

-I-

Heupfauter

Wien  
Febrero  
1936

## NATURPHILOSOPHIE

### I - Aufgabe der Naturphilosophie

Der Begriff

Das Wesen der Naturphilosophie wird am einfachsten dadurch ~~best~~ bestimmt, dass man ihr Verhältnis zur Naturwissenschaft angibt. Vom Beginn des abendländischen Denkens bis zur Zeit Newtons, ja Kants, wurde zwischen Naturphilosophie und Naturwissenschaft nicht unterschieden. Dann schien sich ein spekulativer Weg, (der der Naturphilosophie) von dem experimentellen Weg (dem der Naturwissenschaft) zu trennen. Bis ~~wiederum~~ Mitte des 19. ~~Jahrhunderts~~ allgemein deutlich wurde, dass der ~~spekulative~~ Weg eine ~~trügerische~~ Sackgasse ist. Es folgte eine Zeit, in der die Philosophie von den Naturforschern verachtet wurde, bis zu Beginn des 1/2 20. Jahrhunderts das Wort Naturphilosophie wieder zu Ehren kam und der unerhörte Fortschritt der Natur<sup>re</sup>kenntnisse neues Interesse an ihrer philosophischen Betrachtung erweckt. Entsprechend der damals herrschenden Ansicht vom Wesen der Philosophie überhaupt wurde die Aufgabe der Naturphilosophie zunächst bestimmt: 1) als Synthese der Erkenntnisse zu einem Gesamtbilde der Natur, 2) als erkenntnistheoretische Rechtfertigung der Grundlagen der Naturwissenschaft.

Diese Bestimmung befriedigt nicht. Denn die Aufgabe der Naturwissenschaft ist die Erkenntnis aller Naturvorgänge, d.h. die



Aufstellung wahrer Sätze über sie. Dazu gehören auch die Aufstellung der allgemeinsten Sätze. Ebenso gehört dazu die Prüfung der Wahrheit der Voraussetzungen.

1 Das Zusammenwachsen der verschiedenen Gebiete der Naturwissenschaft, d.h. die Unterordnung der einzelnen Sätze unter allgemeinere, erfolgt nur von unten herauf; dadurch dass beim Fortschritt der Erkenntnis in jeder Disziplin immer höhere Stufen erreicht werden. Bevor diese Stufen erreicht sind, fehlen die Mittel der Synthese zu einem Gesamtbilde. Und diese kann daher auch nicht von der Philosophie vollzogen werden. Die ganze Arbeit der Naturwissenschaft besteht überhaupt nur in der unermüdlichen Prüfung der Richtigkeit ihrer Sätze, die dadurch zu immer besser bestätigten Hypothesen werden. Alle Voraussetzungen, die in diese Hypothesen eingehen, werden auf diese Weise noch innerhalb der Naturwissenschaft mitgeprüft. Daneben gibt es nicht noch eine andere besondere philosophische Rechtfertigung der Grundlagen. Sie ist ebenso unmöglich wie überflüssig, wie sich im Laufe der Betrachtungen immer wieder zeigen wird.

Dennoch liegt die Aufgabe der Naturphilosophie in der Beschäftigung mit den Voraussetzungen der Naturwissenschaft; aber in ganz anderem Sinne. Naturerkenntnis wird in Aussagen formuliert, auch alle Naturgesetze haben die Form von Sätzen. Voraussetzung für die Prüfung der Wahrheit eines Satzes ist aber das Wissen um seinen Sinn. Beides gehört untrennbar zusammen und geschieht innerhalb der Naturwissenschaft. Man kann aber trotz dieser Untrennbarkeit zwei verschiedene psychologische Einstellungen unterscheiden, nämlich die auf Prüfung der Wahrheit der Hypothesen gerichtete und die auf das Verständnis ihres Sinnes gerichtete. Die typisch naturwissenschaftlichen Methoden dienen der Wahrheitsfindung, auf die Sinndeutung aber geht das philosophische Bemühen. Aufgabe der Naturphilosophie ist also die Deutung des Sinnes der naturwissenschaftlichen Sätze. Sie ist daher nicht eine Wissenschaft, sondern eine Tätigkeit, die



in der Besinnung auf die Bedeutung der Naturgesetze besteht.

Zur vollständigen Festlegung unseres Themas <sup>wäre</sup> die Bestimmung der Eigenart der Naturwissenschaft nötig, die durch Abgrenzung gegen die sogenannten Geistes- oder Kulturwissenschaften geschehen könne. Für uns genügt aber die kurze Bemerkung, dass unter Natur <sup>wir</sup> <sup>der</sup> alles Wirkliche verstanden wird, insofern es räumlich-zeitlich bestimmt <sup>ist</sup>. <sup>ist</sup> Alle im Raume <sup>irgendwo</sup> befindlichen Gegenstände und Vorgänge <sup>emp</sup> sind zugleich in der Zeit. Das Umgekehrte scheint nicht zu gelten, denn es wäre sinnlos, Gefühle und Stimmung als solche (die natürlich auch zeitlich sind) irgendwo zu lokalisieren. Dennoch können sie stets bestimmten Individuen zugeordnet werden, nämlich dem, das diese Stimmungen und Gefühle hat und insofern fehlt auch hier nicht die Beziehung zum Räumlichen. Auch alle Gegenstände der Geschichte, Sprach- und Kulturwissenschaft, u. s. w. sind räumlich-zeitlich, gehören also zur Natur, sind in gewissem Sinne mithin auch Gegenstände der Naturwissenschaft.

Hieraus ergibt sich die Universalität, der allumfassende Charakter der Naturwissenschaft, welcher es unmöglich macht, ihr irgendeine unter den Geisteswissenschaften neben- oder gleichzuordnen. Hieraus folgt die einzigartige philosophische Bedeutung der Naturwissenschaft: Alle grossen philosophischen Fortschritte der Vergangenheit sind aus naturwissenschaftlichen Erkenntnissen und Fragestellungen hervorgegangen. Und es ist ein ganz schwerer, erst in den letzten 100 Jahren begangener Irrtum zu glauben, dass die Geistes- oder Kulturwissenschaften sich mit der Naturwissenschaft messen könnten und philosophisch ebenso ergiebig wären wie diese.

Neben der Universalität ist es die Exaktheit der Naturwissenschaft, welche sie historisch und sächlich zum vorzüglichsten Ansatzpunkt des Philosophierens machen. Denn nur bei der Analysis strenger Erkenntnisse besteht Hoffnung, zu wahrhaft tiefen Einsichten zu gelangen. Nur bei ihnen ist Aussicht, dass die Klärung der Begriffe zu endgültigen sicheren Resultaten führt. Wage und unsichere Aussagen, wie



sie in den nicht exakten Wissenschaft vorliegen, müssen erst in strenge Erkenntnisse umgewandelt, d.h. in die naturwissenschaftliche Sprache übersetzt werden, bevor ihr Sinn restlos geklärt werden kann. Exakte Erkenntnis heisst solche, die logisch völlig deutlich ausgedrückt ist. Die Mathematik ist nur ein Name für die Methode der logisch strengsten Formulierung. Daher erklärt z.B. Kant sogar, dass in den Wissenschaften nur soviel echte Erkenntnis stecke, als sie Mathematik enthielten. Zu der Naturwissenschaft ist das Erkenntnismaterial bei weitem am meisten durch geistige Tätigkeit vorbereitet. Sie führen uns auf die grösste Höhe der Abstraktion. Je höher aber die Abstraktionsstufe einer Wissenschaft, desto tiefer dringt sie in das Wesen der Wirklichkeit. Dies sind die Gründe für die zentrale Stellung der Naturphilosophie. Welches ist nun die philosophische Bedeutung der Ausmessung des Kosmos?

