test einer ganzen Theorie verstanden werden kann, und daß es als Provokation der Natur verstanden werden kann. Wir hatten das im Zusammenhang mit dem Begriff des Empirismus angeschnitten. Die zweite dieser Besonderheiten ist auch unter dem Gesichtspunkt der Mathematisierung interessant.

Wenn die Gegenstände der Geometrie von einer grundsätzlich anderen Art sind als die physikalischen - wie kann dann Galilei folgenden berühmten Satz überhaupt sagen:

“Philosophie, die wahre Philosophie, ist geschrieben in jenem grossen Buch das stets offen vor unseren Augen liegt - ich meine das Universum; aber es kann nicht gelesen werden, bevor wir nicht die Sprache gelernt haben und die Zeichen, in denen sie geschrieben ist. Das Buch ist geschrieben in der mathematischen Sprache, und die Buchstaben sind Dreiecke, Kreise und andere geometrische Figuren - und ohne diese Mittel ist es menschlich unmöglich auch nur ein einziges Wort zu verstehen.“

Wie soll man sich das vorstellen, dieses Lesen der Dreiecke, Kreise etc in der Natur? Galilei kann doch nicht angenommen haben, daß die Physiker jetzt auf einmal in der Natur Dreiecke und Kreise sehen, die vorher niemand gesehen hat? Das wäre weniger die Leistung Galileis und seiner Nachfolger, als die Cezannes. Nein, es ist nicht einfach Sehen, es ist schon wichtig, daß er vom Lesen spricht. Nicht daß nicht auch das Lesen ein Sehen impliziert; aber zu sagen: Ich habe seinen Brief gesehen, oder: Ich habe auf dem Blatt ein paar Worte gesehen - das bedeutet auch in unserer gewöhnlichen Sprache gerade nicht automatisch, daß wir auch gelesen haben, was wir sahen. Na gut, wir wissen ungefähr, was er meint: Er meint, daß wir in den natürlichen Prozessen die mathematischen, die geometrischen Beziehungen erkennen lernen müssen. Aber wie sollen wir sie dort erkennen, wo sie doch da gar nicht sind? ZB ein wesentlicher Unterschied zwischen mathematischen und natürlichen Gegenständen, auf den schon Plato sehr aufmerksam war, besteht darin, daß die mathematischen Gegenstände immer vollkommen das sind, was sie sind, und das was sie nicht sind, sind sie überhaupt nicht. Ein Kreis - von dem wir in einer mathematischen Aufgabe sprechen - ist nicht nur einfach nicht eckig, er ist überhaupt nicht eckig und es besteht keinerlei Aussicht oder Gefahr, daß er auf einmal eckig wird. Hingegen die Dinge in der Natur sind nie ganz vollkommen das, was sie sind, sie sind immer auch ein bißchen vom Gegenteil, wie man sagen könnte, und vor allem sind sie nie ganz vollkommen das, was die ihnen entsprechenden mathematischen Gegenstände sind. Also mit einem Wort, so wie man in den geometrischen Raum ja auch erst mal etwas konstruieren muß, so muß man dieselben Beziehungen in dem natürlichen Raum, für die Naturdinge, erst einmal herstellen. Das heißt Experiment. Die reale Verpflanzung der mathematischen Strukturen in die Natur. Die Meßlatte zB. Die Meßlatte ist ein Gegenstand, dem eine geometrische Struktur aufgezwungen ist; sie ist ursprünglich aus irgendeinem Naturgegenstand gefertigt, und sie bleibt in gewissem Sinne auch immer dieser Gegenstand. Zugleich aber ist sie etwas anderes: Abstand, reiner Abstand, reine Wiederholung der Einheit, völlig gerade etc, ideal starr etc. Oder die Skala auf einer Balkenwaage. Und was macht nun der Physiker mit diesen Dingen? Er liest auf ihnen rein mathematische Beziehungen ab, Abstände, Zahlenbeziehungen etc. Er kann das genau in dem Maße, als er diese Gegenstände selbst hergestellt hat, als diese Gegenstände Verwirklichung seiner Einbildung sind (natürlich ist das eine graduelle Sache). Auf der andern Seite jedoch sind dieselben Gegenstände, die Instrumente, auch Naturdinge und stehen immer in einer Interaktion mit allen anderen Naturdingen. Dh daß es für den Naturwissenschaftler als erstes einmal ganz primitiv darum geht, seine Meßgeräte in irgendeine absichtliche Interaktion mit andern Gegenständen zu bringen und dann zu sehen, ob aus den Daten die sich in der mathematischen Sprache ablesen lassen, auch irgendwelche signifikanten mathematischen Gesetzmässigkeiten herauszulesen sind. Und wenn das der Fall ist, dann sagt man daß man eine bestimmte sog Grösse gemessen hat