## II. Das anschaulich Weltbild und seine Grenzen.

Unter Vorbehalt späterer Präzisierung können wir sagen, dass Naturerkenntnis bis zu gewissen Stufen hinauf in der Herstellung eines anschaulichen Modelles der Naturvorgänge besteht. D.h. man sucht zu beschreiben, wie die nichtüberschaubare Wirklichkeit aussehen würde, oder sich anfühlen würde, wenn sie überschaubar wäre. Auf die Frage: warum ist nicht alles überschaubar? lautet die erste primitive Antwort: Weil es entweder zu gross oder zu klein ist. Die erste Naturerklärung, der erste Entwurf eines anschaulichen Weltbildes besteht daher in der Angabe eines Modelles a) für den Makrokosmos, b) für den Mikrokosmos.

### A. Makrokosmos.

Die Herstellung eines Modells erfordert zuerst räumliche Ausmessung der Welt. Die Erde ist ein annähernd kugelförmiger Körper von circa 12700 km. Durchmesser, der sich in einem Abstände von circa 150.000.000 km. um die Sonne bewegt, deren Durchmesser 109mal grösser ist als der der Erde. Der nächste Fixstern Alpha Centauri ist 275000 Erdbahnradien oder 4,2 Lichtjahre entfernt. Zur Veranschaulichung kann man z. B. angeben, dass ein Schnellzug, der stündlich 60 km.



zurücklegt, zum Durchlaufen der Strecke Erde-Sonne ungefähr 280 Jahre gebrauchen würde. Bis zum nächsten Fixstern aber 77,000000 Jahre.- Oder man denkt sich das Universum um das 25000,000000 fache verkleinert, dann erscheint die Sonne als kleines Kugelchen von ca 5 cm Durchmesser. Die  $1/2$  mm grosse Erde befindet sich in 5 m Entfernung, der Neptun in 150 Meter Entfernung und bis zum nächsten Fixstern sind es 130000 km, was der Luftlinie Wien-Stockholm oder Konstantinopel entspricht. Für die ältere noch jetzt verbreitete Auffassung ist die Illustration durch Modelle nur als didaktischer Kunstgriff anzusehen. Aber in Wirklichkeit hängt sie eng mit dem alten Begriff der Naturerklärung zusammen. Die Möglichkeit solcher Modelle galt als Bedingung der Begreifbarkeit der Natur.

Welches ist ~~nun~~ die philosophische Bedeutung der Ausmessung des Kosmos?

Später wird die Philosophie des Messens als wichtige Voraussetzung des Naturverständnisses zu behandeln sein. Hier sei nur durch einige Bemerkungen auf wesentliche Punkte aufmerksam gemacht:

Grundlage aller Raummessungen ist Anlegung eines starren Massstabes und Abzählung von Teilstrichen. Bei längeren oder unzugänglichen Strecken müssen ferner optische Instrumente und Lichtstrahlen zu Hilfe genommen werden. Und das Messresultat ergibt sich immer erst durch eine Rechnung, die geometrischen Sätzen ruht. So gehen gewisse mathematische und phisikalische Voraussetzungen in jede Raummessung ein, welche die Erfassung ihres letzten Sinnes sehr schwierig machen; z.b. wäre die Angabe des Erddurchmesseres in Kilometern unsinnig, wenn dabei das Kilometer wie ursprünglich festgesetzt, selbst als der 40000 ste Teil des Erdumfanges definiert würde. Die Zahl, welche die Länge des Erddurchmessers angibt, würde uns dann höchstens etwas über die Gestalt, nicht aber über die Grösse der Erde lehren, weil ja die Länge des Kilometers selbst erst durch die Erde wieder bestimmt wäre. Tatsächlich ist das Meter nicht durch jene bei der Einführung des



metrischen Systems getroffene Festsetzung bestimmt, sondern durch den Normalmassstab in Paris.

Die Entfernungsmessung der <sup>genauen</sup> näheren Himmelskörper geschieht durch Parallaxenbestimmung, wobei innerhalb des Planetensystems der Erddurchmesser, für die Fixsterne aber der Erdbahndurchmesser als Basis dient. Nur die wenigsten Fixsterne sind aber so nah, dass sie eine merkliche Parallaxe aufweisen. Dennoch können folgende Daten über die räumliche Verteilung der Sterne als gesichert gelten: Die Sterne sind nicht regellos verteilt, sondern bilden geordnete Gruppen; nämlich z. B. sogenannte Sternhaufen, die aus Zehntausenden von Individuen bestehen und unter denen die Kugelförmigen die interessantesten sind. Solcher Sternhaufen, die eine schöne kugelförmig Gestalt aufweisen, wurden bisher bei 80 beobachtet. Der nächste von ihnen, Omega Centauri, ist etwa 20.000 Lichtjahre entfernt, der weiteste über 10mal so weit. Die Sonne gehört einem grossen spiralförmigen Sternensystem, der Milchstrasse, an, dessen grösster Durchmesser ca 60.000 Lichtjahre und dessen kleinster 11.000 Lichtjahre beträgt und das mindestens 500,000,000 Sterne enthält. Das unsere ist nur eines von zahllosen ähnlichen Milchstrassensystemen, die im Fernrohr als sogenannte Spiralnebel zu beobachten sind. Die meisten bestehen nicht aus nebelartiger, d.h. diffuser Materie, sondern aus Tausenden von Millionen von Sonnen. Das nächste Milchstrassensystem, der Andromedanebel, ist 900000 Lichtjahre entfernt. Unseren Fernrohren (Teleskopen) sind 2,000.000 solcher <sup>Nebel</sup> zugänglich, doch existieren vermutlich sehr viel mehr. (1 billion)

Die Schätzung der nicht mehr durch Parallaxenbestimmung messbaren Entfernungen geschieht hauptsächlich nach der von Shapley eingeführten Methode der Cepheiden; das sind veränderliche Sterne, deren Helligkeit in sehr regelmässiger Periode schwankt. Sie werden (Nach Plummer und Shapley) als pulsierende Gaskugeln aufgefasst, deren Eigenschaften



Your leave  
 to 2 hours  
 9. 10. 11. 12.  
 1 claim  
 to me  
 will help  
 in running  
 pleasure as  
 E. L. L.

parsec =  
= 3,26 lichtjaar  
megaparsec  
3.260.000.000  
Lichtj.



## Die zeitliche Entwicklung des Universums

Früher stand die Frage nach der Entstehung des Sonnensystems im Vordergrund. Besonders bekannt sind die Theorien von Laplace und Kant, die den gegenwärtigen Bau des Planetensystems verständlich zu machen <sup>suchen</sup> als natürliches Entwicklungsstadium einer ursprünglich etwa kugelförmig verteilten dünnen Nebelmasse. Wir wissen heute, dass auf dem von Laplace angegebenen Wege oder einem ähnlichen höchstens ein mehrfacher Stern aus einem einfachen sich bilden kann (tatsächlich sind fast  $1/3$  aller sichtbaren Sterne Doppelsterne) und dass unser Sonnensystem höchst wahrscheinlich dem zufälligen Zusammenstoss oder vielmehr <sup>Annäherung zweier Sterne</sup> seine Entstehung verdankt. Wegen der geringen Wahrscheinlichkeit einer solchen Annäherung werden verhältnismässig nur äusserst wenige Fixsterne ein Planetensystem besitzen. Prinzipiell ist zu bemerken, dass es sich in der wissenschaftlichen Kosmologie niemals darum handeln kann, den gegenwärtigen komplizierteren und geordneten Zustand der Welt aus einfacheren und chaotischeren Zuständen abzuleiten, sondern den Grad der Differenziertheit, Ordnung, Multiplizität bleibt durch alle Wandlungen derselbe. Wenigstens ist die Anwendung der Naturgesetze überhaupt nur unter dieser Voraussetzung möglich. Durch diese Bemerkung wird die philosophische Tragweite der Weltentwicklungslehren auf ein Minimum herabgedrückt.

Heute sind von grosser Wichtigkeit <sup>Scheinbarkeit</sup> die neuen Erkenntnisse über die Entwicklung der Sterne, die durch Zusammenarbeit von Astronomie und Atomphysik gewonnen <sup>wurden</sup>. Die zeitlichen Verhältnisse im Universum lassen sich daher nur im Zusammenhang mit den stofflichen besprechen (A.S. Eddington, Sterne und Atome). Noch Auguste Comte sprach die Meinung aus, der Mensch würde niemals wissen können, aus welchen Stoffen die Sterne bestehen. Eine recht unphilosophische Äusserung, welche die prinzipielle Rolle der räumlichen Entfernung für die Erkennbarkeit überschätzt. Sie beruht auf einem Denkfehler, der auf dem Standpunkt des



bei der gegenwärtigen Verteilung der Sterne  
scheint es, dass die Existenz eines Planeten-  
systems im Weltall eine große Seltenheit  
seiner Seite. Prinzipiell ist zu bemerken

dass es sich in der wissenschaftlich kos-  
mologie niemals darum handeln kann,  
den gegenwärtigen komplizierten und  
geordneten Zustand der Welt aus

III Ein Weltraum solcher Konzeption könnte  
eine Ausdehnung von ein paar Milliarden Lichtjahren  
nicht überschreiten. Die 2<sup>te</sup> Folgerung fällt fort  
wenn die Expansion nur für das System der Milch-  
straße, nicht für jede einzelne von ihnen angenommen  
wird, was sich nach den Friedmann - Lemaitre'schen

Gleichungen begründen lässt. Die Expansion hätte dann  
erst vielleicht begonnen, als der Prozess der  
Sternenentwicklung in unserer Milchstraße bereits  
weit fortgeschritten war. Aber empirische  
Festsetzen welche durch Untersuchungen an radioaktiven  
Uranmineralien gewonnen wurden, ergeben für die  
Erde nur die nachheren kein höheres Alter  
als etwa 2 Milliarden Jahre, sodaß möglicher Weise  
die weißen gelben und roten Sterne gar nicht verschiedene

Entwicklungsstadien repräsentieren. Durch Vergleich u.



modellmässigen Erkennens, auf dem wir in diesem Kapitel stehen, nicht begangen werden kann. Diejenige Methode, die uns die Struktur der Materie am besten kennen lehrt, ist auf himmlische Objekte so gut anwendbar wie auf irdische: die Spektralanalyse. Die verschiedenen chemischen Stoffe unterscheiden sich nicht nur durch das Spektrum des Lichtes, das sie im glühenden Zustande ausstrahlen, sondern wir verdanken der Spektralanalyse, besonders seit sie auf Röntgenstrahlen ausgedehnt wurde, unsere ganze Kenntnis vom Inneren der Atome. Die Beobachtungen im Laboratorium und im Weltraum, wo ganz andere physikalische Bedingungen herrschen als auf der Erde, ergänzen sich gegenseitig. Und wenn es früher eine Zeit lang schien, als wenn in den Sternen und Nebeln Stoffe vorkämen, die auf der Erde unbekannt waren, <sup>so</sup> ist es jetzt zweifellos, dass die Materie des ganzen Kosmos aus den gleichen Urbestandteilen aufgebaut ist, nämlich Teilchen positiver und negativer Elektrizität <sup>ausgel.</sup> und Strahlungsquanten (Protonen, Elektronen, Photonen), die sich auf die verschiedensten Weisen zu den Atomen der sogenannten chemischen Elemente vereinigen.

Durch Zusammenstellung alles dessen, was die Physik über physikalische Gebilde von der Art der Sterne <sup>Sekündel</sup> aussagt, mit den tatsächlichen Beobachtungen <sup>hat man geschlossen</sup> lässt sich schliessen, dass die Sterne einen Entwicklungsprozess durchmachen, während dessen ihr Volumen durch Zusammenziehung ihrer Masse durch Strahlung sich verkleinert, wie Dichte und Temperatur dagegen bei annähernd gleichbleibender Gesamthelligkeit zunehmen. So würde nach Eddington ein grosser Stern vom Typus des Algol in 5.000.000.000 Jahren in einen gelben vom Typus

der Sonne und dieser in 50.000.000.000 Jahren in einen roten Stern vom Typus des Krüger 60 verwandelt! Über das zeitliche Schicksal der Sternensysteme wissen wir so gut wie nichts. Dagegen lehren die neuesten auf dem Mount Wilson in Kalifornien angestellten Beobachtungen <sup>Spiralneben</sup> fernster Milchstrassensysteme (50.000.000 Lichtjahre), dass diese

sich mit grosse, der Entfernung proportionalen Geschwindigkeiten <sup>aufgestellten Beobachtungen</sup> entfernen. <sup>die zeigen dass diese sich</sup> <sup>von uns fort bewegen, und zwar ist die Geschwindigkeit nach</sup> <sup>Hubbleschen Gesetz</sup> <sup>proportional</sup> <sup>Seite I</sup>

Hubble

de Sitter

Friedman

McLennan

(Perrin)

zeitliche Bestimmungen

ganze Ordnung

zugleich zu

klassischen Resultaten

die Geschichte

des Universums

führen die neuesten

beobachtungen auf

dem Mount Wilson

mit grossen



II

Das Weltall ist also nicht instabil  
gleichgewichtig in Einklang mit den Gleichungen  
Leuchter, Friedman, sondern in heftiger  
Ausdehnung begriffen, so dass sich alle Entfernungen in ihm  
jeweils in 1.300 Millionen Jahren verdoppeln  
Hubblesche Extrapolation über  
aus dem Gesetz erlaubt, so wäre die  
Scherwindigkeit der Spiralnebel in einer  
Entfernung von 2000 Millionen Licht Jahren  
bereits gleich der des Lichtes. was  
bekanntlich nach der Relativitätstheorie nicht möglich wäre  
betrachtet und vor 200.000 Millionen Jahren  
wäre die ganze Masse des Universums  
auf  $1 \text{ cm}^3$  in einem kubique millimeter konzentrierte  
gewesen. Der ersten folgerung ist  
nur dadurch dass die Translation als  
physikalisch unsinnig erklärt wird  
in der räumlich und zeitliche Aufgaben ihren Sinn ändern  
wenn gewisse Dimensionen überschritten werden.

III reflektieren

I

Bei 40 Megaparsec beträgt sie bereits nahezu 25.000 km  
pro Sekunde. Die Messung geschieht durch Beobachtung  
der Verschiebung von Spektrallinien nach dem  
Dopplerschen Prinzip.



Entfernung proportional bei 40 megaparsec betrachtet.

von uns fortbewegen. D.h. der Kosmos ist gegenwärtig in einer heftigen Ausdehnung begriffen. (Explodieren des Universums.)

Ein Resultat, das mit den von Einstein und De Sitter auf Grund der von der Relativitätstheorie aufgestellten Rechnungen gut im Einklang ist. Das Universum ist also nicht im nahezu statischen Gleichgewicht, sondern der endliche unbegrenzte Weltraum verändert seine Grösse, die gegenwärtig zunimmt. Durch Vergleiche mit den Seifenblasen und ähnlichen kann man hievon wohl anschauliche Analogien geben, aber keine anschaulichen Modelle erdenken.

Expansion  
des  
Universums

### B. Mikrokosmos.

Die Tatsachen der modernen Atomtheorie sind so bekannt, dass keine nähere Darstellung nötig ist. Der im Altertum von Leukipp und Demokritersonnene Atombegriff ist durch Dalton im Jahre 1808 als wissenschaftliche Hypothese eingeführt worden, um gewisse chemische Tatsachen zu erklären. <sup>Später</sup> wurde er auch mit Erfolg zur Erklärung der physikalischen Eigenschaften des Stoffes verwendet: In der kinetischen Theorie der Materie, besonders der Gase. In dieser letzteren werden zum Zwecke der Rechnung die Moleküle und Atome wie vollkommen elastische Kugeln behandelt. Sie fliegen im <sup>Gase mit</sup> Geschwindigkeiten von mehreren 100 Metern pro Sekunde frei, bis sie an die Gefässwand oder an ein benachbartes Molekül <sup>an</sup> stossen und abprallen. Die durchschnittliche Energie (lebendige Kraft) der Teilchen ist proportional der Temperatur, sodass Wärme als Form der Bewegung erklärt wird. Die Zahl der Atome pro Kubikzentimeter Gas bei 0 Grad und Atmosphärendruck ist  $27 \cdot 10^{18}$ . Die Anzahl der Atome in 1 cm<sup>3</sup> ~~Wasser~~ <sup>Wasser</sup> ist  $10^{22}$ .

Diese Zahlen sind erheblich grösser als die uns aus der Astronomie vertrauten Sternzahlen <sup>in Milchstrassen</sup>. Während die kinetische Theorie der Materie zur Erklärung ihrer mechanischen <sup>und thermischen</sup> Eigenschaften im allgemeinen genügt, muss für die optischen und elektrischen Erscheinungen das Atom selbst als elektrodynamisches System aufgefasst werden. Dies geschieht durch



das Rutherford-Bohrsche Atommodell, in welchem um einen zentralen positiv geladenen <sup>Kern</sup> aus Protonen und Elektronen bestehenden Kern Elektronen kreisen, deren Zahl von <sup>Wasserstoff</sup> 1-92 geht. Das Wichtigste an dem Modell ist, dass nur ganz bestimmte <sup>woher</sup> diskrete Bahnen für die Elektronen möglich sind und dass das Atom nur Strahlung (Photonen) aussendet, wenn ein Elektron von einer grösseren in eine kleinere Bahn springt und nur Strahlung absorbiert, wenn der Sprung in der umgekehrten Richtung stattfindet. <sup>Es ist prinzipiell</sup> Für uns ist wichtig, dass Modell nur die räumlich-zeitlichen Verhältnisse anschaulich macht, nicht die elektrodynamischen. Die Versuche zu einer modellmässigen Veranschaulichung der elektrischen und magnetischen Vorgänge, die von der Zeit Faradays und Maxwells bis zu Lord Kelvin fortgesetzt wurden, sind längst und endgültig aufgegeben. Schon hier stossen wir auf eine Grenze des anschaulichen Weltbildes. Noch deutlicher aber wird seine Unzulänglichkeit durch die moderne Quantentheorie vor Augen geführt, welche zeigt, dass das Modell auch in räumlich-zeitlicher Hinsicht <sup>an einem bestimmten Punkte</sup> zunächst versagen muss.

Aus 3 Gründen also sind die anschaulichen Atommodelle in letzter Linie unzureichend: 1.) Die kleinsten Elemente (Elektronen) müssen als sichtbare oder tastbare Körperchen vorgestellt werden, <sup>sie</sup> was ihrer Definition nach <sup>nicht</sup> sein können. 2.) Das <sup>richtige</sup> Wesen des Modells, seine elektrodynamischen Eigenschaften, <sup>wird in anschaulich dargestellt</sup> sind nicht anschaulich. 3) Die raum-zeitliche Struktur des Modells, die am deutlichsten ein direktes Abbild der Natur zu sein schien, kann angesichts der Modernen Physik <sup>Ergebnisse</sup> diesen Anspruch nicht mehr erheben. Um zur Klarheit über Wert und Grenzen des anschaulichen (modellmässigen) Erkennens zu kommen, müssen wir das <sup>als solche</sup> Wesen der Naturerklärungs genau ergründen. <sup>und das allgemein geschrieben</sup>

### III. Beschreibung und Erklärung.

Die erste Stufe des Naturerkennens ist die Beschreibung der Natur,



das die Feststellung der Tatsachen. Sie besteht darin, dass durch Worte oder Symbole angegeben wird, <sup>andere</sup> wiederbeschriebene Tatbestand sich aus Elementen zusammensetzt, deren jedes mit dem dafür üblichen Symbol (Namen) bezeichnet wird. Hierzu sind jedesmal primitive Wiedererkenntnisakte nötig, <sup>man</sup> <sup>Sache</sup> deren jeden Bestandteil als zu einer bestimmten Klasse gehörig erkennt und ihm das entsprechende Symbol zuordnet. Die zweite Stufe des Naturerkennens, die Erklärung, ist dadurch charakterisiert, dass ein der Naturbeschreibung dieses Symbol (Begriff) durch eine Kombination anderer auch sonst schon verwendeter Symbole ersetzt wird. In der Entdeckung, dass eine solche Ersetzung möglich ist, besteht eben der Erkenntnisfortschritt. So ist es, z.B., eine chemische Entdeckung, dass wir statt "Wasser" sagen dürfen: "Verbindung von H und O im Gewichtsverhältnis 1:8". Und es ist eine physikalische Erklärung, dass <sup>wir</sup> statt von der Wärme eines Körpers von der Bewegungsenergie seiner kleinsten Teilchen sprechen dürfen, u.s.w. Der Vorteil der neuen Beschreibung besteht darin, dass mit ihrer Hilfe die Verhaltensweisen des so Bezeichneten vorausgesagt werden können, denn dies Verhalten lässt sich ableiten aus dem bekannten Verhalten derjenigen Dinge, welche durch die bei der Erklärung verwendeten Begriffe bezeichnet werden. Wenn z.B. die Wärme als Bewegungsform der kleinsten Teilchen erklärt ist, so können wir alle Wärmeerscheinungen auf die Eigenschaften der verborgenen Bewegung eines Schwarmes kleinster Teilchen zurückführen und damit auch vorher unbekannte Wärmeerscheinungen voraussagen. Es ist klar, dass <sup>durch</sup> den Fortschritt des Erkenntnisprozesses die Zahl der zur Naturbeschreibung nötigen Begriffe immer mehr verringert wird, was man dadurch ausdrücken kann, dass man sagt "das Weltbild wird vereinheitlicht". Die Welt wird als Universum aufgefasst. Dass schon die ältesten hellenischen Naturphilosophen sich dunkel des letzten Erkenntniszieles bewusst waren, geht aus ihren Versuchen hervor, die Mannigfaltigkeit des Kosmos auf ein einziges Prinzip zurückzuführen. Denn <sup>in</sup> dieser Gedanke liegt der Lehre des Thales



vom Wasser als "Urstoff" der Welt zugrunde. Dieselbe Rolle <sup>spielt</sup> bei Anaximenes die Luft, bei Heraklit das Feuer.

6-3/26 Erklärung heisset <sup>Auffindung</sup> Aufdeckung des Gleichen im Verschiedenen. Da sie also verschiedene Gattungen von Naturerscheinungen auf ein und ein und dasselbe Gebiet reduziert, umfasst das letztere nun jene verschiedenen Gattungen als Spezialfälle. Daher kann man auch sagen, Erklärung <sup>das</sup> ist Zurückführen des Speziellen auf Allgemeinere. So werden z.B. Wärme und Schall <sup>beide</sup> dadurch erklärt, dass sie als spezielle Fälle von Bewegungen kleinster Teilchen aufgefasst werden.

In dem ersten Stadium wissenschaftlichen Denkens wird die Auffindung des Gleichen im Verschiedenen als Entdeckung eines Unveränderlichen, Beharrlichen, mit sich selbst identisch Bleibenden interpretiert, welches der Verschiedenheit und der Veränderung zugrundeliegt, aber nicht selbst daran Teil hat. Diese Beharrliche hiess Substanz.

*Wegen* Sie sollte in verschiedenen Erscheinungsformen vorkommen und verschiedene Zustände annehmen können, ohne dabei ihr eigentümliches Wesen zu ändern. Dies primitive Denkmittel des Substanzbegriffes, dessen logische Mängel sich später herausstellen werden, genügt aber für sich allein nicht, denn es blieb unerklärt, wie die Substanz zu ihren Verschiedenheiten und Veränderungen komme. Der Wechsel selbst muss noch durch Auffindung des Nichtwechselnden in ihm verständlich gemacht werden. Dazu bedarf es des Gesetzesbegriffes, der durch den mathematischen Funktionsbegriff dargestellt wird.

Der Schöpfer dieser Art exakter Naturerkenntnis ist Galilei.

*Wenn ein elektrischer Funke überspringt, so knallt es. Wenn es blitzt, so donnert es. Ein gewisser Stein fällt zur Erde; der hat vorher eine gekrümmte Bahn und die Erde* Wir machen uns vorläufig das Wesen des Naturgesetzes an dem von ihm gefundenen Fallgesetz dar. Wir denken uns bei einem frei fallenden Körper an vielen Punkten seiner Bahn seine Geschwindigkeit  $v$  gemessen, und dividieren sie durch die Zeit, welche der Körper gebrauchte, um bis zu jenem Punkte zu fallen. Der Quotient ergibt jedesmal dieselbe Zahl ( $g$  genannt), während der Zähler sich während Fallen fortwährend ändert, Der Quotient stellt also das Unveränderliche im Wechsel dar.



Allgemein besteht die Aufstellung eines Gesetzes für einen Naturvorgang in der Angabe derjenigen Kombination (Funktion) der den Vorgang beschreibenden veränderlichen Grössen, welche während des ganzen Vorganges konstant bleiben. Naturerklärung bedeutet Naturbeschreibung durch Gesetze. Die Funktion der Gesetze (oder Sinn der Gesetze) besteht im Beschreiben, nicht im Vorschreiben. Sie sagen, was geschieht, nicht, was geschehen soll oder muss. Wenn den Naturgesetzen Notwendigkeit zugeschrieben wird, so bedeutet dies, dass sie allgemeingültig sind, nicht aber, dass sie einen Zwang enthalten (-ausüben.)

#### IV. Aufbau der Theorien.

Die theoretische Wissenschaft besteht, wie schon dieser Ausdruck besagt, aus Theorien, d.h. aus Systemen von Sätzen über die Natur. Sätze (Aussagen) bilden ein System, wenn sie miteinander dadurch verbunden sind, dass sie von denselben Gegenständen handeln, oder sogar auseinander ableitbar sind. Das Verfahren der Aufstellung eines Naturgesetzes ist im Prinzip immer das gleiche. Es besteht darin, dass die Beobachtungen eines Vorganges zunächst in einer Tabelle niedergelegt werden, welche fortlaufend die zusammengehörigen Messungswerte derjenigen veränderlichen Grössen enthält, durch die der Vorgang charakterisiert ist. Dann sucht man <sup>eine</sup> Funktion auf, welche die Werteverteilung der Tabelle durch eine einzige Formel darstellt, und betrachtet sie solange als das den Vorgang beherrschende Gesetz, als alle neuen Beobachtungen mit ihr im Einklang sind. Da die Formel immer mehr <sup>entdeckt</sup> enthält, als tatsächlich beobachtet wurde, und auch für alle Vorgänge der gleichen Art Geltung haben soll, so bedeutet die Aufstellung jedes Gesetzes eine Verallgemeinerung, eine sog. Induktion. <sup>schließen</sup> Es gibt keinen logisch gültigen Schluss vom Besonderen auf das Allgemeine. Dieses kann daher nur erraten, nicht logisch gefolgert werden, sodass die allgemeine Geltung der Gesetze stets hypothetisch bleibt. Alle Naturgesetze



haben den Charakter von Hypothesen oder Annahmen. Ihre Wahrheit steht nie mit absoluter Sicherheit fest. So entsteht die Naturwissenschaft durch Zusammenwirken von genialem Erraten und exaktem Messen.

Der hier vorausgesetzte Prozess des Messens birgt Fragen in sich, von denen später zu reden sein wird.

Wie ein spezielles Gesetz aus einer Reihe von Einzelbeobachtungen, so entsteht ein allgemeines Gesetz durch induktive Zusammenfassung mehrerer einzelner Gesetze und man gelangt schliesslich zu relativ wenigen allgemeinsten Aussagen, welche die gesamte bekannte Gesetzmässigkeit der Natur umfassen. So sind heute alle chemischen Gesetze im Prinzip auf physikalische zurückgeführt und die Trennung zwischen den früher nebeneinander stehenden Gebieten der Physik (Mechanik, Akustik, Optik, Wärmelehre u.s.f.) ist längst vollständig verschwunden. Es gibt gegenwärtig nur mehr Mechanik und Elektrodynamik, die aber keineswegs unabhängig voneinander sind, sondern sich überall durchdringen. Ob daneben die Biologie noch als besonderes Gebiet bestehen bleibt oder gleichfalls der Physik einzuordnen ist, soll später besprochen werden. Zur konkreten Beschreibung der Natur (d.h. der Natur, wie sie wirklich ist) genügt es nicht, ihre Gesetzmässigkeiten zu formulieren, sondern die abstrakten Gesetze müssen gleichsam mit Inhalt erfüllt werden, Ausser ihnen ist nämlich noch die (zur betrachteten Zeit) gerade vorliegende Konstellation der Wirklichkeit anzugeben, auf welche die Formeln angewendet werden. Die Physiker nennen solche Konstellationen Anfangsbedingungen, mathematisch läuft ihre Berücksichtigung auf die Einführung von Konstanten hinaus.

Wir betrachten jetzt das System der Gesetze für sich, unabhängig von den Anwendungen, also keine individuellen, sondern nur allgemeine Aussagen. Dann <sup>können</sup> wir aus dem System eine Gruppe allgemeinsten Sätze herausgreifen, derart, dass alle übrigen Sätze des Systems aus ihnen ableitbar sind. Diese Ableitung ist eine <sup>rein</sup> logische Deduktion, die man vornehmen kann, ohne die Bedeutung der in den Gesetzen auf-



tretenden Symbole zu kennen. Wir wollen also nicht nur von der Anwendung auf Einzelfälle, sondern überhaupt von jeder Bedeutung der Worte oder Zeichen absehen. Dann bleibt von dem System eine reine formale Struktur übrig, ein leeres Gerüst, das nicht mehr aus eigentlichen Sätzen, sondern aus blossen Formen zu solche besteht. (In der Logik Satzfunktionen genannt.) Ein solches System, das nicht eigentlich die Natur, sondern alle Möglichkeiten in der Natur, d.h. ihre allgemeine Form darstellt, heisst hypothetisch deduktives System. (Pieri). Die Gruppe der an der Spitze stehenden Sätze nennen wir Axiome. Welche Sätze wir als Axiome herausgreifen, ist in gewissem Grade willkürlich. Wir können einen beliebigen Satz zum Axiom erklären und die einzige Bedingung, die wir erfüllen müssen, ist die, dass aus dem gewählten Axiomensystem alle anderen Sätze des Systems sich ableiten lassen. Axiom zu sein, ist also keine natürlich innere Eigenschaft eines Gesetzes, sondern es sind nur Gründe der Zweckmässigkeit oder Bequemlichkeit, vermöge deren bestimmte Sätze als Axiome ausgezeichnet werden. In den aus <sup>ihnen</sup> abgeleiteten Sätzen kommen noch andere Symbole vor als in den Axiomen, solche, die durch Definition neu eingeführt sind. Eine Definition ist die zum Zweck der Abkürzung vorgenommene Einführung neuer Zeichen an Stelle von alten. Welche <sup>Zeichen als</sup> Grundsymbole betrachtet <sup>werden</sup> und welche als durch Definition aus diesen abgeleitet, ist gleichfalls willkürlich.

Beispiele:

$$E = I/2mv^2$$

$$I = mv$$

Definition der Energie

Definition des Impulses

Statt Masse und Geschwindigkeit kann man auch

$$\frac{\text{Energie}}{\text{Impuls}} \quad \text{setzen: } v \equiv \frac{2E}{I}; I^2 = m^2 \cdot b^2 \cdot \frac{2E^2}{E} = m$$

Es ist gleichgültig, welche Grössen in den Axiomen vorkommen.

Das Gebäude einer Theorie besteht also 1) aus Axiomen, 2) aus <sup>Sätzen</sup> abgeleiteten <sup>und</sup> 3) aus Definitionen. In der symbolischen Darstellung

*Lehrsätze*



freistehende Symbole zu kennen. Wir wollen also nicht nur von der Anwen-

Die symbolisch darstellbare Theorie

Worte oder Zeichen ablesen. Dann bleibt von dem System eine reine  
Formale Struktur übrig, ein leerer Kasten, der nicht mehr eigent-  
lichen Sätzen, sondern aus blossen Formen zu solchen besteht. (In der  
Logik Satzfunktionen genannt.) Ein solches System, das nicht eigent-

lich die Natur, sondern alle Möglichkeiten in der Natur, d. h. ihre  
allgemeine Form darstellt, heisst hypothetisch deduktives System.  
(Theorie). Die Gruppe der an der Spitze stehenden Sätze nennen wir  
Axiome. Welche Sätze wir als Axiome herausgreifen, ist in gewissen

Graden willkürlich. Wir können einen beliebigen Satz zum Axiom erhe-  
ben und die einzelnen Bedingungen, die wir erfüllen müssen, ist die,

dass aus dem gewählten Axiomensystem alle anderen Sätze des Systems  
auch ableiten lassen. Axiom zu sein, ist also keine natürlich innere

Eigenschaft eines Gesetzes, sondern es sind nur Gründe der Zweck-  
mässigkeit oder Zweckmäßigkeit, vermöge deren bestimmte Sätze als

Axiome auszuzeichnen werden. In den aus abgeleiteten Sätzen können  
noch andere Symbole vor als in den Axiomen, solche, die durch Defini-

tion neu eingeführt sind. Eine Definition ist die zum Zweck der  
Aussprache vorgenommene Einführung neuer Zeichen an Stelle von alten.

Welche Grundsymbole betrachtet werden und welche als durch Definition aus  
diesen abgeleitet, ist ebenfalls willkürlich.

beispiels:

I-mv

E-I\2mv<sup>2</sup>

Definition des Impulses

Definition der Energie

Statt Masse und Geschwindigkeit kann man auch

Impuls  
Masse  
setzen:  $v = \frac{E}{I}$ ;  $I = m \cdot \frac{E}{v}$

Es ist gleichgültig, welche Grössen in den Axiomen vorkommen.  
Das Gebäude einer Theorie besteht also I) aus Axiomen, 2) aus

abgeleiteten (und 3) aus Definitionen. In der symbolischen Darstellung



der Naturwissenschaft, geschehe/sie nun durch Wort oder mathematisches Zeichen, sind diese Gebilde "äusserlich nicht zu unterscheiden. Dies hat zu eigentümlichen Schwierigkeiten geführt, indem man bloss deklaratorische Sätze für echte Naturgesetze hielt und umgekehrt. Für die neuesten Entwicklung ist der letztere Irrtum charakteristisch. Wir werden ihn ausführlich zu behandeln haben.

#### V. Theorien und anschauliche Modelle.

Der Zusammenhang von Theorie und Wirklichkeit wurde früher stets so gedacht, dass die in den Gesetzen auftretenden Symbole einfach Grössen bezeichnen, die unmittelbar wahrnehmbar sind oder solchen Grössen gleichartig gedacht werden. (Z.B. eine Strecke von 1/100 mm). So sind in der Newton'schen Mechanik die Grundbegriffe Raumstrecke, Zeit und träge Masse. Drei Termini, deren Bedeutung unmittelbar der Anschauung entnommen zu sein scheinen. Alle drei sind verbunden im Begriff der Bewegung, die ja zeitliche Änderung der räumlichen Lage einer Masse bedeutet. Die Bewegung ist derjenige Vorgang, bei welchem die Grundbedingung der Erkenntnis auf anschauliche Weise vollkommen erfüllt erscheint, nämlich die Wahrnehmung des Gleichen in der Veränderung. Das bewegte, die Masse spielt die Rolle der Substanz. Es bleibt für die sinnliche Wahrnehmung unverändert. Und doch ändert sich etwas, nämlich die Lage. Der Vorgang erscheint vollkommen durchsichtig und anschaulich vorstellbar. Dies ist der einzige Grund, der Vorliebe für mechanische Erklärungen und für den Wunsch der früheren Physiker, ihre ganze Wissenschaft auf Mechanik zu reduzieren. Daher auch die eigentümlich erweiterte Bedeutung des Wortes Mechanismus.

Für die mechanische Naturerklärung bestand die Notwendigkeit, die Existenz unsichtbarer Bewegungen anzunehmen, um die beobachteten Vorgänge auf sie zurückzuführen. In der Akustik und der kinetischen Theorie



der Wärme hatte sie damit Erfolg. Um aber die Elektromagnetischen und die Strahlungsvorgänge zu erklären, musste sie zur Hypothese des sogenannten Weltäthers greifen, dem zunächst die selben Eigenschaften zugeschrieben wurden, wie sie die in der Wahrnehmung des täglichen Lebens gegebenen Körper besitzen. Er wurde also als Gas oder als Flüssigkeit oder als fester Körper gedeut. Man fand aber, dass auf diese Weise dem Aether einander widersprechende Eigenschaften zukommen müssten und dadurch wurde diese grösster Art des modellmässigen Erkennens ab absurdum geführt. In der Tat war ja die Annahme ungerechtfertigt, dass der Aether die selben Eigenschaften haben sollte, wie die wägbaren, deren Eigenschaften man mit seiner Hilfe erst verständlich machen wollte (Poincaré). Die Vorgänge, die in unwahrnehmbar Kleinen anzunehmen sind, müssen nur die Bedingung erfüllen, dass durch ihr Zusammenwirken gerade jene Vorgänge sich ergeben, die im Wahrnehmbaren tatsächlich beobachtet werden. Die Gesetze der unsichtbaren Prozesse nennen wir Mikrogeseetze, die der wahrnehmbaren Makrogeseetze. Dieser Unterschied muss in jeder Theorie auftreten, denn jede wird das beobachtete Verhalten der Dinge auf Mikrogeseetze zurückführen. Auf die Letzteren werden sich die allgemeinsten Hypothesen der Naturwissenschaften beziehen.

Nur durch einen unwahrscheinlichen Zufall könnten Makro- und Mikrogeseetze identisch sein. Von vornherein besteht kein Recht zu dieser Annahme, welche für die primitivste modellmässige Erkenntnis wesentlich ist.

Beispiele für modellmässiges Erkennen:

Demokrits Atomtheorie, die Atomtheorie von Boscowic,

Atomtheorie von Heinrich Hertz, Wirbelring-Atomtheorie

(Thomson). Hiezu Naturphilosophie von M. Schlick in

Dessoir: Lehrbuch der Philosophie in ihren Einzelgebieten.

Poincaré bewies, dass, wenn ein mechanisches Modell ge-

funden ist, es stets beliebig viele andere giebt, die das



selbe leisten. Allgemein gilt, dass aus den beobachteten Makrovorgängen niemals eindeutig auf die Mikrovorgänge geschlossen werden kann. Es gibt immer Möglichkeiten. In einem vorgeschrittenem Stadium der Wissenschaft, wie es durch die Physik des ersten Viertels unseres Jahrhunderts repräsentiert wird, wird prinzipiell die Forderung aufgegeben, dass die Mikrovorgänge zu Makro ähnlich analog zu denken seien. Solange aber an der Forderung ihrer teilweisen Anschaulichkeit festgehalten wird, ist die Modellmethode noch nicht verlassen. Beim Bohr'schen Atommodell wird z.B. noch vorausgesetzt, dass es Sinn habe, von einer beliebigen räumlich Vergrößerung oder Verkleinerung eines beliebigen physikalischen Geschehens zu sprechen. Erst die allerneueste Physik sieht die Uebertragung räumlich-zeitlicher Verhältnisse aus der Region des direkt Messbaren auf die des unsichtbar Kleinen nicht mehr als erlaubt an und verzichtet damit auf anschaulich Mikrovorgänge und die Modelldarstellung.

## VI. Vom Sinne räumlicher Bestimmungen.

Unter Modell verstanden wir bisher anschaulich vorstellbares Gebilde, anschaulich vorstellen heisst, sich <sup>in</sup> der Vorstellung die Wahrnehmungen ausmahlen, die man haben würde, wenn man das Gebilde direkt beobachtete oder betastete. Hierzu dürfte es weder <sup>zu</sup> gross noch zu klein, und auf jeden Fall müsste es ein räumliches Gebilde sein. Um das modellmässige Erkennen zu beurteilen, muss (~~dabei~~) man daher das Wesen des Räumlichen verstehen. Da wir die Natur als das im Raum befindliche definiert hatte, so muss ohnehin die Analyse des Raumbegriffes im Zentrum der Naturphilosophie stehen.

Wir müssen zuerst unterscheiden zwischen dem einem objectiv physischen Raum und den anschaulichen Wahrnehmungsräumen, deren es so viele gibt, als wir Arten räumlicher Sinnesempfindung besitzen; vor allem also Gesichts und Tastraum. Diese beiden sind von einander qualitativ völlig verschieden und unvergleichbar, aber sie haben gewisse







Gesetzmässige formale quantitative Ordnungseigenschaften gemeinsam und diese sind es, durch die der physische Raum in alsbald näher zu beschreibender Weise definiert wird.

Während die einzelnen Gesichts- und Tastwahrnehmungen subjectiv sind (das heisst, die Aussagen darüber hängen vom Beobachter ab), weisen sie doch eine Ordnung auf, die objectiv zu nennen ist, weil sie durch Aussagen beschrieben werden kann, die sowohl von der Modalität der Sinneswahrnehmungen unabhängig, als auch von beliebigen Beobachtern verifizierbar sind. Durch ein System derartiger Aussagen wird der physische Raum beschrieben. Er selbst ist also gar nicht anschaulich vorstellbar, sondern <sup>teil</sup> vorstellbar sind allein gewisse geordnete Abfolgen von Wahrnehmungen, deren Ordnung eben die physisch-räumlichen Eigenschaften des vorgestellten Gebildes repräsentiert.

Wir stellen das Problem nicht so, dass wir nach dem Wesen des Raumes fragen, sondern wir fragen, was es bedeutet, wenn wir Aussagen über bestimmte räumliche Eigenschaften von Naturkörpern oder Naturvorgängen machen. Zur Beschreibung räumlicher Verhältnisse bedarf man vor allem des Begriffs des Punktes. Die wahrnehmungsgrundlagen für diesen liegen in dem Auftreten gewisser ausgezeichneten Stellen (Singularitäten) in den Feldern des Gesichts- und Tastsinnes, die wir zu beschreiben pflegen, indem wir sagen, sie seien ausdehnungslos oder es seien keine Teile an ihnen wahrnehmbar.

Charakteristisch für diese Singularitäten ist, dass kleinste Bewegungen der Sinnesorgane sie wesentlich verändern. (Z.B. zum Verschwinden bringen). Hiemit hängt zusammen, dass wir den Punkt die Dimensionen zuschreiben. Bei einer Strecke nämlich gibt es eine Richtung, in der der sinnliche Eindruck bei kleinen Verschiebungen unverändert bleibt (die Strecke ist eindimensional). Was meinen wir nun, wenn wir einer Strecke (d. h. der Entfernung ihrer Endpunkte) eine ganz bestimmte Länge zuschreiben? Jedenfalls dürfen wir nicht sagen, dass wir damit den Betrag des leeren Raumes, d. h. den Betrag des Nichts

Ein Punkt ist ein Punkt, der keine Teile hat; Mill (ein Punkt ist nicht sichtbar)

+



angeben, der sich zwischen den Endpunkten befindet. (vergl. die Argumente des Descartes). Der einzige Weg <sup>zur</sup> Auffindung des Sinnes einer Längenangabe besteht darin, dass wir zusehen, wie sie zustande kommt. <sup>kann</sup> Ganz allgemein gibt es überhaupt keine andere Möglichkeit der Ermittlung des Sinnes eines Satzes, als die Besinnung darauf, wie seine Wahrheit festgestellt wird. Die einzig gültige Methode der Naturerkenntnis besteht in Beobachtung und Experiment, also in gewissen Operationen. Das gilt auch von der Längenmessung. Der Längenvergleich zweier Strecken findet prinzipiell in der Weise statt, dass man zwei ausgezeichnete Punkte des Vergleichskörpers (Spitzen eines Zirkels oder Marken eines Masstabes) mit <sup>den</sup> Endpunkten der einen Strecke zusammen fallen lässt, in hierauf zur zweiten Strecke transportiert und dort ebenso verfährt. Es kommt also auf die Feststellung der Koinzidenz bzw. der Nicht-Koinzidenz je zweier Punkte an. Die Empfindungsgrundlagen für eine Koinzidenz sind eigentümliche Singularitäten in den Wahrnehmungsfeldern, die den Charakter der Objectivität im früher erläuterten Sinne besitzen.

Es ist höchst wichtig zu bemerken, dass <sup>auf</sup> diesem Wege ein völlig sternger Unterschied zwischen echter Koinzidenz und sehr enger Nachbarschaft nicht definiert werden kann, während in der Mathematik ein prinzipieller topologischer Unterschied (Wesensunterschied) zwischen beiden Begriffen gemacht wird.

Das beschriebene Messverfahren setzt voraus, dass der Masstab während des Transports seine Länge nicht ändert. Dass wir also schon wissen, dass eine Länge an verschiedenen Orten dieselbe bleibt. Dies könnte aber nur durch Anlegen eines neuen Masstabes kontrolliert werden, für den wieder dieselbe Frage sich erheben würde usw. Die Vergleichung führt also zu einem unendlichen Regress oder einem logischen Zirkel, der erst durch die Erkenntnis überwunden wird, dass die Gleichheit zweier Strecken nicht etwas Absolutes, fertig in der Welt gegebenes ist, sondern dass dieser Begriff erst durch eine



<sup>wirklich</sup> <sup>voraussetzen.</sup>  
definitorische Festsetzung entsteht.

Die Festlegung kann nicht nach logischen, sondern nur nach praktischen Gesichtspunkten geschehen. Man benützt dazu den Begriff des starren Körpers. Hat ein Körper die Eigenschaft, dass, wenn zwei auf ihm markierte Punkte mit zwei Punkten eines zweiten Körpers koinzidieren, ~~immer~~ diese Koinzidenzen immer und überall erhalten bleiben, so heisst der eine Körper starr in Bezug auf den Anderen. Die Erfahrung zeigt, dass eine ganze Klasse von Körpern durch die Eigenschaft ausgezeichnet ist, dass jedes von ihnen starr relativ zu jedem anderen ist. Wir nennen alle diese, "praktisch starr". Genauere Untersuchung leert, dass nach dieser Definition keine Körper vollkommen ~~starr~~ starr ist. Dies veranlasst uns, keinen wirklichen Körper ohne Vorbehalt als Normalstab zum Längenvergleich zu benützen, sondern Bedingungen (Korrekturen) hinzuzufügen, indem wir z. B. festsetzen; wenn der Normalstab sich auf einer bestimmten Temperatur befindet, so ist von seiner Länge ein bestimmter Bruchteil abzuziehen, oder: Wenn er den und den Kräften ausgesetzt wird, so hat man den und den Bruchteil seiner Länge zu addieren usw. Durch dergl. Regeln wird der wirklich Masstab gleichsam mit einem idealen verglichen, der dann als vollkommen starr angesehen wird.

→ Wird ein Begriff durch Bezug auf einen wirklich vorkommenden Körper definiert (z. B. Erdmeridian, Pariser Normalmeter, etc.), so sprechen wir von einer konkreten Definition. Wird er aber auf ein Naturgesetz, auf eine allgemeine Regelmässigkeit bezogen, so nennen wir das eine Konvention (Poincaré). (Konventionen im engeren Sinne, denn im weiteren Sinne, also als Abmachung ist jede Definition Konvention).

Da wir die Naturgesetz als unveränderlich annehmen, (der Sinn dieser Annahme sei hier nicht geprüft), so hat die Konvention ~~im~~ im Gegensatz zur konkreten Definition den Vorteil, dass der durch sie definierte Begriff jederzeit rekonstruierbar ist (vergleiche Natriumlichtwellenlänge).



Bisher wurde nur der Begriff der Gleichheit und des Grösser- und Kleinerseins von Längen erörtert. Weitere Operationen sind erforderlich, um zur Längenmessung zu gelangen, das heisst, zur (eindeutigen) Charakterisierung bestimmter Strecken durch bestimmte Zahlen. Man verwendet hierzu einen starren Masstab, der auf einer geraden Kante viele Marken trägt, die durch Zahlen bezeichnet sind, aber prinzipiell ganz beliebig geordnet und benannt sein können. Man legt ihn an die zu messende Strecke so an, dass ihr Anfangspunkt mit einem ganz bestimmten Punkt ihrer Skala zusammenfällt, dann koinzidiert ihr Endpunkt mit einem anderen Punkt des Masstabes und die ihm zugeordnete Zahl heisst die Länge der Strecke. Jenen bestimmten Punkt bezeichnet man willkürlich mit Null. Man richtet den Masstab so ein, dass die Abstände, die gleichen Zahlendifferenzen entsprechen, einander gleich sind (Nach der früheren Definition) d.h. man macht die Abstände zwischen den Zahlen Null und Eins, Eins und Zwei<sup>Zwei</sup>, und Drei usw. gleich gross und erreicht damit, dass für die Addition von Strecken ein sehr einfaches Additionstheorem gilt. Versteht man nämlich unter der Summe zweier Strecken die Länge derjenigen Strecke, die durch Aneinanderlegen der beiden entsteht, so wird diese Länge einfach gleich der arithmetischen Summe der Masszahlen der beiden summierten Strecken. Schliesslich müssen noch die Strecken festgelegt werden, deren Länge gleich I sein soll: dies kann durch konkrete Definition geschehen (im Anschluss an die Grösse der Erdkugel) oder durch Konvention (mit Hilfe der Wellenlänge bestimmter Lichtarten). Es sind also 5 Festsetzungen für die Länge nötig: Man muss

- 1) sagen, wann 2 Strecken gleich sein sollen,
- 2) was unter Grösser, bzw. kleiner zu verstehen ist,
- 3) wo die Zahl Null stehen soll,
- 4) wo die Zahl I stehen soll,
- 5) wie die übrigen Zahlen angeordnet sein sollen.



Die beiden ersten heissen topologische, <sup>die</sup> drei letzten metrische Festsetzungen.

Die Einführung optischer Hilfsmittel zur Messung ergibt nichts prinzipiell neues. Sie geht auf die Beobachtung der Koinzidenz von Singularitäten im visuellen Felde allein zurück und man muss Voraussetzungen über das Verhalten von Lichtstrahlen machen (geradlinige Ausbreitung). Immerhin ist Bemerkenswert, dass die optische Methode bequem so eingeführt werden kann, dass nichts an den Konventionen geändert werden muss, die der Messung mit Hilfe starrer Masstäbe zugrunde liegen. Das wichtigste Ergebnis ist, dass jede metrische Bestimmung räumlicher Verhältnisse auf Vergleichung beruht und daher relativ ist. Alle Messoperationen sind Vergleichen starrer Körper mit einander durch Koinzidenzbeobachtungen. Alle räumlichen Aussagen beziehen sich nur auf das Verhalten der Körper, nie auf 'den Raum.' Wir machen uns die Relativität aller räumlichen Aussagen in Anschluss an Poincaré durch die Ueberlegung klar, dass es in der Welt keinen feststellbaren Unterschied machen würde, wenn wir annehmen, dass sich etwa über Nacht die Abmessungen aller Gegenstände in demselben Verhältnis geändert hätten. Denn da nach der Voraussetzung alle Vergleichsmasstäbe unser ~~einiger~~ eigener Körper mit seinen Sinnesorganen inbegriffen, von der Veränderung in gleicher Weise betroffen wird, so besteht keine Möglichkeit, die gedachte Änderung durch irgendwelche Messungen, auch nicht durch das Augenmass zu konstatieren. Hieran wird nichts geändert, wenn wir uns eine ganz beliebige Deformation der Welt denken, solange nur die Koinzidenzen erhalten bleiben.

Dies hat schon Helmholtz <sup>6</sup> eingesehen, als er darauf hinwies, dass Wesen, die in einer Welt lebten, wie sie durch Spiegelung unserer Welt in einem verzerrender Spiegel entstehen würde, die Verzerrung durch keine Mittel entdecken könnten, solange sie nicht aus ihrer Welt hinaus in die unsere treten könnten, um die beiden mit einan-

5 *allgemeine  
Relativität  
des Raumes*