und man bemüht sich eventuell noch darum, diese Grösse als die Darstellung eines Attributes zu interpretieren, das in der gewöhnlichen Sprache eingeübt ist: wie Wärme, oder Schwere, oder Geschwindigkeit. Es ist wichtig, daß man schon früh erkannt hat, daß die Grunddimensionen dieser mathematischen Sprache Raum und Zeit sind, und natürlich zunächst auch noch der Begriff der Kraft, allerdings ein völlig entdifferenzierter Begriff der Kraft. Denn es geht ja nicht mehr um irgendwelche Kräfte in den Dingen selbst, sondern der Begriff der Kraft bleibt einzig deshalb über, weil man die Schnittstelle irgendwie beschreiben muß zwischen dem Instrument und seiner Umgebung, bzw zwischen dem geometrischen und dem physikalischen Anteil in dem Instrument selbst. Nur weil man von einer Wirkung der Natur auf das Instrument reden muß, muß man auch von einer Kraft reden.

Also das Entscheidende ist: Jenseits des Umstandes, daß wir Instrumente herstellen, in denen gewisse mathematische Zusammenhänge so genau wie möglich realisiert sind, gibt es keinerlei Garantie dafür, daß wir aus der Natur mathematische Verhältnisse herauslesen können. Und das heißt: Wir müssen diese in der Sprache der Geometrie verständlichen Antworten erzwingen, und wir müssen Schritt für Schritt ausprobieren, welche Art von Frage belohnt wird. Es gibt in der Philosophie vom sechzehnten Jahrhundert bis Kant eine dauernde und sehr angestrenzte Reflexion auf gewisse notwendige Rahmenbedingungen, daß das überhaupt möglich ist, diese Art von Wissenschaft. Also zB eine absolut zentrale Rolle spielt dabei der Begriff des Raumes. Was ist ein Raum in der Geometrie, was ist der Raum der physikalischen Gegenstände, können diese Räume in einer gewissen Weise so übereinandergelegt werden, daß man da einen durchgängigen Typ von Beziehungen hat etc. Aber alle derartigen Grundlagenreflexionen hätten nichts gebracht für die tatsächliche Entwicklung der Wissenschaft, wenn sie nicht begleitet gewesen wären von dem Prozeß, in dem handgreiflich die Geometrie in die Natur hineingeschrieben worden ist. Und das ist als Ganzes ein Experiment, das auch noch immer andauert und weiter geführt wird.

Das ist jetzt, am Schluß des Semesters, noch ein besonders drastischer und deutlicher Fall jener Wendung der Philosophie ins Praktische, von der ich am Anfang gesagt habe, daß sie vielleicht etwas Positiv-Charakteristisches der Renaissance ausmacht. Natürlich gibt es dann vom 17.Jh an in der Wissenschaftsphilosophie Gegenbewegungen. Tendenzen, an der Physik nicht diesen insgesamt experimentellen Charakter hervorzuheben, sondern den Aspekt des Grundlagenwissens. Newton und Kant sind da wichtig. Aber das ist nicht das Unterscheidende der modernen Naturwissenschaft. Das Unterscheidende ist vielmehr diese Einstellung, daß das Wissen nicht erworben wird durch Angleichung an etwas, das anders ist als wir, sondern durch eine spezifische, uns eigene Aktivität.

5.3 Maßsysteme

6 Modellbildung

7 Symmetrien und Erhaltungssätze

7.1 Symmetrien

Symmetrien galten in der Physik lange Zeit als notwendige Bedingungen für physikalische Gesetze: Kreise, ganze Zahlen oder einfache Brüche um einige Beispiele zu nennen. Man versuchte alles auf Symmetrieüberlegungen zurückzuführen

Symmetrie ist ein wichtiges Konzept in der Physik: Eine Symmetrie liegt vor, falls sich das Verhalten eines physikalischen Systems bei Anwendung einer bestimmten *Transformation* (z.B. einer Koordinatentransformation oder Spiegelung) nicht verändert.

Hierbei muss zwischen Symmetrien der grundlegenden Theorien und Symmetrien konkreter Systeme (z.B. Moleküle, Festkörper) unterschieden werden.

Bei den Symmetrien muss allgemein unterschieden werden zwischen diskreten und kontinuierlichen Symmetrien. Diskrete Symmetrieoperationen können nur in festen "Schrittweiten" durchgeführt werden. Beispiele hierfür sind die Spiegelung (man kann ein Objekt nur entweder spiegeln oder nicht) oder auch Translationen im Gitter (wenn ein Gitter nur um einen halben Gitterplatz verschoben wird, kommt es nicht mehr mit sich selbst in Deckung). Kontinuierliche Symmetrien hingegen lassen beliebig kleine Änderungen zu. Beispielsweise sind Drehungen im Raum kontinuierlich: Man kann um einen beliebig kleinen Winkel drehen.

Zu jeder kontinuierlichen Symmetrie eines Systems gehört nach dem *Noether-Theorem* eine Erhaltungsgröße.

In einem weiten Sinne umfasst Symmetrie in der Physik auch die Invarianz physikalischer Gesetze unter Koordinatentransformationen.

In einem engeren Sinne bezieht man den Begriff auf die Symmetrie physikalischer Objekte. Symmetrien von Molekülen werden durch Punktgruppen beschrieben; Symmetrien von Kristallen durch Bravais-Gitter und Raumgruppen.

7.2 Erhaltungssätze

In der Physik bezeichnet man mit einem Erhaltungssatz die Tatsache, dass bei verschiedenen Prozessen oder Wechselwirkungen in einem abgeschlossenen System bestimmte physikalische Größen, Erhaltungsgröße genannt, konstant bleiben. Im Einzelnen unterscheidet man:

- *Massenerhaltungssatz*: In einem abgeschlossenen System bleibt die Masse erhalten.

- *Energieerhaltungssatz*: Die Gesamtenergie bleibt konstant.
- *Impulserhaltungssatz*: Die Vektor-Summe aller Impulse bleibt konstant.
- *Drehimpulserhaltungssatz*: Die Summe aller Drehimpulse bleibt konstant.
- *Ladungserhaltungssätze*: Die (elektrische, schwache, Farb-) Ladung bleibt konstant.
- *Baryonenzahlerhaltungssatz*: Die Anzahl der Baryonen (aus Quarks zusammengesetzte Fermionen) in einem System bleibt erhalten. Dabei werden Teilchen positiv, und Antiteilchen negativ gerechnet.
- *Leptonenzahlerhaltungssatz*: Die Anzahl der Leptonen (z.B. Elektronen, Neutrinos) in einem System bleibt erhalten. Wiederum werden Teilchen positiv, und Antiteilchen negativ gerechnet.

Die ersten vier Erhaltungssätze können über das Noether-Theorem mit spezifischen Symmetrien verknüpft werden und gelten daher als gesichert. Für die Erhaltung der Baryonen- und Leptonenzahl ist jedoch keine Symmetrie bekannt, die diese Erhaltung fordert; in der Tat sagen einige Vorschläge für eine Große Vereinheitlichte Theorie den Zerfall des Protons (ein Baryon) in Leptonen voraus, jedoch mit extrem langer Halbwertszeit. Trotz intensiver Suche ist bis heute jedoch noch kein Protonenzerfall beobachtet worden.

8 Determinismus

Ein Zeitgenosse Galileis, *Descartes (1596 - 1650)*, suchte - beflügelt durch Erfolge in Mechanik und Optik - im Descartesschen Determinismus ein geschlossenes, mechanistisches Weltsystem zu etablieren. Spätestens seit Kenntnis der Quantentheorie (Heisenbergsche Unschärferelation) in den Zwanziger Jahren des 20. Jahrhunderts und der so genannten „Chaostheorie“, die besser mit nichtlinearer Dynamik bezeichnet wird, in den Achtziger Jahren des 20. Jahrhunderts, muss dieser Determinismus zumindest in seiner globalen Bedeutung als unhaltbar zurückgewiesen werden. Die Unschärferelation besagt, dass man zwei physikalische Größen, Ort und Impuls (Masse x Geschwindigkeit) nicht gleichzeitig beliebig genau messen kann. In der klassischen Mechanik bewegen sich Körper auf wohldefinierten Bahnen im Phasenraum (Koordinatensystem mit Raum- und Impulsachsen des Systems). Mit der quantenmechanischen Unschärfe verlor diese Bahn ihren determinierten Charakter: die Bahn ist im Phasenraum verschmiert und selbst der Phasenraum ist kein Kontinuum, sondern besteht aus Phasenraumzellen, deren Grösse das Plancksche Wirkungsquant h diktiert.

Neben diesem quantentheoretischen Aspekt gibt es einen eher mathematischen Aspekt, der mit der Lösungsstruktur allgemeiner Differentialgleichungen zusammenhängt. Differentialgleichungen (bzw. ganz allgemein gesprochen Integrodifferentialgleichungen) bestimmen im Prinzip die gesamte Natur, weil sich jeder beobachtete Prozess in einem System durch diese Gleichungen (oder als System gekoppelter Differentialgleichungen) formulieren lässt. So handelt es sich sowohl bei der Schwingung eines Uhrenpendels im

Gravitationsfeld um eine Differentialgleichung, ebenso wie beim Fließen eines Tropfens im Fluss oder den Einsteinschen Feldgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie, als auch der Energieeigenwertgleichung für den Hamilton-Operator der Quantenmechanik. Mit diesen Gleichungen ist das Problem erst formuliert, nicht gelöst. Die Mathematik stellt nun Verfahren bereit, um die Differentialgleichungen zu lösen. Diese Lösungen machen eine Aussage über das Verhalten des Systems und ermöglichen Prognosen über das Verhalten in der Zukunft. Gerade das macht die Naturwissenschaften so wertvoll und interessant für industrielle und alltägliche Anwendungen. Doch die Natur hat uns gewissermaßen ein Schnippchen geschlagen: die Problematik subsummiert sich im Begriff der Nichtlinearität. Sie ist der zweite nicht-deterministische Aspekt, der tief in der mathematischen Formulierung vieler physikalischer Gesetze verwurzelt ist: nichtlineare Terme bewirken, dass die Vorhersagbarkeit nicht gewährleistet werden kann. Man sagt, das physikalische System verhält sich „chaotisch“! Prominente Beispiele sind in der Mechanik das Doppelpendel, in der Meteorologie das Wetter, in der Biologie die Populationsdynamik oder an der Börse die Aktienkurse. Zum Glück sind nicht alle Systeme chaotisch und lassen sich in gewisser Approximation im „linearen Limes“ beschreiben. So wird die Pendelgleichung für kleine Winkelauslenkungen des Pendels linear und determiniert. Doch gibt es auch von der Seite der Chaosforschung Entwarnung: Erstaunlicherweise offenbart die Untersuchung chaotischer Systeme, dass Bereiche von Ordnung und Chaos ineinander übergehen sowie Strukturen (Selbstähnlichkeiten, Fraktale, Attraktoren) im Chaos existieren. Es handelt sich um einen sehr jungen Forschungsbereich der modernen Physik, der erst wenige Jahrzehnte alt ist, doch die auftauchenden „Gesetzmässigkeiten im Chaos“ geben Anlass zur Hoffnung. Trotzdem müssen wir uns mit der prinzipiellen Nicht-Vorhersagbarkeit nicht-linearer Systeme anfreunden: der Descartes Determinismus ist daher nicht allgemeingültig, sondern nur in speziellen Systemen realisiert.

Diese Grenzbereiche wissenschaftlichen Forschens trüben nicht die grundsätzliche Euphoriestimmung: Galileis Initiative zur wissenschaftlichen Methodik feierte einen ungeahnten Triumphzug. Zusammen mit dem Beginn einer neuzeitlichen Philosophie durch Descartes kann sie als einer der Wegbereiter des Zeitalters der Aufklärung in Europa des 18. Jahrhunderts angesehen werden, das von Protestantismus und Rationalismus geprägt war und politisch in der Französischen Revolution 1789 gipfelte. Ausfluss dieser historischen Entwicklung ist unser heutiges wissenschaftliches Weltbild, das vor allem im 20. Jahrhundert durchschlagende Erfolge errang.

9 Stellung der Physik in der abendländischen Geistesgeschichte und im modernen Bildungsbegriff

Die Physik gilt als die grundlegende Naturwissenschaft, auf der alle anderen wie beispielsweise die Astronomie, die Chemie, die Geologie und letztlich auch die Biologie aufbauen. Physikalische Prinzipien und Modelle finden ihre Anwendung auch in Disziplinen jenseits der Naturwissenschaften, besonders im technischen Bereich, wie in den Ingenieurwissenschaften, aber auch in den quantitativen Wirtschaftswissenschaften. Umgekehrt haben auch oft

Erkenntnisse aus anderen Fachgebieten wie der Mathematik oder der Astronomie die physikalische Forschung bereichert und stimuliert.

Auch in der Philosophie finden die Erkenntnisse der Physik Beachtung: So versucht der philosophische Zweig der Metaphysik Erklärungen für das Wesen der Natur zu finden, während sich die Physik auf ihre Beschreibung beschränkt.

10 Anhänge

10.1 Anhang A - Bayes Theorem

Literatur

- [1] <http://de.wikipedia.org/wiki/Physik>
- [2] <http://www.lsw.uni-heidelberg.de/users/amueller/wissen.html>
- [3] <http://nomoi.philo.at/per/rh/ellvau/renphil/c10991148.htm>
- [4] CHAMLMERS, Alan F.: Wege der Wissenschaft: Einführung in die Wissenschaftstheorie. 5, völlig neu überarbeitete und erweiterte Aufl., Springer: