# UNTERSUCHUNGEN

ÜBER DIE

# GRUNDLAGEN DER RAUM- UND DER ZEITMESSUNG.

VON

DR. PH. HERMANN WEHNER

REALGYMNASIALOBERLEHRER.

WISSENSCHAFTLICHE BEILAGE ZU DEM JAHRESBERICHT DES REALGYMNASIUMS
MIT REALSCHULE ZU PLAUEN I. V.

OSTERN 1903.

PLAUEN I. V.
DRUCKEREI NEUPERT.
1903.

1903. PROGR.-NO. 635.

Bibliothek des Städt. Gymnasiums * Düsseldorf *

9P2 (1903)

635 B

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

# UNTERSUCHUNGEN

ÜBER DIE

# GRUNDLAGEN DER RAUM- UND DER ZEITMESSUNG.

VON

DR. PH. HERMANN WEHNER

REALGYMNASIALOBERLEHRER.

WISSENSCHAFTLICHE BEILAGE ZU DEM JAHRESBERICHT DES REALGYMNASIUMS MIT REALSCHULE ZU PLAUEN I. V.

OSTERN 1903.

PLAUEN I. V.
DRUCKEREI NEUPERT.
1903.

1903. PROGR.-NO. 635.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

UNIVERSITÄTS- UND LANDESBIBLIOTHEK
DÜSSELDORF

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

# Untersuchungen über die Grundlagen der Raum- und der Zeitmessung.

Mag man im Anschluß an Newton die Aufgabe der Physik darin erblicken, „aus den Erscheinungen der Bewegung die Kräfte der Natur zu erforschen und hierauf durch diese Kräfte die übrigen Erscheinungen zu erklären,“ [1]) oder sich zu der Ansicht bekennen, der Hertz eine einstimmige Annahme von Seiten aller Physiker zuschreibt, „daß es die Aufgabe der Physik sei, die Erscheinungen der Natur auf die einfachen Gesetze der Mechanik zurückzuführen,“ [2]) oder mag man der Sache oder nur der Form nach der Physik noch ein anderes Ziel setzen, z. B. mit Mach durch die Worte: „sie erkennt den sparsamsten, einfachsten begrifflichen Ausdruck der Tatsachen als ihr Ziel,“ [3]) oder mit Maxwell: „die Physik ist derjenige Teil des Wissens, welcher sich auf die Ordnung in der Natur oder, mit anderen Worten, auf die regelmäßige Aufeinanderfolge der Ereignisse bezieht“: [4]) immer wird in der Physik der Messung von Größen eine grundlegende Bedeutung zukommen. Denn die physikalischen Gesetze geben in den meisten Fällen Größenbeziehungen an, die sich nur durch Messungen feststellen lassen.

Die Wichtigkeit solcher Messungen tritt in der Geschichte der Physik an vielen Stellen deutlich hervor. Ich erwähne nur ein Beispiel, das für die Entwicklung der Physik und ihrer Methode eine besondere Wichtigkeit erlangt hat, die Untersuchung des freien Falles und der Wurfbewegung durch Galilei. Die Anhänger des Aristoteles philosophierten bis zu den Zeiten Galileis über das Problem, warum die Körper fallen, erfanden für jede Erscheinung eine Ursache zu ihrer Erklärung, kümmerten sich aber zu wenig um die Prüfung ihrer Vermutungen durch die Tatsachen der Erfahrung, verhüllten so die wirkliche Welt durch eine erdichtete Welt ihrer Phantasien und verloren die unmittelbar gegebene Welt ganz aus dem Auge. Galilei selbst erwähnt im 3. Tage seiner Unterredungen und mathematischen Demonstrationen verschiedene Meinungen solcher Philosophen über die Ursache der Beschleunigung der natürlichen Bewegung: „Einige führen sie auf die Annäherung an das Zentrum zurück, andere darauf, dass immer weniger Teile eines Körpers auseinandergehen wollen; wieder andere auf eine gewisse Vertreibung des umgebenden Mittels, welches hinter dem fallenden Körper sich wieder schließt und den Körper antreibt und von Stelle zu Stelle verjagt; alle diese Vorstellungen und noch andere müssen geprüft werden, und man wird wenig Gewinn haben.“ [5]) Gewinnbringender war nun, was Galilei unternahm, die Beantwortung der scheinbar viel einfacheren Frage: Welches sind die Eigenschaften der Fallbewegung, nach welchen Gesetzen fallen die Körper? Diese Eigenschaften und Gesetze, die Beziehungen zwischen Zeit, Geschwindigkeit, Beschleunigung und Weg konnten zwar nicht durch Messungen allein, aber noch weniger durch Spekulationen festgestellt werden. Beides mußte sich vereinigen. Vor der Messung mußten die Fundamentalbegriffe, wie z. B. derjenige der Beschleunigung, erst geschaffen werden. Auch dabei zeigt sich die Größe und Ueberlegenheit Galileis gegenüber allen seinen Vorgängern. Seine eignen Worte sind der beste Beweis dafür: „Obgleich es durchaus gestattet ist, irgend eine Art der Bewegung beliebig zu ersinnen und die damit zusammenhängenden Ereignisse zu betrachten, so haben wir uns dennoch entschlossen, diejenigen Erscheinungen zu

[1]) Newton, Mathem. Princ. der Naturlehre. Uebersetzung von Wolfers, S. 2.
[2]) Hertz, Mechanik, S. XXIII.
[3]) Mach, Popul. wissenschftl. Vorlesungen, S. 224.
[4]) Maxwell, Substanz und Bewegung. Uebers. von E. v. Fleischl, S. 1.
[5]) Galilei, Unterredungen und mathematische Demonstrationen. Uebers. von A. v. Oettingen, 3. Tag, S. 15.



Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

betrachten, die bei den freifallenden Körpern in der Natur vorkommen.“ [1]) Wir stützen uns darauf, „daß das, was das Experiment den Sinnen vorführt, den erläuterten Erscheinungen durchaus entspricht. Endlich hat uns zur Untersuchung der natürlich beschleunigten Bewegung gleichsam mit der Hand geleitet die aufmerksame Beobachtung des gewöhnlichen Geschehens und der Ordnung der Natur in allen ihren Verrichtungen.“ [2]) Galilei erhält also seine Grundanschauungen, seine Grundbegriffe und seine Definitionen durch eine aufmerksame Beobachtung der Naturerscheinungen. Darauf bauend macht er verschiedene Annahmen über die Eigenschaften der Fallbewegung, zieht aus seinen Grundanschauungen die Folgerungen, verwirft alle Annahmen, die zu Widersprüchen führen, und prüft schließlich seine Resultate messend durch das Experiment. Durch eine solche Methode erforschte er die Eigenschaften von Bewegungen, die Jahrtausende hindurch vor den Augen von Millionen von Menschen unzählige Male sich abgespielt hatten, und die doch niemand erkannt hatte. „Les découvertes des satellites de Jupiter, des phases de Vénus, des taches du Soleil, etc., ne demandaient que des télescopes et de l'assiduité; mais il fallait un génie extraordinaire pour démêler les lois de la nature dans des phénomènes que l'on avait toujours eus sous les yeux, mais dont l'explication avait néanmoins toujours échappé aux recherches des philosophes.“ [3]) Galilei legte damit den Grund zu unserer heutigen Physik durch ein Verfahren, das ein Vorbild für physikalische Forschungen geworden ist. Mit voller Klarheit spricht er sich selbst über die Tragweite seiner Untersuchungen aus: „Es wird die Bahn geebnet zur Errichtung einer sehr weiten, außerordentlich wichtigen Wissenschaft, deren Anfangsgründe diese vorliegende Arbeit bringen soll, in deren tiefere Geheimnisse einzudringen Geistern vorbehalten bleibt, die mir überlegen sind.“ [4]) Genaue Messungen waren für seine Leistungen von unersetzlicher Bedeutung. Erst dadurch gab er seinen Gesetzen Bestimmtheit und Klarheit. Nur so konnte er die Größe der Beschleunigung ermitteln, konnte zeigen, daß die von einem fallenden Körper in gleichen Zeiten zurückgelegten Strecken sich zu einander verhalten wie die ungeraden Zahlen, konnte als Wurfbahn eine Parabel und noch vieles andere nicht minder Wissenswerte feststellen. „Die Fallgesetze wären auch nicht einmal annähernd festgestellt worden, wenn nicht von vornherein der Gedanke maßgebend geworden wäre, fernerhin alle Vorstellungen in Rücksicht auf die Verhältnisse der in ihnen vorkommenden Größen näher zu bestimmen und sich nicht mit unbestimmten gleichsam schweifenden Ideen zu begnügen. Ja selbst die bloß hypothetische Einführung von Quantitäten hätte keine wahrhafte Anknüpfung an die Natur zu ergeben vermocht und würde im Kreise des bloßen Denkens verblieben sein. Erst die bestimmte Messung der Größenverhältnisse in den Erscheinungen konnte aus dem Zirkel bloßer Spekulation hinausführen und die Brücke zu den Wirklichkeiten der Natur schlagen.“ [5])

Genaue Messungen bilden geradezu die Grundlage der Physik. Denn die meisten physikalischen Gesetze enthalten quantitative Beziehungen. Weil diese ein Gesetz um so schärfer und reiner hervortreten lassen, auf je genaueren Messungen sie ruhen, so hat man die Meßkunst mit außerordentlicher Sorgfalt ausgebildet und strebt nach immer größerer Feinheit und Zuverlässigkeit. Mit großem Fleiß und viel Scharfsinn sind die mannigfaltigsten und sinnreichsten Apparate konstruiert worden. Nicht auf derselben Höhe der Vollendung stehen aber die Untersuchungen über die Grundlagen und über die Voraussetzungen solcher Messungen. Beschränkt man sich auch nur auf die allereinfachsten, auf solche, die jedermann geläufig sind, von denen nicht nur der Physiker, sondern jeder gebildete Mensch eine klare Vorstellung zu haben glaubt, auf das Messen von Strecken und von Zeiten, so erheben sich bei einer ernsten Frage nach ihren Grundlagen sehr bald Widersprüche. Zweifel mischen sich in das scheinbar sichere Wissen. Das Studium der vorhandenen Literatur wirkt zwar in vieler Hinsicht aufklärend, erregt aber auch neue Zweifel und zeigt, daß gewisse Unklarheiten überhaupt noch nicht beseitigt sind. Denn es werden auf viele Fragen sehr verschiedene und einander widersprechende Antworten gegeben. Es kann nun nicht der Zweck der vorliegenden Arbeit sein, alle vorhandenen Zweifel und Widersprüche zu beseitigen. Ich weiß, daß es sich hier vielfach

---

[1]) A. a. O. S. 9.
[2]) A. a. O. S. 10.
[3]) Lagrange, Méc. anal., tome premier, sec. partie, première sect.
[4]) Galilei, Unterredgn. und math. Demonstr., 3. Tag, S. 3.
[5]) Dühring, Krit. Gesch. der allgem. Princ. der Mechanik, 2. Aufl. S. 36.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

um schwankende Begriffe handelt, deren Entwicklung noch nicht abgeschlossen ist, die mit dem Fortschreiten der Wissenschaft sich verändern, deren Definition und Gebrauch gar nicht endgültig bestimmt werden können. In solchem Falle giebt es also keine festen, widerspruchslosen Aussagen. Es soll deshalb nur versucht werden, eine gewisse Einsicht in die vorliegenden Fragen zu erlangen, sei es auch nur, um zur Erkenntnis der Schwierigkeit ihrer Beantwortung zu kommen. Vielleicht gelingt es dabei, diesen oder jenen Gegenstand von einer neuen Seite zu betrachten oder in eine etwas andere Beleuchtung zu rücken, als es sonst zu geschehen pflegt.

## Die Raummessung.

Wir wenden unser Augenmerk zunächst auf die Grundlagen der Messung von Strecken. Auf ihnen ruht auch die Messung von allen anderen physikalischen Größen. Weil unsere Gesichtswahrnehmungen mannigfaltiger und viel schärfer sind als die Wahrnehmungen der übrigen Sinnesgebiete, so können wir die genauesten Beobachtungen mit Hilfe von Gesichtswahrnehmungen anstellen. Wir suchen deshalb alle physikalischen Messungen auf räumliche Messungen zurückzuführen. Diese zerfallen in die Messung von Strecken und von Winkeln. Stellen wir die Frage nach den Grundlagen unserer Messungen, so können wir auch die Winkelmessungen außer acht lassen, weil sie sich ebenfalls durch die Messung von Strecken ersetzen lassen, und weil deshalb ihre Untersuchung für die vorliegende Frage keine neuen Resultate zu Tage fördert. Durch diesen Sachverhalt findet auch die Tatsache ihre Erklärung, daß alle in der Physik gebräuchlichen Maßeinheiten sich auf die Längeneinheit zurückführen lassen. Nun läuft das Messen von Strecken im letzten Grunde immer darauf hinaus, die Gleichheit von zwei Strecken festzustellen und zwar einer Strecke, die gemessen wird, mit einer anderen, die als Maßstab dient. Ob bei dieser Vergleichung der Maßstab selbst oder Vielfache oder Teile von ihm verwendet werden, ist für unsere Untersuchungen belanglos. Denn die Herstellung von Vielfachen oder von Teilen einer Einheit ruht wieder auf jener Grundoperation der Gleichsetzung von zwei Strecken.

Die wissenschaftlichen Messungen sollen hauptsächlich zwei Forderungen genügen, denjenigen der Genauigkeit und der Vergleichbarkeit. Jene kann niemals vollständig erfüllt werden. Als Grund wird gewöhnlich nur die mangelhafte Beschaffenheit unserer Sinnesorgane und die Unvollkommenheit der Meßinstrumente angegeben. Obgleich unser Gesicht weitaus schärfer ist als alle anderen Sinne, so ist es doch nicht imstande, die absolute Gleichheit von zwei Strecken oder die genaue Größe ihrer Abweichung festzustellen, wenn auch durch zweckmäßige Instrumente der schädliche Einfluß der Unvollkommenheit unserer Sinne sehr beschränkt werden kann. Eine weitere und oft nicht genügend beachtete Quelle für ungenaue Messungen entspringt aus der gewählten Maßeinheit. Sobald diese unrichtig ist, müssen natürlich alle damit vorgenommenen Messungen falsch werden. Das ist dann der Fall, wenn sie ihrer Definition nicht entspricht, wenn sie nicht die Länge anzeigt, die sie nach ihrer Bestimmung anzeigen soll. Wurde z. B. bei der Anfertigung des Maßstabes und besonders bei seiner Vergleichung mit dem Normalmaß keine genügende Sorgfalt aufgewendet, so wird er Fehler haben, die ihn zu wissenschaftlichen Messungen ungeeignet machen und vielleicht nur eine Anwendung bei gröberen Messungen des täglichen Lebens gestatten. Aber auch ein sorgfältig hergestellter Maßstab besitzt keine unveränderliche Länge. Veränderungen seiner Temperatur und seiner Gestalt, z. B. bei Biegungen, verändern auch seine Länge, mag nun dieselbe durch den Abstand seiner Endflächen oder durch Marken auf einer Seitenfläche bezeichnet werden. Er besitzt also nur bei einer bestimmten Temperatur und bei einer bestimmten Gestalt die richtige Länge. Wird bei wissenschaftlichen Messungen darauf keine Rücksicht genommen, arbeitet man mit einem mangelhaft definierten, nicht völlig bestimmten und deshalb veränderlichen Maßstab, so erhält man ungenaue und nicht vergleichbare Resultate. Wir sind zwar geneigt, eine Länge von $a$ Metern gleich einer Länge von $a$ Metern zu setzen, die wir vor mehreren Jahren festgestellt haben. Wir sollten uns aber darüber klar werden, daß wir damit stillschweigend voraussetzen, daß die Längeneinheit in beiden Fällen völlig dieselbe ist. Die

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gleiche Voraussetzung müssen wir machen, wenn wir eine Beziehung zwischen einer Länge von *a* Metern und einer anderen von *b* Metern angeben, die beide zu verschiedenen Zeiten gemessen wurden. Sie liegt auch zu Grunde, wenn wir bei der Messung desselben Gegenstandes zu verschiedenen Zeiten verschiedene Resultate erhalten. Und doch wird die erwähnte Voraussetzung in aller Strenge niemals erfüllt, sondern je nach den Umständen nur mit größerer oder geringerer Annäherung. Die erwähnten Forderungen der Richtigkeit, eindeutigen Bestimmung und der Unveränderlichkeit, die ein Maßstab erfüllen muß, damit die Messungen genau und mit einander vergleichbar werden, sind nun keineswegs immer gemacht worden. Ja man hat erst ziemlich spät die Notwendigkeit solcher Forderungen eingesehen. So lange es üblich war, die Maßstäbe der organischen Welt zu entlehnen, konnte von eindeutig bestimmten und von unveränderlichen Maßstäben keine Rede sein. So war es bei fast allen Völkern üblich, die mittlere Länge des menschlichen Fußes als Längeneinheit zu wählen. Es findet sich dieses Maß bei den alten Kulturvölkern, deren Maßsystem in frühester Zeit eine verhältnismäßig große Vollkommenheit erlangt hat, bei den Babyloniern, Aegyptern, Griechen und Römern ebenso wie bei tiefer stehenden Völkern. Auch die Länge des Armes (Elle), die Breite der flachen Hand (Palme der Aegypter, Juden, Griechen, Römer, Araber), die Breite des Fingers (Dactylus bei den Aegyptern, Griechen, Römern, Arabern), die Größe von Früchten und von Pflanzen sind vielfach als Maße verwendet worden. Noch im Jahre 1584 schlägt der deutsche Geometer Jakob Köbel vor: „Man soll 16 Mann, klein und groß, wie die ungefehrlich nach einander aus der Kirchen gehen, einen jeden vor den anderen einen Schuh stellen lassen; dieselbige Lenge werde und solle seyn ein gerecht gemein Meßrute, damit man das Feld messen soll.“[1]) Wenn ferner Weidler im Jahre 1727 die Entfernung der Pupillen bei erwachsenen Menschen als unveränderliche Länge wünscht[2]) und noch im Jahre 1773 die Zellen von Bienen als Längeneinheit empfohlen werden,[3]) so geht daraus hervor, daß bis in die neueste Zeit recht unklare Vorstellungen über die Bedeutung und über die Grundlagen des Messens bestanden haben. Dem gegenüber soll nicht verschwiegen werden, daß diese Vorschläge auch damals nicht auf der Höhe der Zeit standen, daß schon vorher das Bedürfnis nach festen Bestimmungen der Maßeinheit vorhanden war, daß die wirklich verwendeten Maße bei vielen Völkern besser waren als diese Vorschläge. In England z. B. soll schon zu den Zeiten des Königs Edgar das in Winchester aufbewahrte Normalmaß benutzt worden sein. Nach anderen Schriftstellern hat Heinrich VII. ein Probemaß als Yard anfertigen und aufbewahren lassen. Sicher ist, daß die Königin Elisabeth im Jahre 1588 ein noch jetzt vorhandenes Längenmaß (Yard) aus Messing anfertigen und im Schatzamt (Exchequer) von Westminster niederlegen ließ. Mit Hilfe von Kopien wurden die in den Handel gebrachten Maßstäbe geaicht.[4]) Indessen zeigte eine im Jahre 1758 angeordnete Untersuchung, daß das Yard des Exchequer wegen seiner nicht parallelen und nicht ebenen Endflächen unbestimmt war, und daß andere öffentliche Probemaße Abweichungen bis auf den 25. Teil eines Zolles zeigten.[5]) Einzelne Schriftsteller haben sogar den alten Aegyptern ein Maßsystem zugeschrieben, das dem heutigen französischen an die Seite gestellt werden könnte. Paucton[6]) behauptet, daß die Aegypter ihr Längenmaß dem Umfang der Erde entnommen haben. Ihre heilige Elle, die Elle des Nilmessers bei Elefantine, soll der 200 000. Teil und das Stadium zu Laodicea der 500. Teil der Länge eines Grades der Erde sein. Nach Jomard[7]) sollen die Aegypter bereits im hohen Altertum einen Meridiangrad zwischen Alexandrien und Syene genau gemessen haben. Indessen sind das Behauptungen, die sich nur durch ungenügende Gründe in mangelhafter Weise stützen lassen. Schon Muncke hat in Gehler's Physikal. Wörterbuch[8]) den überzeugenden Nachweis geführt, daß die Behauptungen Paucton's und Jomard's sich nicht aufrecht halten lassen. Auch die Untersuchungen Böckh's sprechen gegen Paucton. Böckh hat nachgewiesen, daß die Maße und

[1]) Jakob Köbel, Geometrey, Frankfurt 1584, S. 4.
[2]) Weidler, De nova mensura corporum universali.
[3]) Leipziger Wochenblatt für Kinder, 1773, S. 69.
[4]) Vergl. Gehler's Physikal. Wörterbuch, VI. Band, 2. Abtlg., S. 1289.
[5]) F. W. Bessel, Ueber Maß und Gewicht im Allgem. und das preuß. Längenmaß im Bes. Pop. Vorles. über wiss. Gegstd., herausgeg. v. Schumacher, S. 278.
[6]) Paucton, Métrologie, Paris 1780, p. 102.
[7]) Jomard, Recueil d'Observations et de Mémoires sur l'Egypte ancienne et moderne, tome III. p. 550.
[8]) A. a. O. VI. Bd., 2. Abtlg., S. 1226 bis 1228.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Gewichte des Altertums nicht von den Aegyptern, sondern von den Babyloniern herrühren, und daß das Maßsystem des Altertums sich nicht auf die Längeneinheit, sondern auf die Gewichtseinheit gründete.[1]) Das ursprüngliche Gewicht war das babylonische Talent. Durch die Bestimmung, daß ein Kubikfuß Regenwasser ein babylonisches Talent wiegen solle,[2]) traten die Längen- und Körpermaße zur Gewichtseinheit in eine einfache Beziehung, die sich in etwas veränderter Weise auch im griechischen und römischen Maßsystem wiederfindet.

Die Bestrebungen, ein Maßsystem zu schaffen, das den Anforderungen der Wissenschaft genügt, gehören der Neuzeit an. Bis gegen das Ende des Mittelalters waren die experimentellen Wissenschaften so wenig entwickelt, daß ein Verlangen nach genauen Messungen nicht vorhanden war. „Das Bedürfnis der sicheren Bestimmung des Längenmaßes wurde zuerst fühlbar, als man im Jahre 1734 in Frankreich die Messungen zweier Grade der Erdmeridiane entwarf, welche Bouguer und Condamine unter den Aequator und Maupertius unter den Polarkreis führten. Damals wurden zwei einander gleiche Exemplare der Toise verfertigt, nämlich Stäbe von Eisen, deren Endflächen die Entfernung erhielten, welche von dieser Zeit an als die Einheit des französischen Längenmaßes angesehen worden ist.“ [3]) Aber schon vorher sind brauchbare Vorschläge zur Begründung eines sicheren Maßsystems gemacht worden. Schon im Jahre 1664 hatte Huyghens gegenüber dem Engländer Murray in London den dritten Teil der Länge des einfachen Sekundenpendels als pes horarius, als Zeitfuß, empfohlen.[4]) Wenige Jahre später, im Jahre 1670, sprach der französische Astronom Gabriel Mouton den Gedanken aus, die Länge der Minute eines Meridians als Einheit zu wählen,[5]) einen Gedanken also, der im französischen metrischen System seine Verwirklichung gefunden hat. Diesen und noch anderen späteren Vorschlägen, z. B. der Größe des Fallraumes eines Körpers in einer Sekunde,[6]) des scheinbaren Durchmessers der Sonne bei einer bestimmten Stellung der Erde,[7]) lag der Gedanke eines Naturmaßes zu Grunde. Man wollte ein eindeutig bestimmtes, unveränderliches Maß herstellen, das bei etwaigem Verlust jederzeit mit völliger Sicherheit und Genauigkeit in der Natur wiedergefunden werden könnte. Man wollte die Forderungen erfüllen, die wir auch heute noch an jedes Maß stellen müssen. Ob das möglich ist, zeigt recht anschaulich ein Blick auf den weiteren Verlauf der Entwicklung unseres Maßsystems. Zur Zeit der Einführung des französischen Maßsystems und schon lange vorher stritten hauptsächlich zwei Vorschläge um die Anerkennung, der von Huyghens und derjenige, welcher sich auf die Größe der Erde gründet. Huyghens glaubte im Jahre 1664, daß die Länge des einfachen Sekundenpendels für die ganze Erde konstant sei und deshalb in völlig eindeutiger Weise sicher bestimmt werden könne. Neun Jahre später beobachtete Richer[8]), daß ein Sekundenpendel, welches in Paris richtig ging, in Cayenne um $1^1/_4$ Linien verkürzt werden mußte. Daraus schloß Huyghens, daß die Schwerkraft und die Länge des einfachen Sekundenpendels sich mit der geographischen Breite veränderten. Es konnte also von dieser Zeit an nur noch die Länge des einfachen Sekundenpendels für einen bestimmten Ort der Erde als Maßstab in Frage kommen. Wenn man aber glaubte, damit einen unveränderlichen und jederzeit mit völliger Genauigkeit wiederherstellbaren Maßstab gefunden zu haben, so war das ein Irrtum. Denn zunächst ist die Schwere an irgend einem bestimmten Orte der Erde keine völlig konstante Größe, weil die Erdoberfläche nicht unveränderlich ist. Dann ist weiter die Länge des einfachen Sekundenpendels kein unmittelbares Naturmaß, keine in der Natur unmittelbar gegebene Größe, sondern eine Länge, welche erst durch Messungen bestimmt werden muß. Das Resultat dieser Messungen hängt von der Güte der Instrumente, von der Gewandtheit und Umsicht des Messenden und von der Kenntnis derjenigen Bedingungen ab, welche das Resultat beeinflussen. Es ist also die Länge des einfachen Sekundenpendels selbst für einen bestimmten Ort der Erde keine eindeutig bestimmte Größe. Verschiedene Messungen werden verschiedene Resultate liefern,

---

[1]) Böckh, Metrologische Untersuchungen über Gewichte, Münzfuße und Maße des Altertums, Berlin 1838, S. 25—45, S. 200—221.

[2]) Böckh, a. a. O., S. 210.

[3]) Bessel, a. a. O., S. 276.

[4]) Huyghens, Horologium oscillatorium sive de motu pendulorum ad horologia optato.

[5]) Gabriel Mouton, Observationes diametrorum, Lyon 1670, p. 427.

[6]) Andr. Böhm, Acta phil. med. Societatis acad. scient. principalis, 1771.

[7]) Fr. S. Wild, Essay sur une mesure universelle, 1801.

[8]) J. Richer, Observations astronomiques et physiques faites en l'Isle de Cayenne, Paris 1673.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

bei einem etwaigen Verlust der in Gebrauch befindlichen Normalmaße würden die neu angefertigten von den alten in schwer kontrollierbarer Weise abweichen. Borda[1]) hat im Jahre 1792 mit außerordentlichem Scharfsinn in meisterhafter Weise die Länge des einfachen Sekundenpendels bestimmt und im Jahre 1818 Kater[2]) in gleich vollkommener Weise für London, um die Länge des Standard Yard mit der Länge des einfachen Sekundenpendels zu vergleichen. Trotz ihres außerordentlichen Scharfsinnes haben aber beide Forscher mehrere Fehlerquellen nicht zu erkennen vermocht. Man kannte damals noch nicht den Einfluß der Aufhängevorrichtung auf die Schwingungsdauer, auf welchen zuerst Laplace[3]) aufmerksam gemacht hat, und welcher durch Bessel[4]) und Defforges[5]) genau bestimmt worden ist. Ferner berechnete man den Einfluß der umgebenden Luft auf die Schwingungsdauer des Pendels auf Grund einer falschen Theorie. Hier hat Bessel[6]) zuerst auf den Fehler hingewiesen, eine richtige Theorie der störenden Einwirkung des umgebenden Mittels geliefert und zugleich gezeigt, wie man durch geeignete Konstruktion des Reversionspendels den Luftwiderstand unschädlich machen kann. Endlich kannte man den Einfluß nicht genügend, welchen das Mitschwingen des Pendelträgers auf die Schwingungsdauer ausübt, ein Einfluß, der zwar schon von Kater vermutet wurde, aber doch erst neuerdings genauer festgestellt worden ist. Hätte man also die Länge des einfachen Sekundenpendels als Maßeinheit gewählt, so würde die Bestimmung seiner Länge etwa durch Huyghens, Borda, Kater, Bessel und in der Gegenwart verschiedene Werte liefern. Wollte man den Gedanken eines Naturmaßes streng durchführen, so müßte man bei jeder späteren Messung die vorhandenen Maße umändern und würde trotzdem niemals eine Maßeinheit erhalten, welche genau und eindeutig ihrer Definition entspricht. Da aber ferner schon die geringste Veränderung der einmal benutzten Maßeinheiten mit den allergrößten Unzuträglichkeiten verknüpft ist, so wird sich kein Staat zu häufigen Veränderungen entschließen, sondern die einmal festgestellte Maßeinheit beibehalten, auch wenn sie das beabsichtigte Naturmaß nicht darstellt. Unser tatsächlich gebrauchtes Metermaß verwirklicht nun ebensowenig wie die Länge des einfachen Sekundenpendels den Gedanken eines Naturmaßes und ist ebensowenig eine eindeutig bestimmte und unveränderliche Größe. Eine kurze historische Betrachtung zeigt das recht anschaulich. Zur Bestimmung des Meters waren in den Jahren 1791 und 1792 Kommissionen von französischen Gelehrten ernannt worden: Berthollet, Borda, Brisson, Coulomb, Delambre, Hauy, Lagrange, Laplace, Méchain, Monge, Prony und Vandermonde, welche in den Jahren 1792 bis 1799 eine grossartige Gradmessung zwischen Formentera und Dünkirchen ausführten und auf dieser Grundlage und unter der Annahme, daß die Erde ein Rotationsellipsoid sei, dessen Abplattung $^1/_{334}$ betrage, die Länge eines Quadranten berechneten. Man fand 5 130 740 Toisen. Durch ein Gesetz vom 10. Dezember 1799 wurde der zehnmillionte Teil dieser Länge als mètre vrai et définitif festgelegt. Die Bezeichnung „vrai“ ist jetzt nicht mehr haltbar. Eine beträchtliche Zahl von späteren Gradmessungen hat gezeigt, daß die Erde nicht die regelmäßige Gestalt eines Sphäroides besitzt. Bessel hat diesen Umstand berücksichtigt und aus zehn späteren Gradmessungen als wahrscheinlichen Wert für die Länge eines Quadranten 565 Meter mehr gefunden als die französische Kommission.[7]) Weitere Messungen haben sogar einen Unterschied von 858 m ergeben. Wollte man diesen besseren Messungen entsprechend das Meter abermals als den zehnmillionten Teil des Quadranten neu herstellen, so müßte es um 0,0565 mm bez. 0,0858 mm verlängert werden. Durch die Bezeichnung „définitif“ ist aber ausgesprochen worden, daß das einmal als Normalmaß festgesetzte Meter keine späteren Berichtigungen erfahren soll. Diese Bestimmung beugt zwar einem unheilvollen Schwanken des Maßsystems vor, giebt aber zugleich den Charakter des Meters als eines Naturmaßes preis. Die Ungenauigkeiten bei der Bestimmung des Meters

---

[1]) Cassini de Thury, Mémoire sur les expériences faites par Borda sur la longueur du pendule. Mém. de Paris, 1792.

[2]) Kater, An account of experiments for determining the length of the pendulum vibrating seconds in the latitude of London, Phil. Transactions 1818.

[3]) Laplace, Sur la longueur du pendule à secondes, Ann. de Chim., III. 1816.

[4]) Bessel, Untersuchungen, Beilage IX.

[5]) Defforges, Verhdl. der perm. Kommission der internat. Erdmessg. 1890.

[6]) Bessel, Untersuchungen, S. 63 und Astron. Nachrichten, 1858: Konstruktion eines symmetrisch geformten Pendels mit reziproken Axen.

[7]) Bessel, Ueber Maß und Gewicht im Allgemeinen, Pop. Vorl. 1848, S. 295.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

haben verschiedene Ursachen. Zu der Unmöglichkeit, den Quadranten eines Meridians vollständig zu messen, weil die Pole unzugänglich sind, und zu der Unsicherheit der Kenntnisse über die Gestalt irgend eines Meridians treten die ungeheuren Schwierigkeiten einer Gradmessung hinzu, welche rein äußerlich dadurch ausgedrückt werden, daß eine Kommission von vielen hervorragenden Gelehrten eine Reihe von Jahren brauchte, um ungefähr den fünfzehnten Teil eines Meridians zu messen. Es muß die ganze Strecke zwischen den Endpunkten einer Gradmessung mit einem Netz von Dreiecken überdeckt werden, welche auf trigonometrischem Wege zu bestimmen sind. Für die Endpunkte selbst müssen durch astronomische Beobachtungen die Polhöhen und daraus die Breitenunterschiede ermittelt werden. Zu den geringen Ungenauigkeiten von Streckenmessungen treten bei jeder Gradmessung die viel größeren Unsicherheiten von Winkelmessungen und von astronomischen Messungen hinzu.

Ein Vergleich der beiden erwähnten Naturmaße fällt hiernach zu Gunsten des Sekundenpendels aus. Wenn es möglich wäre, jede der beiden Längen für einen gegebenen Zeitpunkt genau und mit gleicher Leichtigkeit zu bestimmen, so wären beide in gleicher Weise zur Definition der Längeneinheit vorzüglich geeignet, wenn man nicht gegen das Sekundenpendel den Grund anführen will, welcher bereits bei Einführung des Meters von Borda, Condorcet, Lagrange, Laplace und Monge geltend gemacht wurde, daß nämlich bei seiner Wahl die Reinheit des räumlichen Maßsystems durch ein fremdes Element, durch die Zeit, gestört wird. An und für sich besitzen beide Größen ungefähr denselben Grad der Unveränderlichkeit. Die Länge eines Meridians ändert sich im Laufe von Jahrhunderten infolge der Zusammenziehung der Erde und infolge von Hebungen und Senkungen ihrer Oberfläche nur um einen kleinen Betrag. Aehnlich verhält es sich mit der Länge des Sekundenpendels, welche für einen bestimmten Ort ebenfalls von der Größe und Gestalt der Erde abhängig ist. Da uns aber diese objektiv nahezu konstanten Größen nicht gegeben sind, sondern erst durch Messung festgestellt werden, so handelt es sich hauptsächlich darum, welche von beiden Längen am sichersten und leichtesten gemessen werden kann. In dieser Hinsicht besitzt das einfache Sekundenpendel einen unzweifelhaften Vorzug gegenüber einem Meridian.

Entsprechende Betrachtungen können über jedes Naturmaß angestellt werden. Wir müssen noch kurz darauf eingehen, weil bis in die neueste Zeit immer wieder neue Naturmaße vorgeschlagen worden sind, z. B. die Wellenlänge einer homogenen Lichtsorte wie etwa der Natriumlinie oder die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes oder der Elektrizität im Vakuum.[1]) Diese Größen sollen wirklich konstant und deshalb zur Definition der Längeneinheit besonders geeignet sein. Dem gegenüber ist zu betonen, daß diese Längen uns nicht unmittelbar gegeben sind, sondern erst durch Messung erworben werden. Dabei treten wieder die unvermeidlichen Fehler auf, die bei jeder Messung sich einstellen, und die bei den zuletzt erwähnten Beispielen größer sind, als sie bei genauen Längenmessungen gestattet werden können. Es kann z. B. die Geschwindigkeit des Lichtes nur mit einer Genauigkeit von ungefähr $^1/_5$ % gemessen werden, während die Genauigkeit einer Längenmessung weit darüber hinaus, bis auf etwa $^1/_{10000}$ % gesteigert werden kann. Wollten wir also z. B. mit Hilfe der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes die Längeneinheit festsetzen, so wäre diese innerhalb weiter Grenzen unbestimmt und deshalb wenigstens zu wissenschaftlichen Messungen ganz unbrauchbar. Dieser Mangel könnte auch durch keinen Fortschritt der Messungsmethoden beseitigt werden. Denn in demselben Grade wie die zusammengesetzten Methoden, welche zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit dienen, würden auch die einfachen Längenmessungen an Vollkommenheit gewinnen, so daß diese immer einen großen Vorsprung gegenüber komplizierten Messungsmethoden besitzen werden. Es würden also die erwähnten Naturmaße zur Bestimmung der Längeneinheit selbst dann ungeeignet sein, wenn sie wirklich völlig unveränderlich wären, weil wir nicht imstande sind, uns diese unveränderlichen Längen zu verschaffen und sie selbst zu benützen. Aber man kann sogar die objektive Unveränderlichkeit dieser Naturmaße bezweifeln. Trotz der geringen Genauigkeit solcher Messungen wissen wir doch, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes und die Wellenlänge einer bestimmten Lichtsorte vom Brechungskoefficienten abhängig sind, daß sie ferner von magnetischen und von elektrischen Kräften beeinflußt werden. Hätten wir genauere Messungsmethoden, so würden wir aller

[1]) Volkmann, Einführung in das Studium der theoret. Physik, § 22, S. 52.



Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Wahrscheinlichkeit nach eine Abhängigkeit von noch anderen Größen feststellen können. Je mannigfaltiger aber diese Abhängigkeit ist, desto schwieriger wird es, die Bedingungen so zu gestalten, daß die abhängige Größe zu verschiedenen Zeiten genau dieselben Werte annimmt. Selbst wenn wir für die Wellenlänge und für die Geschwindigkeit des Lichtes nur eine Abhängigkeit von der Dichtigkeit des Mittels annehmen, dürfte es für zwei verschiedene Versuche unmöglich sein, völlig identische Bedingungen herzustellen. Die erwähnten Naturmaße würden also nicht genau eindeutig bestimmt und unveränderlich sein. Die aus dieser Ursache entspringenden Verschiedenheiten würden allerdings von so geringem Betrage sein, daß sie weit innerhalb der übrigen Messungsfehler liegen würden und deshalb vernachlässigt werden könnten.

Aus den vorstehenden Betrachtungen erhellt, daß überhaupt kein Naturmaß zur eindeutigen Bestimmung der Längeneinheit brauchbar ist. Für den zehnmillionten Teil des Erdquadranten hat man das längst eingesehen. Auch hat schon Bessel[1]) darauf aufmerksam gemacht, daß irgend ein anderes Naturmaß ebenfalls nicht eindeutig bestimmt ist. Weil aber trotzdem immer wieder Naturmaße vorgeschlagen werden und ihnen das Prädikat vollkommener Unveränderlichkeit zugesprochen wird, so erschien es mir nicht überflüssig, abermals darauf hinzuweisen, daß diese Vorschläge unbrauchbar sind. Tatsächlich liegt unseren Messungen auch kein Naturmaß zu Grunde, sondern das im Archiv zu Paris aufbewahrte Urmaß. Ursprünglich hatte man im Jahre 1799 auf Grund der schon erwähnten großartigen Gradmessung ein Urmaß aus Platin angefertigt, das aber seiner geringen Härte und seines kleinen Querschnittes wegen zu biegsam und deshalb schwer kontrollierbaren Veränderungen seiner Länge ausgesetzt war und sich auch sonst nicht als zweckmäßig zur Anfertigung von Kopieen erwies. Es sind deshalb in den Jahren 1874 und 1875 auf Grund des schon vorhandenen Urmeters neue, zweckmäßigere Urmeter hergestellt worden und zwar aus Platin-Iridium und von einem Querschnitt, bei welchem nur sehr geringe Biegungen eintreten. Wenn man nun außerdem das Urmaß in dem internationalen Maß- und Gewichtsbureau in Paris mit den denkbar besten Schutzvorrichtungen umgeben hat, so ist zwar alles geschehen, was gegenwärtig in menschlichen Kräften steht, um ein Urmaß zu erhalten, das auch im Laufe von Jahrhunderten sich sehr wenig verändert, aber es ist doch unmöglich, dasselbe gegen alle äußeren Einflüsse abzuschließen. Es werden z. B. zwei Maßstäbe aus derselben Legierung von 90% Platin und 10% Iridium, bei denen heute durch die genauesten Messungen kein oder ein ganz bestimmter Unterschied in der Länge wahrzunehmen ist, nach einer gewissen Zeit ein anderes Längenverhältnis besitzen. Temperaturveränderungen des einen lassen Nachwirkungen zurück. Er wird beim Zurückführen auf die frühere Temperatur nicht wieder die ursprünglichen Dimensionen annehmen. Ferner lassen sich besonders bei den sogenannten Endmaßen Berührungen und das Ansetzen von Fühlhebeln nicht vermeiden, wenn die einzelnen Normalmaßstäbe mit einander verglichen werden. Und das muß der Genauigkeit der Messungen wegen nach gewissen Zeiträumen geschehen. Dadurch entstehen Beschädigungen des Urmaßes. Wir können es auch dem Einfluß von mancherlei anderen physikalischen und chemischen Kräften nicht entziehen. So gering die Wirkungen sein mögen, so sind sie doch immer vorhanden, ohne daß wir ihre Größe genau bezeichnen könnten. Wie das Schicksal eines Menschen in seinem Charakter, so läßt die Vorgeschichte eines Körpers Spuren in seinen physikalischen Eigenschaften zurück. Also ist es ganz unmöglich, einen Maßstab herzustellen, der im Laufe der Zeiten sich nicht verändert. Die Forderung, die wir an jeden Maßstab stellen, dass er eindeutig bestimmt und absolut unveränderlich sei, läßt sich niemals vollständig befriedigen. Bei allen Definitionen und praktischen Herstellungen von Maßstäben kann es sich nur darum handeln, die erwähnten Forderungen so gut als möglich zu erfüllen.

Was heißt es nun aber, die Länge des Urmaßes ist veränderlich? Die Antwort scheint sehr einfach zu sein und ist es doch nicht. Das kommt uns deutlich zum Bewußtsein, wenn wir uns die Frage vorlegen, was es heißt, die Länge irgend eines Gegenstandes verändert sich oder sie bleibt konstant. Wir nehmen dabei zum Vergleich einen Maßstab von unveränderlicher Länge an. Schreiben wir einem Gegenstand zu verschiedenen Zeiten verschiedene oder dieselbe Länge zu, so heißt das, er besitzt bei verschiedenen Messungen ein verschiedenes

[1]) Bessel, Ueber Maß und Gewicht im Allgemeinen. Pop. Vorlesg., S. 286—294.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

oder dasselbe Längenverhältnis zu dem als unveränderlich angenommenen Maßstab. Dieser ursprüngliche Sinn verliert aber seinen Inhalt, wenn wir von der Längenänderung oder von der Konstanz des Urmaßes reden. Da fehlt uns der konstante Maßstab, dem gegenüber das Urmaß seine Länge verändert oder konstant erhält. Wären wir in seinem Besitze, so würden wir ihn jedenfalls zum Urmaß bestimmen und dann wieder für die Kontrolle seiner Veränderungen eine gleichsam höhere Instanz notwendig haben, während doch nach Definition das Urmeter selbst die höchste Instanz für alle Längenmessungen bilden soll. Es kann auch nicht direkt die Länge des Urmaßes zu einer bestimmten Zeit mit seiner Länge zu irgend einer anderen Zeit verglichen werden. Welchen Sinn hat es nun zu sagen, das Urmeter ist konstant geblieben, und welchen, es hat seine Länge verändert? Wo ist der konstante Maßstab, durch dessen Vergleich mit der zu messenden Größe wir unsere Urteile über die Größe von Gegenständen erst bilden? Da er bei Urteilen über die Konstanz sowohl wie über die Veränderung des Urmaßes uns fehlt, so scheinen solche Urteile inhaltlos zu sein. In der Tat verlieren sie ihre ursprüngliche Bedeutung. Wollen wir sie als inhaltlos nicht ganz aufgeben, so müssen wir ihnen eine neue Bedeutung beilegen. Dazu dient die folgende Ueberlegung: Wir wissen, daß bestimmte Einwirkungen die Länge eines Körpers, d. h. sein Längenverhältnis zu dem vorläufig als konstant angenommenen Urmaß verändern. Da nun dieses selbst solchen Einwirkungen ausgesetzt ist, wenn auch nur in sehr geringem Grade, so folgt aus dem Prinzip der Stetigkeit, daß es sein Längenverhältnis zu einem Maßstab ändert, von dem wir annehmen, daß er keinerlei äußeren Einwirkungen, die auf die Länge Einfluß haben, unterworfen ist. Eine solche Festsetzung hat eine gewisse praktische Bedeutung, obgleich der völlig unveränderliche Maßstab nirgends vorhanden ist. Denn er existiert nur in unseren Gedanken, Vergleichungen und Messungen lassen sich direkt mit ihm nicht ausführen. Trotzdem ist es möglich, wenigstens einige Aussagen über die Längenänderungen des Urmaßes in Rücksicht auf diesen ideellen, absolut unveränderlichen Maßstab zu machen. Man kann experimentell die Ursachen ermitteln, durch welche die Länge der Körper verändert wird, und die Gesetze, nach welchen diese Veränderungen erfolgen, unter Benutzung irgend eines vorläufig als konstant angenommenen praktischen Urmaßes. Will man dann das Verhalten dieses Urmaßes zu dem idealen, absolut unveränderlichen Maßstab angeben, so muß man alle Ursachen, welche die Länge beeinflussen, messend verfolgen und darauf fußend die Längenänderungen selbst auf Grund von Naturgesetzen berechnen. Diese Methode wird schon lange angewendet, z. B. für Längenänderungen, welche eine Folge von Temperaturschwankungen sind. Aber sie ist nicht immer brauchbar, z. B. bei den zahlreichen Einwirkungen, die sich der direkten Beobachtung entziehen. Ob ein Körper von Kräften beeinflußt wird, welche seine Länge verändern, erfahren wir in vielen Fällen erst aus der Längen- oder Formänderung des Körpers. Wenn ein Maßstab länger oder kürzer wird, sich biegt oder zerbricht, so schließen wir meistens rückwärts auf Kräfte, welche als Ursachen bezeichnet werden, besitzen aber in den meisten Fällen kein Mittel, um unabhängig von der beobachteten Veränderung des Körpers die Ursachen zu erkennen. Und selbst wenn das geschehen kann, so fehlen vielfach die Gesetze, nach welchen die Längenänderungen von ihnen abhängen. Obgleich die Auffindung solcher Gesetze in einer ungewissen Zukunft möglich ist, so können wir doch niemals eine absolute Genauigkeit erreichen, weil Längenmessungen dabei notwendig sind und ein Maßstab, dessen Längenänderungen genau bekannt sind, während derselbe mit Hilfe dieser noch nicht vorhandenen Gesetze erst ermittelt werden soll. Wir können aber durch Auffindung neuer, zunächst nicht ganz zuverlässiger Gesetze lernen, die Abweichungen unserer praktischen Maßstäbe von dem idealen, absolut unveränderlichen Maßstabe immer genauer anzugeben, und auf Grund dieser erweiterten Kenntnisse über das Verhalten unserer Maßstäbe zu einer Vervollkommnung der Beziehungen und Gesetze gelangen. So kommen wir auf diesem Wege mit dem Fortschritte der Wissenschaften dem Ziele immer näher, ohne es indessen jemals vollständig zu erreichen.

Ein anderes praktisch wohl etwas leichter durchführbares Verfahren besteht darin, daß man bei der Anfertigung und dem Gebrauch von Urmaßen sein Augenmerk hauptsächlich darauf richtet, alle Einflüsse, welche erfahrungsgemäß die Länge eines Körpers verändern, fern zu halten und für das Urmaß selbst ein Material und eine Form zu wählen, welche gegen solche Einflüsse möglichst unempfindlich sind. Es kann dann erreicht werden, daß die Abweichungen unserer Urmaße von dem idealen, absolut unveränderlichen Maßstabe außerhalb



Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

der Grenzen unserer Beobachtungen liegen, daß sie kleiner sind als die übrigen unvermeidlichen Beobachtungsfehler. Auch kann man von mehreren Urmaßen, welche mit derselben Sorgfalt konstruiert und in verschiedener Umgebung aufbewahrt werden, durch wiederholte Vergleichung das Verhalten zu dem idealen Maßstab einigermaßen feststellen.

Allen unseren Messungen schwebt also ein idealer, unveränderlicher Maßstab vor, der zwar nirgends vorhanden ist, der aber als ein ideales Gebilde aus der Wirklichkeit abstrahiert werden kann, dem wir unsere praktischen Maßstäbe möglichst anzunähern versuchen und der unentbehrlich ist, wenn wir gewissen Ausdrucksweisen über die Konstanz oder über die Veränderlichkeit unserer Urmaße einen verständlichen Sinn beilegen wollen. Betont man andererseits, daß wir bei allen Messungen ein Urmaß zu Grunde legen, das stets als letzte Instanz gilt, für dessen Konstanz sowohl wie für dessen Veränderlichkeit eine ganz zuverlässige Kontrolle ausgeschlossen ist, so müssen wir alle Längenmessungen als relativ bezeichnen. Sie beziehen sich auf ein bestimmtes Urmaß und würden anders ausfallen, wenn wir ein Urmaß von möglichst gleicher Länge aus einem anderen Material und in anderer Form benützen würden. Ob wir unsere Längenmessungen als absolut oder als relativ bezeichnen, hängt also ganz von dem Gesichtspunkt ab, von welchem aus wir sie betrachten. Relativ nennen wir sie, wenn wir ihre Beziehung zu und ihre Abhängigkeit von dem gewählten, veränderlichen Maßstab betonen. Absolut können wir sie nennen, wenn wir bedenken, daß nicht ein jeder beliebig veränderliche Maßstab brauchbar ist, sondern nur einer, der sich dem Ideale eines absolut unveränderlichen Maßstabes am meisten nähert, und dessen Abweichungen von diesem Ideale mit großer Genauigkeit festgestellt werden können.

In enger Beziehung zu diesen Gedanken stehen zwei Axiome, welche die Grundlage aller Raummessungen bilden, aber doch erst in der Neuzeit als solche erkannt worden sind: Die Länge einer Strecke ist unabhängig von dem Orte, und sie ist unabhängig von der Zeit. Die erste dieser beiden Hypothesen findet sich bereits im Jahre 1863 in Houël's Schrift Essai critique sur les principes fondamentaux de la Géométrie élémentaire an mehreren Stellen ausgesprochen und war auch schon vorher von anderen Schriftstellern angedeutet worden. Ich stütze mich auf die 2. Auflage des genannten Werkes. „Une figure peut être transportée d'une manière quelconque, dans son plan ou, plus généralement, dans l'espace, sans qu'aucun de ses éléments, distances mutuelles ou angles, change de grandeur.“ [1]) „La Géométrie est fondée sur la notion indéfinissable et expérimentale de la solidité ou de l'invariabilité des figures.“ [2]) „La Géométrie est fondée avant tout sur l'hypothèse de l'existence d'un espace immobile et indéfini, dans lequel on peut conserver l'indication du lieu occupé à un instant donné par un corps, et où les corps géométriques peuvent se déplacer en gardant identiquement les propriétés qui correspondent à la notion physique de solidité. On admet que deux corps solides, qui ont pu tour à tour coïncider avec un troisième, sont susceptibles de coïncider entre eux, dans quelque partie de l'espace qu'on les transporte l'un et l'autre.“ [3]) Die Hypothese über die Unabhängigkeit einer Strecke vom Orte ist durch die Untersuchungen von Gauß, Riemann und Helmholtz über das Krümmungsmaß von Flächen in eine neue Beleuchtung gerückt worden. Maßgebend ist dabei die Einteilung der Flächen in solche mit konstantem Krümmungsmaß, wie z. B. Ebene, Kugelfläche, Zylindermantel, Kegelmantel, und solche mit veränderlichem Krümmungsmaß, wie z. B. das Ellipsoid, das Hyperboloid und das Paraboloid. Auf jenen Flächen können Figuren ohne Dehnung verschoben werden, auf diesen nicht. Zwei zusammenfallende, also zwei gleiche Strecken, welche auf einem Ellipsoid zu verschiedenen Figuren gehören, werden nach der Verschiebung nicht mehr gleich sein. Die Länge einer Strecke ist auf einer solchen Fläche von dem Orte abhängig. Besonders im Anschluß an Untersuchungen und Aussprüche Riemanns ist die Frage aufgeworfen worden, ob nicht auch unser Raum ein veränderliches Krümmungsmaß besitzen könne, wenn nicht für endliche Raumteile so doch vielleicht im Unendlichkleinen. Bei der Bejahung dieser Frage würde dann auch die Länge einer Strecke, welche sich an einem Körper befindet, von ihrem Orte und eventuell auch von ihrer Richtung und von vorausgehenden Drehungen abhängig sein, es würden zwei sich deckende Strecken nicht an jedem Orte des Raumes zur Deckung gebracht werden können. „Mais il ne

[1]) A. a. O. S. 16.
[2]) A. a. O. S. 41.
[3]) A. a. O. S. 67.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

serait pas absurde a priori de supposer l'existence d'un espace dans lequel ce transport serait impossible sans une déformation plus ou moins profonde, exactement comme cela a lieu pour une figure tracée sur un cône ou sur un ellipsoïde." [1]) Aehnliche Hypothesen sind von Riemann und Helmholtz als zulässig hingestellt worden. Helmholtz hat besonders noch auf die beiden Möglichkeiten hingewiesen, daß bei Ortsveränderungen entweder alle oder aber die entsprechenden Dimensionen der Körper die gleichen Veränderungen erleiden. „Ich erinnere zunächst daran, daß, wenn die sämtlichen linearen Dimensionen der uns umgebenden Körper und die unseres eigenen Leibes mit ihnen in gleichem Verhältnisse, z. B. alle auf die Hälfte verkleinert oder alle auf das doppelte vergrößert würden, wir eine solche Aenderung durch unsere Mittel der Raumanschauung gar nicht würden bemerken können. Dasselbe würde aber auch der Fall sein, wenn die Dehnung oder Zusammenziehung nach verschiedenen Richtungen hin verschieden wäre, vorausgesetzt, daß unser eigner Leib in derselben Weise sich veränderte und vorausgesetzt ferner, daß ein Körper, der sich drehte, in jedem Augenblick ohne mechanischen Widerstand zu erleiden oder auszuüben, denjenigen Grad der Dehnung seiner verschiedenen Dimensionen annehme, der seiner zeitigen Lage entspricht." [2]) Bei jeder dieser beiden Annahmen würde die Gleichheit von zwei Strecken vom Orte unabhängig sein, zwei sich deckende Strecken würden an jeder Stelle des Raumes zur Deckung gebracht werden können. Helmholtz ist der Meinung, daß wir über die Zulässigkeit dieser beiden Hypothesen nur auf Grund von mechanischen Betrachtungen entscheiden können. Nach ihm ist es wesentlich der physikalische Begriff der Festigkeit, welcher diese beiden Annahmen zu Falle und eine dritte uns geläufige Hypothese zur Geltung bringt, daß nämlich die Dimensionen eines Körpers überhaupt vom Orte unabhängig sind. [3]) Etwas abweichend von dieser Anschauung vertritt Houël den Gedanken, daß wir über die Unveränderlichkeit der Größe der Körper durch die Erfahrung belehrt werden. „L'ideé de l'invariabilité de forme nous vient de l'expérience." [4]) Dabei soll die Identität der Sinneseindrücke, welche derselbe Körper bei verschiedenen Lagen in uns hervorruft, eine Rolle spielen. Es wird besonders dem Auge die Fähigkeit zugesprochen, diese Identität der Sinneseindrücke festzustellen. „Nous constatons que certains corps, ceux surtout qui offrent au toucher le plus de résistance, nous présentent toujours, de quelque manière qu'on les déplace, des dimensions et des configurations que nous jugeons être les mêmes, c'est-à-dire qui, appréciées d'après le mouvement de l'oeil, en tenant compte de la distance, nous causent des impressions toujours identiques." [5])

Wenn Helmholtz sowohl wie Houël als allein zulässige Hypothese schließlich die aussprechen, daß die Dimensionen eines Körpers und somit auch die Länge einer Strecke von jeder Ortsveränderung unabhängig sind, so wird man ohne weiteres zustimmen können. Es ist eine Annahme, welche wohl noch niemals ernstlich in Zweifel gezogen worden ist, sondern zu allen Zeiten einer jeden Naturbetrachtung zu Grunde gelegt wurde. Dagegen ist es mir unmöglich, weder die von Helmholtz noch die von Houël gegebene Begründung der Hypothese anzuerkennen. Wäre der physikalische Begriff der Festigkeit entscheidend, so hätten wir keinen Grund, die erwähnte Hypothese auch bei den nicht festen, bei den flüssigen und gasförmigen Körpern aufrecht zu halten. Wir brauchten dann eben nur für die festen Körper die Unabhängigkeit der Dimensionen vom Orte gelten zu lassen. Das ist aber durchaus nicht der Fall. Wir müssen für die flüssigen und für die gasförmigen Körper dieselbe Annahme machen. Schwanken ihre Dimensionen auch noch so sehr, so halten wir es aus gewissen Gründen doch für unzulässig, in der Ortsveränderung die Ursache zu suchen. Damit stimmt überein, daß auch bei den festen Körpern selbst der Begriff der Festigkeit für die Aufstellung der erwähnten Hypothese nicht ausschlaggebend ist. Ein Körper, welcher Festigkeit besitzt, welcher dem Eindringen eines anderen Körpers, dem Zerreißen, Biegen, Zerbrechen und dergl. einen Widerstand entgegensetzt, könnte gleichwohl bei Ortsveränderungen seine Dimensionen verändern, wenn nicht andere Gründe dagegen sprächen. Ebensowenig kann ich der Ansicht Houël's

---

[1]) Houël, Essai critique, S. 68.

[2]) H. Helmholtz, Ueber den Ursprung und die Bedeutung der geom. Axiome; Vorträge und Reden, 4. Aufl., 2. Bd., S. 24.

[3]) Helmholtz, Vorträge und Reden, 4. Aufl., 2. Bd., S. 29.

[4]) Houël, Essai critique, S. 67.

[5]) Houël, Essai critique, S. 67.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

beipflichten, daß wir durch die Erfahrung bewogen werden, eine Unabhängigkeit der Dimensionen eines Körpers vom Orte anzunehmen. Wäre die Identität der Sinneseindrücke maßgebend, so müßte sie in viel höherem Grade vorhanden sein und uns viel deutlicher zum Bewußtsein kommen, als es tatsächlich der Fall ist. Die verschiedenen Sinneseindrücke, welche derselbe Gegenstand zu verschiedenen Zeiten in uns hervorruft, sind gar nicht identisch. Das könnten sie nur sein, wenn weder der betrachtete Gegenstand, noch seine Umgebung, noch seine Entfernung, noch wir selbst in der Zwischenzeit die geringste Veränderung erlitten hätten. Keine dieser vier Forderungen läßt sich aber mit völliger Genauigkeit erfüllen. Besonders stark sind die Veränderungen der Sinneseindrücke bei wechselnder Entfernung der Gegenstände. Das hat auch Houël gefühlt, und er macht darauf aufmerksam, dass wir der Verschiedenheit der Sinneseindrücke infolge der wechselnden Entfernung Rechnung tragen müssen. Das ist aber nicht möglich, weil unsere Urteile über die Entfernung viel zu unsicher sind und teilweise erst auf der Verschiedenheit der Sinneseindrücke beruhen. Bemerkenswert sind ferner die Veränderungen der Sinneseindrücke bei fortschreitender Entwicklung unseres Organismus. Aber auch die schwankende Umgebung der Körper ist von bedeutsamem Einfluß. Und selbst wenn alle Bedingungen, welche für das Zustandekommen von identischen Sinneseindrücken notwendig sind, erfüllt werden könnten, so fehlt uns die Fähigkeit, uns dieser Identität mit Sicherheit unmittelbar bewußt zu werden. Unser Geist besitzt nicht die Fähigkeit, die Identität eines gegenwärtigen Sinneseindrucks mit einem früheren unmittelbar zu verbürgen. Wir sind nur imstande, innerhalb ziemlich weiter Grenzen ungefähr die Gleichheit festzustellen. Wir nehmen aber nicht eine ungefähre, sondern eine vollständig genaue Unabhängigkeit der Dimensionen eines Körpers vom Orte an. Unsere Ueberzeugung ruht hier auf festeren Grundlagen als den von Helmholtz und Houël bezeichneten.

Weil die ganze Frage für das Messen von Strecken von grundlegender Bedeutung ist, so dürfte es zweckmäßig sein, die Zulässigkeit und die Sicherheit der einzelnen Hypothesen einmal genauer zu untersuchen. Wie schon erwähnt wurde, hat Helmholtz auf drei Möglichkeiten hingewiesen. Es können bei Ortsveränderungen alle Dimensionen aller Körper die gleichen Veränderungen erleiden. Dann bleiben kongruente Körper an jedem Orte kongruent. Weiter können die Höhen-, die Breiten- und die Tiefendimensionen eines Körpers ein verschiedenes Verhalten zeigen, aber das Verhältnis dieser Veränderungen kann für alle Körper gleich sein. Auch in diesem Falle wäre die Kongruenz von zwei Körpern unabhängig vom Ort. Endlich wäre es möglich, daß die gleichen Dimensionen von verschiedenen Körpern bei Ortsveränderungen sich verschieden verändern, so daß zwei kongruente Körper nach einer Bewegung nicht mehr kongruent sind. Auf Grund der ersten beiden Hypothesen sollen alle gleichen Strecken an jedem Orte kongruent sein und trotzdem bei jeder Bewegung ihre Größe verändern. Da nun keine uns zugängliche Strecke auch nur eine Sekunde lang ihren Ort beibehält, weil alle von uns beobachteten Körper durch den Weltraum fliegen, so giebt es nach dieser Ansicht keine einzige unveränderliche Strecke. Aber was heißt es dann, alle Strecken verändern sich? Nach unserem Sprachgebrauch reden wir von der Veränderung einer Strecke, wenn sie erst mit einer unveränderlichen Strecke zusammenfiel und dann nicht mehr. Das Vorhandensein dieser konstanten Strecke, die zum Vergleiche dient, ist dabei unerläßliche Bedingung. Mit ihrem Entschwinden entgeht uns die Möglichkeit, irgend welche Strecken zu messen und ihre Veränderungen festzustellen. Dabei hat es wenig zu sagen, daß eine vollkommen unveränderliche Strecke nirgends vorhanden ist. Es genügt eine, deren Veränderungen so klein sind, daß sie in den meisten Fällen vernachlässigt werden können. Nur ausnahmsweise bei ganz feinen Messungen werden diese kleinsten Veränderungen des Urmaßstabes berücksichtigt und zwar auf Grund von Naturgesetzen. Weil er unter Einwirkungen steht, von denen wir wissen, daß sie die Länge beeinflussen, so muß auch er seine Länge verändern gegenüber einem idealen Maßstab, welcher solchen Einwirkungen nicht ausgesetzt ist. Wenn hierbei ein tatsächlich vorhandener unveränderlicher Maßstab unmittelbar nicht benutzt wird, so doch mittelbar. Wir müssen ihn voraussetzen, weil wir ohne ihn die Naturgesetze gar nicht aufstellen könnten, durch welche wir Kenntnis von diesen letzten minimalen Veränderungen erhalten. Alle Längenänderungen, von denen wir reden, erlangen erst einen Inhalt durch den Vergleich mit tatsächlich vorhandenen Strecken, die in den meisten Fällen als unveränderlich betrachtet werden, oder durch den Vergleich mit einer idealen, absolut unveränderlichen Strecke, deren

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Begriff mit Hilfe jener tatsächlich vorhandenen Strecken gebildet wird. Also hat es keinen verständlichen Sinn zu sagen, alle Strecken ohne Ausnahme verändern sich mit ihrem Orte. Eine solche Behauptung setzt ein Messen voraus. Dazu ist ein Maßstab notwendig, welcher innerhalb gewisser Grenzen unveränderlich ist, oder dessen Veränderungen gegenüber einem unveränderlichen Maßstab sich bestimmen lassen. Die erwähnten Hypothesen von Helmholtz machen aber einen solchen Maßstab und damit alles Messen unmöglich. In einer Welt, in der sie Gültigkeit hätten, könnte einem solchen Maßstab nur eine transscendentale Realität zugesprochen werden. Sobald wir aber nicht messen können, sind wir auch nicht berechtigt, irgend welche Hypothesen über die Abhängigkeit der Dimensionen eines Körpers von seinem Orte aufzustellen. Solche Hypothesen enthalten versteckt gewisse Forderungen, z. B. diejenige des Messens, welche durch die Hypothese selbst ausgeschlossen werden. Die Tatsache, daß wir messen können, widerspricht ganz entschieden diesen Hypothesen. Lebten wir in einer Welt, wo sie gültig sind, so würden wir sie niemals erkennen, weil wir nicht messen könnten. Es verdient besonders hervorgehoben zu werden, daß Helmholtz seine Hypothesen auf Grund der Kenntnisse aufgestellt hat, die er in unserer wirklichen Welt erworben hat. Er war im Besitze von Maßstäben, die als konstant betrachtet werden. Nur mit ihrer Hilfe läßt sich feststellen, daß Figuren auf Flächen, deren Krümmungsmaß veränderlich ist, nicht ohne Dehnung verschoben werden können. Wenn wir aber unserem ganzen Raume ein veränderliches Krümmungsmaß zuschreiben, so gehen damit auch die konstanten Maßstäbe verloren, die für jedes Messen unentbehrlich sind. Befänden wir uns in einer solchen Welt, wie sie Helmholtz als möglich bezeichnet, so würden wir weder den Begriff der konstanten noch den der veränderlichen Länge bilden können, alle Geometrie und Physik würden unmöglich sein. Wenn Helmholtz sehr ausführlich und ins einzelne gehend Aussagen über die Erfahrungen eines Wesens in einer solchen Welt macht,[1]) so ist darauf zu erwidern, daß er in Wirklichkeit nicht die Erfahrungen eines Wesens angibt, das in einer solchen Welt lebt, sondern seine eignen Erfahrungen, die Erfahrungen eines Mannes, der beide Welten zugleich übersieht, unsere tatsächlich vorhandene und die von ihm fingierte, der die fingierte Welt mit den Kenntnissen und Erfahrungen beurteilt, die er in unserer Welt erworben hat. Lebten wir aber wirklich in dieser fingierten Welt, so würden wir die Erfahrungen, so wie sie Helmholtz angibt, gar nicht machen können, weil wir verschiedene Begriffe, die dabei unentbehrlich sind, wie z. B. den eines konstanten Maßstabes, nicht bilden könnten.

Die Hypothese von der Abhängigkeit der Größe eines Körpers von seinem Orte könnte nur dann in Betracht gezogen werden, wenn der Begriff der konstanten Länge und damit zugleich die Möglichkeit des Messens dadurch nicht verloren gingen. Diese Forderung kann indessen nicht erfüllt werden. Zunächst müßte es da absolut ruhende Körper geben. Diese könnten als unveränderliche Maßstäbe verwendet werden. Dergleichen Körper sind uns jedoch völlig unzugänglich. Wir können nicht einmal behaupten, daß es irgendwo in der Welt einen absolut ruhenden Körper gibt. Aber selbst sein Vorhandensein und sogar sein Besitz würden für uns nicht ausreichen, um brauchbare Messungen damit auszuführen. Wir müßten alle zu messenden Gegenstände an den Ort des Maßstabes bringen, könnten nur an diesem einzigen Orte die Messung ausführen und die Größe der Körper für diesen Ort allein angeben, ohne etwas über die Größe an einem anderen Orte aussagen zu können. Ein Versuch in dieser Hinsicht würde eine Ortsveränderung des Maßstabes erfordern. Dabei würde er nach der angenommenen Hypothese seine Länge verändern, ohne daß wir ein Mittel besäßen, um diese Veränderung der Länge zu bestimmen. Dazu wäre ein Maßstab notwendig, welcher bei der Bewegung konstant bliebe. Die Abweichung von ihm würde die mit der Bewegung zusammenhängende Längenänderung bezeichnen. Durch die Hypothese selbst wird aber ein solcher Maßstab als unmöglich hingestellt. Auch läßt sich kein Maßstab erlangen, dessen Abhängigkeit von dem Orte sich irgendwie angeben ließe. Damit entschwindet die Kenntnis irgend welcher Abhängigkeit der Größe der Gegenstände von ihrem Orte. Demnach ruht die erwähnte Hypothese auf einer Grundlage, welche mit ihr selbst in Widerspruch steht.

Wir könnten aber noch weitere Zugeständnisse machen, wir könnten sogar — obgleich es der Hypothese widerstreitet — das Vorhandensein eines an jedem Orte konstanten

[1]) Helmholtz, Vorträge und Reden, 4. Aufl., 2. Bd., S. 24—28.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Maßstabes zugeben und würden trotzdem nicht imstande sein, eine gesetzmäßige Abhängigkeit der Größe der Körper von ihrem Orte jemals festzustellen. Dazu wäre vielmehr weiter nötig, daß sich die Ortsveränderung der Körper in eindeutiger Weise bestimmen ließe. Der konstante Maßstab würde uns zwar in den Stand setzen, die Größenänderungen der Körper bei Bewegungen zu ermitteln. Ein Gesetz in dieser Hinsicht würde aber erfordern, daß wir bei jeder bestimmten Ortsveränderung eines Körpers eine ganz bestimmte Veränderung seiner Größe nachweisen könnten. Diese Möglichkeit bleibt uns jedoch auch dann verschlossen, wenn alle Längenmessungen vollkommen genau ausgeführt werden könnten, weil wir nicht fähig sind, die Ortsveränderungen der Körper im Raume eindeutig anzugeben. Wir können nicht einmal stets mit Sicherheit entscheiden, ob ein Körper ruht oder sich bewegt. Dem naiven menschlichen Bewußtsein freilich, welches unter der unmittelbaren Herrschaft der Sinne steht und über die Voraussetzungen und die Konsequenzen seines Urteils keine Klarheit erlangt, fällt diese Entscheidung gewöhnlich nicht schwer. Ihm ist Bewegung eines Körpers die Ortsveränderung zur nächsten Umgebung, zu dem Hause, in dem wir wohnen, zu den ruhenden Gegenständen der Landschaft, in welcher wir weilen. Dabei werden die Bezugsobjekte, das Haus, die Landschaft u. s. w., als ruhend angenommen. Unsere Sinne reden uns das so vor. Und diese Gegenstände ruhen in der Tat in Rücksicht auf einen größeren Bezugskörper, die Erde. Bei dieser geozentrischen Beziehung bleiben nun die Menschen in den meisten Fällen stehen. Mit Ruhe und Bewegung schlechthin bezeichnen wir gewöhnlich das Verhalten eines Körpers zur Erde, ohne uns dieser Beziehung immer klar bewußt zu werden. Sobald wir aber einsehen, daß die Erde ihre Lage zur Sonne verändert, reift die Erkenntnis, daß Ruhe und Bewegung ein ganz anderes Aussehen erhalten, wenn wir sie auf die Sonne beziehen. Dann ist z. B. ein ruhender Körper auf der Erde überhaupt nicht vorhanden. Weiter schauend sehen wir auch die Sonne nicht ruhen, sondern ihre Lage zu den übrigen Fixsternen beständig verändern, und müssen deshalb abermals unsere Ansichten über Ruhe und Bewegung der Körper umformen. Es erscheint z. B. die elliptische Bewegung der Erde um die Sonne in einer viel komplizierteren Gestalt, wenn wir sie nicht, wie es allgemein üblich ist, auf die Sonne, sondern auf einen anderen Fixstern beziehen. So erkennen wir, daß für die Bestimmung der Bewegung irgend eines Körpers ein zweiter, ein Bezugskörper maßgebend ist, daß wir ohne ihn keine klare Aussage über irgend eine Bewegung machen können, und daß mit seiner Veränderung sich im allgemeinen auch die Eigenschaften der Bewegung verändern. Demselben Körper kann man zu derselben Zeit Ruhe und die verschiedensten Bewegungen zuschreiben. Das richtet sich nach dem Körper, auf welchen wir seinen Ort beziehen. Auch von diesem Gesichtspunkte aus betrachtet verliert der Satz, die Größe eines Körpers ist eine Funktion seines Ortes, jeden verständlichen Inhalt. Die Ortsveränderung eines Körpers ist für jede gegebene Zeit nicht eindeutig bestimmt, sondern sehr vieldeutig. Die Größe eines Körpers zu einer bestimmten Zeit ist aber eindeutig, sobald die Maßeinheit festgelegt ist. Man kann sich nun keine Funktion denken, welche für unzählig viele, in gar keiner Beziehung stehende Ortsveränderungen, die man demselben Körper zu einer gegebenen Zeit zuschreiben kann, immer nur einen einzigen Wert für seine Größe lieferte.

Es gibt aber noch eine andere Ansicht, bei welcher die Ortsveränderung eines Körpers eindeutig bestimmt ist, und wobei man die Abhängigkeit der Größe eines Körpers von seinem Orte dann als eine zulässige Hypothese betrachten könnte, wenn nicht die früher erwähnten Einwürfe bestehen blieben, wenn dabei die konstanten, zum Messen unentbehrlichen Maßstäbe nicht verloren gingen. Das ist die Ansicht von der absoluten Bewegung. Weil wir die meisten Bewegungen auf die Erde beziehen, ohne uns dessen deutlich bewußt zu werden, und weil wir ferner als Bezugskörper bald diesen, bald jenen Gegenstand wählen können, so ist die Meinung entstanden, dass wir überhaupt gar keinen Bezugskörper brauchen. Dazu kommt das vielfach empfundene Bedürfnis, die Bewegungen eindeutig zu bestimmen. Das führt zu dem Gedanken der sogenannten absoluten Bewegung. Andrerseits läßt sich die Erkenntnis nicht zurückweisen, daß zur Charakterisierung einer jeden Bewegung irgend ein Bezugsobjekt unerläßlich ist. Deshalb wird die absolute Bewegung gewöhnlich nicht ohne jede Beziehung hingestellt, sondern im Gegensatz zur relativen Bewegung auf übersinnliche Begriffe bezogen, z. B. von Newton auf den absoluten Raum, — „motus absolutus est translatio corporis de loco absoluto in locum

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

absolutum“ [1]) — von L. Euler [2]) und C. Neumann [3]) „auf irgend einen unbekannten absolut starren Körper,“ — den jener *A*, dieser Alpha nennt — „an irgend einer unbekannten Stelle des Weltraumes“, von Maxwell „auf ein den Raum erfüllendes in ihm festes Mittel.“ [4]) Volkmann bezeichnet dieses Medium als Aether und schreibt ihm ausdrücklich übersinnliche Eigenschaften zu: „Hier erhebt sich die Forderung nach einem übersinnlichen Orientierungselement, wir bezeichnen dieses als den Aether.“ [5]) Schon Newton, dem wir die Lehre von der absoluten Bewegung verdanken, macht die Bemerkung: „Motus quidem veros corporum singulorum cognoscere et ab apparentibus actu discriminare, difficillimum est: propterea quod partes spatii illius immobilis, in quo corpora vere moventur, non incurrunt in sensus. Causa tamen non est prorsus desperata.“ [6]) Newton selbst hat nun für die absolute Rotationsbewegung Unterscheidungsmerkmale angegeben: „Effectus, quibus motus absoluti et relativi distinguuntur ab invicem, sunt vires recedendi ab axe motus circularis. Nam in motu circulari nude relativo hae vires nullae sunt, in vero autem et absoluto majores vel minores pro quantitate motus.“ [7]) Diese Merkmale sind von einer großen Zahl von Forschern als richtig anerkannt und noch weiter vervollständigt worden, z. B. von Kant in den Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaften, viertes Hauptstück, Lehrsatz 2, von Maxwell in Matter and motion, Art. CV und CVI, von Thomson und Tait in dem Handbuch der theoretischen Physik § 245 und § 249, von C. Neumann in der Schrift über die Prinzipien der Galilei-Newton'schen Theorie, S. 27, von Streintz in den Physikalischen Grundlagen der Mechanik, S. 13 bis 20, von Müller-Pouillet in dem Lehrbuch der Physik, I. Bd., S. 18. Ihnen steht eine Reihe von Forschern gegenüber, welche diese Ansicht als falsch bekämpfen, z. B. Huyghens und Leibniz in den Briefen, die sie über diesen Gegenstand gewechselt haben, Berkeley in den Principles of human knowledge, sect. CXIV und De motu, § 60 bis § 65, Mach in dem Buche: die Mechanik in ihrer Entwicklung, S. 222 bis 227, L. Lange in der Schrift: die geschichtliche Entwicklung des Bewegungsbegriffs, S. 64 bis 69. Für unseren augenblicklichen Zweck brauchen wir uns glücklicherweise nicht darum zu sorgen, welche von beiden Ansichten richtig ist. Es genügt vielmehr, daß wir unser Augenmerk der absoluten fortschreitenden Bewegung zuwenden. Newton hält es zwar nicht für gänzlich ausgeschlossen, Klarheit darüber zu erlangen. Beachten wir aber, daß es keinem Forscher gelungen ist, durch bestimmte Merkmale die absolute von der relativen Bewegung zu unterscheiden, daß Männer wie Huyghens, Leibniz, Euler und Kant bei solchem Bemühen sich in Widersprüche verwickelten, so muß die schwache Hoffnung, welche Newton noch hegte, gänzlich verlöschen. Die absolute fortschreitende Bewegung ist dem menschlichen Erkennen verschlossen. Also ist es auch aus diesem Grunde unmöglich, die Abhängigkeit der Größe eines Körpers von seinem Orte festzustellen. Man könnte sogar zugeben, daß es absolute Bewegungen gibt und daß wir in dieser oder jener Hinsicht Aussagen darüber machen können, wie es Höfler [8]) und O. Liebmann [9]) getan haben. Das würde nichts an der Sachlage ändern, so lange wir nicht imstande sind, einzelne bestimmte absolute Bewegungen zu ermitteln und zu erkennen. Das ist aber noch niemals einem Forscher gelungen.

Bei der Aufstellung der Hypothesen von Helmholtz haben jedenfalls Analogieschlüsse eine große Rolle gespielt. Man hat Verhältnisse, die auf Flächen Gültigkeit haben, auf den dreidimensionalen Raum übertragen. Dagegen ist zu bemerken, daß wir bei der Betrachtung jener Flächen, deren Krümmungsmaß veränderlich ist, nicht auf diese besondere Art von Flächen beschränkt sind, sondern zugleich die Flächen mit konstantem Krümmungsmaß und unseren Raum mit seinen unveränderlichen Längenmaßen zum Vergleich heranziehen können.

---

[1]) Newton, Philosophiae naturalis principia mathematica, 2. Ausg., p. 5.

[2]) L. Euler, Theoria motus, § 99 und Reflexions sur l'espace et le tems.

[3]) C. Neumann, Die Principien der Galilei-Newton'schen Theorie, S. 15: „Unter der Bewegung eines Punktes ist nicht etwa seine Ortsveränderung in Bezug auf Erde oder Sonne, sondern seine Ortsveränderung in Bezug auf jenen Körper Alpha zu verstehen.“

[4]) J. Clerk Maxwell, Substanz und Bewegung, Art. XLVIII.

[5]) P. Volkmann, Einführung in das Studium der theoretischen Physik, S. 54.

[6]) Newton, Philos. nat. princ. math., 2. Ausg., p. 10.

[7]) A. a. O. p. 9.

[8]) Höfler, Studien zur gegenwärtigen Philosophie der Mechanik, S. 121 bis S. 160.

[9]) O. Liebmann, Zur Analysis der Wirklichkeit, S. 140 bis S. 144.



Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Dieser Vergleich und die daraus hervorgehenden Hilfsmittel sind bei Aufstellung der Hypothesen von entscheidender Bedeutung. Sie entschwinden uns aber, sobald wir die ganze Welt nach Analogie jener Flächen, deren Krümmungsmaß veränderlich ist, gestaltet denken. Es mag weiter wohl folgender Analogieschluß mitgewirkt haben. Da Temperatur und Druck die Größe eines Körpers beeinflussen, so kann es vielleicht auch die Ortsveränderung tun. Indessen unterscheiden sich die Ortsveränderungen so wesentlich von den zuerst erwähnten Faktoren, daß dieser Schluß völlig hinfällig ist. Außer der schon erwähnten Unmöglichkeit, die Ortsveränderung der Körper eindeutig zu bestimmen, hindert uns der Umstand, daß wir bei Annahme jener Hypothese nicht imstande wären, Körper ausfindig zu machen, welche dem Einfluß der Ortsveränderung nicht ausgesetzt wären. Wenn wir die Abhängigkeit der Größe eines Körpers von der Temperatur nachweisen, so vergleichen wir diesen Körper, welcher einer ganz bestimmten Temperaturveränderung unterworfen wird, mit einem anderen, dessen Temperatur konstant bleibt. Wir besitzen aber nicht die Macht, einen Körper in absoluter Ruhe zu erhalten. Und selbst wenn wir sie hätten, vermöchten wir nicht die Größe eines bewegten Körpers mit diesem absolut ruhenden zu vergleichen.

Entsprechende Bemerkungen lassen sich über das zweite Axiom der Raummessung machen, welches sagt, daß die Größe eines Körpers von der Zeit unabhängig ist. Die entgegenstehende Hypothese führt auch hier zu Widersprüchen und hebt die Möglichkeit alles Messens auf. Sobald wir die Größe eines Gegenstandes als Funktion der Zeit betrachten, verlieren wir den konstanten Maßstab, welcher zum Messen unentbehrlich ist. Wenn der Zeit ein Einfluß in dieser Hinsicht zukäme, so wären ihm alle Körper ohne Ausnahme in jedem Augenblick unterworfen, also auch die zum Messen erforderlichen Maßstäbe. Denn die Zeit steht nie still, sie fließt ohne Unterbrechung dahin, und alle Gegenstände, die wir kennen, sind in der Zeit. Sobald aber die Maßstäbe beständige, unkontrollierbare Veränderungen erleiden, hört alles Messen auf, weil eben beim Messen konstante Maßstäbe gebraucht werden. Mögen wir beobachten, daß eine Strecke im Laufe der Zeiten stets mit einer bestimmten Länge des Maßstabes oder mit verschiedenen Strecken zusammenfällt, wir können bei Annahme der erwähnten Hypothese im ersten Falle nicht sagen, daß die betrachtete Strecke konstant geblieben ist, und in beiden Fällen nicht angeben, ob und welche Veränderung sie erlitten hat, weil wir von den Veränderungen des Maßstabes Kenntnisse weder besitzen noch erlangen können, denn dazu wäre eben ein konstanter Maßstab unentbehrlich. Unter solchen Verhältnissen wird die ganze Hypothese über die Abhängigkeit der Größe der Gegenstände von der Zeit hinfällig. Lebten wir in einer Welt, wo sie gültig ist, so würden wir niemals zu ihrer Kenntnis gelangen.

Selbst wenn wir die Möglichkeit des Messens zugeben, kommen wir aus den Widersprüchen nicht heraus. Bestehen z. B. der Maßstab und der zu messende Körper aus demselben Stoff, so müßten wir für die Größe dieser beiden Körper dieselbe Funktion der Zeit voraussetzen. Die Messungen dieses Gegenstandes würden dann stets dasselbe Resultat liefern. Wir würden also niemals die fragliche Funktion der Zeit kennen lernen und durch die Messungen selbst zu der Annahme geführt werden, daß die Größe dieses Gegenstandes von der Zeit unabhängig ist. Dieselben Folgerungen würden sich für Körper aus beliebigem Material ergeben, wenn wir annehmen würden, daß die Größe aller Körper durch dieselbe vom Material unabhängige Funktion der Zeit dargestellt wird. Machen wir aber diese Funktion vom Material abhängig, so würden wir bei Messungen desselben Körpers verschiedene Resultate erhalten je nach dem Stoff, aus welchem der Maßstab besteht. Es drängt sich also mit Notwendigkeit die Vorstellung auf, daß Ort und Zeit die Größe eines Körpers nicht beeinflussen. Die Annahme des Gegenteils beruht auf Vorstellungen, die einander widersprechen, hebt die Möglichkeit alles Messens auf und führt zu Folgerungen, welche die Hypothese selbst unmöglich machen.

Das Axiom von der Unabhängigkeit der Größe der Körper von Ort und Zeit kann noch durch weitere Gründe gestützt werden; zunächst durch den historischen Hinweis, daß bisher tatsächlich alle Messungen ausnahmslos unter dieser Voraussetzung ausgeführt worden sind, daß Jahrtausende hindurch niemals ein Zweifel an der Richtigkeit sich erhoben hat und erst in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts von Houël, Riemann und Helmholtz die Möglichkeit des Gegenteils behauptet wurde. Weiter kann die früher aufgestellte Forderung, daß alle zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Orten ausgeführten Messungen mit

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

einander vergleichbar sind, nur dann erfüllt werden, wenn sowohl der Maßstab wie die zu messenden Körper von Zeit und Ort unabhängig sind. Wenn wir z. B. die Gleichheit von zwei Strecken an einem bestimmten Orte und zu einer bestimmten Zeit ermittelt haben, so blieben wir ohne Anwendung der erwähnten Axiome im unklaren über ihr Verhältnis zu anderen Zeiten und an verschiedenen Orten. Es müßte in diesem Falle sogar der einfache Identitätsschluß, wenn $a = b$ und $b = c$, so ist $a = c$, mit großer Vorsicht angewendet werden. Die drei Gleichheiten $a = b$, $b = c$ und $a = c$ müßten sich auf dieselbe Zeit und auf denselben Ort beziehen. Eine Prüfung von drei solchen Identitäten für denselben Augenblick und denselben Ort könnte aber gar nicht erfolgen. Ja wir würden schon dem allgemeinen Identitätssatze gegenüber in Verlegenheit kommen. „Jede Länge ist sich selbst gleich“ würde nun lauten müssen: jede Länge ist sich selbst gleich nur für einen bestimmten Augenblick und für einen bestimmten Ort und hat sonst andere Werte. Während wir ferner zwei Größen, die einander gleich sind, stets für einander zu substituieren pflegen, könnte das nun immer nur unter den angegebenen Bedingungen geschehen.

Auf der gleichen Voraussetzung wie die Vergleichbarkeit beruht die Forderung der Genauigkeit der Messungen. Eine genaue Messung ist nicht das Werk eines Augenblickes. Wollen wir z. B. die Gleichheit von zwei Strecken möglichst genau feststellen, so dürfen wir ihre Endpunkte nicht unmittelbar zur Deckung bringen, weil unsere Augen nicht scharf genug sind, um mit genügender Sicherheit das Zusammenfallen der Endpunkte zu verbürgen. Der Physiker bedient sich dabei vielmehr gewisser Meßinstrumente, z. B. der Komparatoren. Die Endpunkte der beiden zu vergleichenden Strecken werden nach einander mit den Endpunkten einer dritten Strecke, welche sich am Komparator befindet, zur Deckung gebracht. Dabei wird das Wahrnehmungsvermögen unserer Augen dadurch außerordentlich gesteigert, daß die kleinsten Abweichungen von der Gleichheit der Strecken durch Fühlhebel sehr vergrößert und damit erst deutlich sichtbar gemacht werden. Behaupten wir dann auf Grund einer solchen Messung die Gleichheit von zwei Strecken, so müssen wir voraussetzen, daß die Größe der Körper von Zeit und Ort unabhängig ist. Nur von zwei gedachten Längen läßt sich die Gleichheit ohne Anwendung der erwähnten Axiome behaupten. Wir können uns die beiden Längen an demselben Orte und zu derselben Zeit zur Deckung gebracht denken. Solche Vorstellungen entsprechen aber nicht den Vorgängen bei genauen Messungen und haben geringe praktische Bedeutung.

Bei allen wirklichen und auch bei allen nur in Gedanken ausgeführten Messungen handelt es sich ferner in wenigen Fällen um die Gleichheit der zu messenden Strecke mit der Einheit. Es entsteht dann die Aufgabe zu untersuchen, wie oft die Einheit oder Teile von ihr in der zu messenden Größe enthalten sind. Die Lösung dieser Aufgabe wird durch die Herstellung von Maßstäben sehr vereinfacht. Das kann wieder nur unter der Voraussetzung geschehen, daß die Einheit oder ihre Teile, welche wir auf dem Maßstabe abtragen, einander gleich sind. Ein brauchbarer Maßstab würde sich nicht herstellen lassen, wenn die Einheit, die wir abtragen, eine Funktion des Ortes und der Zeit wäre. Ich glaube, daß durch die vorstehenden und durch verwandte Betrachtungen die erwähnten Axiome der Längenmessung auf eine sichere Grundlage gestellt und in ihrer eigentlichen Bedeutung erkannt werden können und daß der Aufstellung von entgegenstehenden Hypothesen, auch wenn sie durch die Autorität eines Riemann und Helmholtz gestützt werden, jede Berechtigung entzogen wird.

## Die Zeitmessung.

Wenn wir schon bei Längenmessungen eine Schwierigkeit gefunden haben, die sich niemals völlig überwinden läßt, nämlich einen eindeutig bestimmten und absolut unveränderlichen Maßstab herzustellen, so muß bei allen anderen physikalischen Messungen dieselbe Schwierigkeit sich mindestens in gleicher Stärke zeigen, weil sie alle auf Längenmessungen beruhen. Ja es ist im voraus wahrscheinlich, daß neue Schwierigkeiten zu



Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

den alten hinzutreten werden. Die Forderung nach einem eindeutig bestimmten und konstanten Maßstab ist auch für die Zeitmessung vorhanden und hat dieselbe Ursache wie bei der Längenmessung. Sie entspringt dem Verlangen nach Messungen, welche genau und stets mit einander vergleichbar sind. Ungenaue Messungen sind unbrauchbar. Wir haben weiter ein großes praktisches Interesse daran, Messungen mit einander zu vergleichen, die in verschiedenen Jahrhunderten und Jahrtausenden ausgeführt wurden. Ohne Befriedigung dieses Interesses würden alle Zeitangaben über Ereignisse der Vergangenheit für uns wertlos sein. Wir würden ihre Bedeutung gar nicht verstehen. Wenn z. B. nach dem Kalender der Mohammedaner die Dauer eines Ereignisses auf eine gewisse Anzahl Jahre oder der Eintritt eines Ereignisses zu einem bestimmten Termin, etwa zu Beginn eines Jahres, angegeben wird, so erlangen alle solche Aussagen für uns erst dann einen Inhalt, wenn die Zeiteinheit der Mohammedaner für uns in eindeutiger Weise gegeben ist, wenn wir wissen, daß ein Jahr der Mohammedaner $11{,}_{2422}$ Tage kürzer ist als das tropische Sonnenjahr, und daß infolgedessen der Anfang des mohammedanischen Jahres sich gegen den Anfang unseres Jahres jährlich um $11{,}_{2422}$ Tage verschiebt. Für physikalische Messungen reicht man aber nicht einmal mit einer allgemeinen und nicht ganz genauen Kenntnis der Beziehungen aus, durch welche verschiedene Zeiteinheiten mit einander verknüpft sind. Wenn z. B. die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles oder des Lichtes oder die Beschleunigung beim freien Fall irdischer Körper zu verschiedenen weit auseinander liegenden Zeiten ermittelt wird, so hängt das Resultat wesentlich davon ab, ob die Sekunde konstant geblieben ist oder nicht. Die erwähnten Größen ändern sich in demselben Verhältnis wie die Zeiteinheit. Entzieht sich nun diese Veränderung der Sekunde unserer Kenntnis, so entschwindet uns auch die richtige Erklärung aller damit in Zusammenhang stehender Folgeerscheinungen. Wir würden dann verschiedene Werte, die für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes in einem bestimmten Mittel oder für die Fallbeschleunigung gefunden worden sind, ausschließlich durch Ungenauigkeiten der Messungen zu erklären versuchen, ohne darauf Rücksicht zu nehmen, daß im Laufe von Jahrhunderten die Zeiteinheit nicht konstant geblieben ist. Ebenso wie bei Längenmessungen brauchen wir also auch bei Zeitmessungen eine unveränderliche Einheit. Wir setzen sie gewöhnlich auch stillschweigend voraus, obgleich das mit unseren tatsächlich verwendeten Maßen in Widerspruch steht. Allerdings mildert sich dieser Widerspruch mit dem Fortschritt der Wissenschaften und der Vervollkommnung der Technik. Die Zeiteinheiten früherer Jahrhunderte waren nach unseren heutigen Begriffen viel größeren Schwankungen unterworfen als die jetzt gebräuchlichen, wurden aber damals ebenfalls für konstant gehalten. Es gab eine Zeit, wo die Grundlage aller Zeitmessungen und zugleich die beste Einheit der wahre Sonnentag war, die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Kulminationen der Sonne an demselben Orte der Erde. Jetzt wissen wir, daß diese Einheit wegen des ungleichmäßigen Fortrückens der Sonne auf der Ekliptik sich täglich verändert und daß der Unterschied zwischen dem längsten und dem kürzesten Sonnentage beinahe eine Minute beträgt. Früher blieben solche Veränderungen verborgen, denn sie waren gering gegenüber den viel gröberen Schwankungen aller anderen Zeitmesser und gegenüber den Beobachtungsfehlern, welche sich bei den damaligen Hilfsmitteln nicht vermeiden liessen. Solange die Einteilung des Tages durch brennende Kerzen oder durch Sonnen-, Sand-, Wasser- oder Gewichtsuhren erfolgte, war es völlig ausgeschlossen, irgendwelche Veränderungen des wahren Sonnentages zu beobachten. Es wäre auch dann nicht möglich gewesen, wenn sie das Zehn- oder das Hundertfache von ihrer tatsächlichen Größe betragen hätten. Denn die Unregelmäßigkeiten dieser Zeitmesser sind viel größer als die Schwankungen des wahren Sonnentages. Dieser konnte und mußte also früher als konstant angenommen werden. Noch vor wenig mehr als hundert Jahren waren seine Schwankungen bei allen Zeitmessungen des täglichen Lebens gegenstandslos. Erst zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurde auf Veranlassung eines Astronomenkongresses in Gotha allgemein eine neue Zeiteinheit, der mittlere Sonnentag, eingeführt, welcher im letzten Grunde auf der Dauer der Umdrehung der Erde um ihre Achse beruht. Damit hat aber die Frage nach der Konstanz unserer Zeiteinheit keineswegs ihre Erledigung gefunden. Ja es scheint mir, daß sie mit dem Fortschritte der Wissenschaften eine erhöhte Bedeutung gewinnt. Denn damit wächst die Schärfe unserer Beobachtungen, steigern sich die Forderungen, die wir an die Genauigkeit unserer Messungen stellen, damit erlangen wir neue Mittel, um Veränderungen in der Rotationszeit der Erde feststellen zu können. Wir wissen jetzt, daß auch diese Umdrehungszeit nicht konstant ist.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Im Laufe von Jahrhunderten kühlt sich die Erde ab, zieht sich infolgedessen zusammen und würde aus diesem Grunde eine größere Umdrehungsgeschwindigkeit, also eine kürzere Rotationsdauer erlangen. In entgegengesetztem Sinne wirken die Flutwellen, welche Sonne und Mond, und die Luftströmungen, welche Temperaturschwankungen auf der Erde hervorrufen. Durch die Reibungen, welche dabei stattfinden, geht lebendige Kraft verloren, die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde wird infolgedessen kleiner, die Umdrehungszeit wächst. Es ist nun unwahrscheinlich, daß diese beiden einander entgegenstehenden Wirkungen sich gegenseitig gerade aufheben. Eine ungefähre Berechnung lehrt, daß die Verzögerung der Rotationsgeschwindigkeit größer ist als ihre Beschleunigung, und daß infolge des Zusammenwirkens von beiden Einflüssen eine Verlängerung der Rotationsdauer stattfindet, welche für einen Zeitraum von einer Million Jahren auf 1 bis 4 Sekunden angegeben wird. So gering diese Veränderung ist, so würde sie doch in einem Zeitraum von 20000 bis 80000 Millionen Jahren eine Verdoppelung der Dauer der Rotation der Erde zur Folge haben. Wenn es gelingen sollte, auf so lange Zeiträume späteren Geschlechtern historisch verbürgte Nachrichten zu überliefern, so würden diese in Rücksicht auf ihre Dauer nur dann richtig verstanden werden, wenn man die Veränderung der Tageslänge genau beurteilen könnte. Man würde damit nicht einmal ausreichen, weil für das Jahr in so ungeheuren Zeiträumen ebenfalls bedeutende Veränderungen eintreten würden. Denn die Dauer eines Jahres hängt von der Masse der Sonne ab, und diese wird durch Meteore, welche sie aus einem großen Bereiche ihrer Umgebung an sich zieht, beständig vergrößert. Von Einfluß sind auch die Beobachtungsfehler, welche bei der astronomischen Bestimmung der Umdrehungszeit der Erde sich nicht vermeiden lassen. Als Umdrehungszeit gilt die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen eines bestimmten Fixsternes durch denselben Meridian. Das würde dann richtig sein, wenn nach Verlauf einer Umdrehung der Erde der betreffende Meridian dieselbe Lage zum Fixstern einnähme wie zu Anfang. Das ist aber nur angenähert der Fall. Denn während einer Umdrehung ändern unser Sonnensystem und damit die Erde und die Meridianebene ihre Lage zum Fixstern. Doch sind diese Veränderungen im Vergleich zu den ungeheuren Entfernungen der Fixsterne sehr klein, haben deshalb geringen Einfluß und können durch astronomische Messungen und Rechnungen wenigstens teilweise korrigiert werden. Größer sind die Fehler, welche daraus entstehen, daß wir als Meridianebene die Messungsebene annehmen müssen und diese nicht in einer absolut festen Lage zur Erde erhalten können. Denn die Lager, auf welchen die horizontale Achse des Fernrohres ruht, heben sich bei Temperaturschwankungen und bei allerhand Veränderungen, welche im Erdboden vor sich gehen. Sie tun das selbst bei Anwendung der allergrössten Vorsichtsmaßregeln, auch wenn man sie möglichst tief und auf den festesten und unveränderlichsten Pfeilern ruhen läßt, die man herzustellen imstande ist. Zwar lassen sich auch diese Veränderungen, welche die von der Astronomie ermittelte Länge des Tages beeinflussen, durch sinnreiche Kontrollapparate messend verfolgen und durch Rechnung eliminieren, aber doch nur angenähert, niemals mit völliger Genauigkeit.

Trotz der erwähnten fortschreitenden Veränderungen, welche die Umdrehungszeit der Erde im Laufe von Jahrtausenden erleidet, und trotz der Schwankungen, welche bei ihrer astronomischen Bestimmung infolge von Beobachtungsfehlern hervortreten, liefert sie doch bis jetzt die konstanteste Einheit und die letzte Kontrolle für alle Zeitmessungen. Ihre Veränderungen sind weitaus geringer als diejenigen auch der allerbesten Uhren, die in ihrem Gange besonders durch Schwankungen der Temperatur und des Luftdruckes beeinflußt werden. Aus diesem Grunde werden unsere besten Chronometer auf den Sternwarten dadurch geprüft, daß man die Anzahl Schwingungen zählt, welche sie während eines Sterntages ausführen. Je weniger sich diese Zahl an aufeinanderfolgenden Tagen ändert, desto genauer geht die Uhr. Hierbei gilt also der Sterntag als ein konstanter Maßstab. Wenn wir nun aber oben behauptet haben, daß auch der Sterntag seine Länge verändert, welches ist dann der Maßstab, mit dessen Hilfe wir diese Veränderung feststellen können? Auf diese Frage sind verschiedene Antworten gegeben worden. Zunächst drängt sich der Gedanke an die sogenannte absolute, wahre und mathematische Zeit auf, welche von Newton in die Wissenschaft eingeführt worden ist. „Tempus absolutum, verum et mathematicum in se et natura sua absque relatione ad externum quodvis aequabiliter fluit alioque nomine dicitur Duratio. Relativum, apparens et vulgare est sensibilis et externa quaevis Durationis per motum mensura (seu accurata seu inaequabilis) qua vulgus vice veri temporis utitur; ut

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Hora, Dies, Mensis, Annus."[1]) „Tempus absolutum a relativo distinguitur in astronomia per aequationem temporis vulgi. Inaequales enim sunt dies naturales, qui vulgo tamquam aequales pro mensura temporis habentur. Hanc inaequalitatem corrigunt astronomi, ut ex veriore tempore mensurent motus coelestes. Possibile est, ut nullus sit motus aequabilis quo tempus accurate mensuretur. Accelerari et retardari possunt motus omnes, sed fluxus temporis absoluti mutari nequit. Eadem est duratio seu perseverantia rerum, sive motus sint celeres, sive tardi, sive nulli. Proinde haec a mensuris suis sensibilibus merito distinguitur et ex iisdem colligitur per aequationem astronomicam".[2]) Es scheint mir, daß Newton sich mit diesen Aeußerungen in das Gebiet der Metaphysik begeben hat, daß er über Dinge etwas aussagen will, von denen kein Mensch etwas aussagen kann. Ich wenigstens muß gestehen, daß es mir versagt ist, mir bei den Worten absolute Zeit eine deutliche Vorstellung zu bilden oder gar eine positive Aussage über eine solche Zeit zu machen, die ohne Beziehung auf irgend einen äußeren Gegenstand verfließt. Tatsächlich beziehen sich auch die Aussagen Newton's zum größten Teil gar nicht, wie vorgegeben wird, auf die absolute Zeit. Wenn Newton behauptet, daß in der Astronomie die absolute Zeit von der relativen durch die Zeitgleichung unterschieden wird, so ist dem entgegenzuhalten, daß die Zeitgleichung der Astronomen nichts mit der absoluten Zeit zu tun hat, sondern vielmehr den Unterschied zwischen mittlerer und wahrer Zeit angibt. Die mittlere Zeit gründet sich auf die Rotationsdauer der Erde, die wahre Zeit auf die Länge des wahren Sonnentages oder, wie Newton sich ausdrückt, auf die Länge des natürlichen Tages. Wenn Newton weiter sagt, daß die Astronomen die Bewegungen der Himmelskörper nach der richtigen Zeit messen, so wird diese richtige Zeit eben durch die Umdrehungszeit der Erde, aber keineswegs durch die absolute Zeit bestimmt. Von allen Aussagen Newton's über die absolute Zeit bleiben nur zwei übrig, die einer besonderen Prüfung bedürfen, nämlich daß sie existiert und daß ihr Verlauf gleichförmig ist. Da ist zunächst zu bemerken, daß sich sogar über ihre Existenz nichts aussagen läßt. Man kann weder ihre Existenz noch das Gegenteil behaupten. Daß der ganze Begriff der absoluten Zeit für uns Menschen nicht vorstellbar ist, wird allgemein zugegeben. Wenn man trotzdem der absoluten Zeit Realität zugesprochen hat, so ist das nicht genügend begründet worden. Bei Newton selbst trägt diese Lehre einen rein dogmatischen Charakter. Für ihn ist die absolute Zeit ein Attribut Gottes. Die Naturgesetze, durch welche Gott den Gang der Welt regiert, beziehen sich auf die absolute Zeit und gewinnen den denkbar größten Grad der Einfachheit, wenn die absolute Zeit gleichförmig dahinfließt. Ganz anders ist die Begründung Eulers. Er legt den Nachdruck darauf, daß er sie beim Messen für unentbehrlich hält. „Nous reconnoissons aussi le tems, comme quelque chose de réel, qui ne subsiste pas seulement dans notre esprit, mais qui coule réellement en servant de mesure à la durée des choses . . . On a lieu de demander, si l'idée du tems, et le tems même, ne sont pas des choses différentes entr'elles? Et il me semble, que les Metaphysiciens, en détruisant la réalité du tems, ont confondu le tems même avec l'idée que nous en avons".[3]) „Si le tems n'est autre chose, comme on veut dans la Metaphysique, que l'ordre des successions; de quelle manière rendra-t-on intelligible l'égalité des tems?"[4]) „Il s'agit de l'égalité des tems, pendant lesquels un corps qui se meut d'un mouvement uniforme parcourt des espaces égaux. Comme cette égalité ne sauroit être expliquée par l'ordre des successions . . . . . on sera donc obligé d'avouër, comme on l'a été par rapport à l'espace, que le tems est quelque chose, qui subsiste hors de notre esprit, ou que le tems est quelque chose de réel, aussi bien que l'espace".[5]) Merkwürdigerweise bezeichnet Euler in den erwähnten Stellen denjenigen als Metaphysiker, welcher die absolute Zeit leugnet und nur die durch sinnliche Wahrnehmungen bestimmte Zeit gelten läßt. Heute würde man wohl einen auf dem entgegengesetzten Standpunkt stehenden Forscher als Metaphysiker bezeichnen. Als Grund für die Realität der absoluten Zeit führt Euler eigentlich nur den an, daß wir die genaue Gleichheit von zwei Zeiten durch empirische Maße allein nicht verbürgen können, sondern erst durch die außerhalb unseres Geistes bestehende absolute Zeit.

---

[1]) Newton, Phil. nat. principia math., 2. Ausg., p. 5.
[2]) Newton, Phil. nat. princ. math., 2. Ausg., p. 7.
[3]) Euler, Reflexions sur l'espace et le tems. XVIII. Hist. de l'Acad. Royale des sc. et belles lettres à Berlin, 1748.
[4]) A. a. O. XX.
[5]) A. a. O. XXI.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Darauf ist zu erwidern, daß wir bei keiner Messung, weder bei einer wirklich ausgeführten noch bei einer gedachten, die absolute Zeit benützen. Also kann auf diesem Wege auch kein Grund für ihre Existenz gefunden werden. Wenn wir aber auf einem anderen Wege ihre Existenz beweisen könnten, so wäre sie trotzdem bei der Prüfung gleicher Zeiten nicht verwendbar. Denn dabei ist stets die Zuordnung von zwei wahrnehmbaren Vorgängen notwendig, des zu messenden und eines anderen, welcher als Maßstab dient. Wir können hier nicht einen sinnlich wahrnehmbaren Vorgang mit einem übersinnlichen vergleichen. Diese Bedingung müßte aber erfüllt werden, wenn wir beim Messen von der absoluten Zeit Gebrauch machen wollten.

Auf diesem Standpunkt, die absolute Zeit nicht zur Messung zu verwenden, übrigens aber mit Newton ihre Existenz anzunehmen, steht Locke. „Wir müssen deshalb sorgfältig zwischen der Dauer selbst und den Maßstäben unterscheiden, die wir benutzen, um ihre Länge zu beurteilen. Die Dauer selbst muß betrachtet werden, als wenn sie in einem beständigen, gleichen, einförmigen Laufe dahinflösse, aber von keinem ihrer von uns gebrauchten Maßstäbe läßt sich dasselbe wissen, auch können wir nicht davon versichert sein, daß die Abschnitte oder Perioden, worin sie eingeteilt sind, unter einander gleiche Dauer haben; denn wie man auch zwei auf einander folgende Längen der Dauer messen möge, niemals läßt sich ihre Gleichheit beweisen.“[1]) „Weil demnach zwei Abschnitte der Succession nicht aneinander gelegt werden können, so ist es unmöglich, ihre Gleichheit jemals mit Gewißheit zu erkennen. Alles, was wir tun können, um einen Maßstab der Zeit zu gewinnen, ist, dazu solche Dinge zu wählen, die beständig aufeinander folgende Erscheinungen in anscheinend gleich langen Perioden zeigen, für deren anscheinende Gleichheit wir kein anderes Maß haben, als das von dem Zuge unserer eigenen Ideen in unserm Gedächtnis aufgestellte, in Verbindung mit anderen Gründen der Wahrscheinlichkeit, die uns von ihrer Gleichheit überzeugen.“[2]) „Wir können nicht ein festes unveränderliches Maß der Dauer, die in einer beständig verfliegenden Succession besteht, bei uns führen, wie wir mit verschiedenen Längen der Ausdehnung tun können, z. B. Zollen, Fußen, Ellen u. s. w., die auf dauernden materiellen Stücken angemerkt sind. Als ein zweckmässiges Zeitmaß kann also nur etwas dienen, dessen ganze Dauer durch beständig wiederholte Perioden in augenscheinlich gleich lange Abschnitte geteilt ist.“[3])

Die Dauer selbst, von der Locke redet, die von allen Zeitmaßen zu unterscheiden ist und in einem beständigen, gleichen, einförmigen Laufe dahinfließt, erinnert sehr deutlich an die absolute Zeit Newton's, welcher ungefähr dieselben Eigenschaften zugeschrieben werden. Locke behauptet aber nicht wie Newton, daß man den gleichförmigen Verlauf der Dauer oder die absolute Zeit durch richtige Messungen und die astronomische Gleichung feststellen könne. Obgleich auch Newton gelegentlich darauf hinweist, daß wir möglicherweise kein genaues Maß der absoluten Zeit besitzen, so betont er doch andrerseits viel nachdrücklicher, daß wir sie bestimmen können. Locke hingegen hebt scharf hervor, daß wir niemals imstande sein werden, die Dauer selbst genau zu messen, weil wir keine konstante Einheit besitzen. Gegen diese Behauptung wird sich kaum etwas einwenden lassen. Nur daß Locke die Raummessung der Zeitmessung gegenüberstellt, daß er glaubt, wir könnten konstante Raumeinheiten herstellen, scheint mir nicht berechtigt. Auch die Längeneinheiten verändern sich im Laufe der Zeiten. Es wird sich schwer feststellen lassen, ob etwa in 100000 Jahren das Urmeter oder die durch die feinsten astronomischen Messungen präzisierte Sekunde sich stärker verändert hat. Auf dem Locke'schen Standpunkte kann man aber noch viel weniger als bei Newton eine Antwort auf die Frage erhalten, auf Grund welcher Zeiteinheit wir beurteilen sollen, daß und wie die Umdrehungszeit der Erde sich verändert. Locke selbst stellt diese Frage gar nicht. Er bezeichnet zunächst die Umläufe der Sonne und des Mondes als die besten Zeitmaße.[4]) Später bemerkt er, daß auch diese Umläufe sich als ungleich erwiesen haben, und daß die Pendelschwingungen ein regelmäßigeres und beständigeres Zeitmaß liefern.[5]) Wir wissen aber, daß man damit nicht die Konstanz oder die Veränderlichkeit der Drehung der Erde feststellen kann. Auch Locke's Definition der Zeiteinheit versagt hier. Sie stellt an den Maßstab keine anderen

[1]) Locke, Ueber den menschlichen Verstand, 2. Buch, 14. Kap., § 21.
[2]) A. a. O., 2. Buch, 14. Kap., § 21.
[3]) A. a. O., 2. Buch, 14. Kap., § 18.
[4]) A. a. O., 2. Buch, 14. Kap., § 19.
[5]) A. a. O., § 21.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Anforderungen, als daß er beständig aufeinanderfolgende Erscheinungen in anscheinend gleich langen Perioden zeigen soll. Für die anscheinende Gleichheit sollen wir kein anderes Maß haben als das von dem Zuge unserer eigenen Ideen in unserem Gedächtnis aufgestellte in Verbindung mit anderen Gründen der Wahrscheinlichkeit.[1]) Es ist klar, daß man mit einem so definierten Maßstab die Konstanz der Drehung der Erde nicht kontrollieren und durch ihn nicht erkennen kann, ob die Umdrehungszeit der Erde in einer Million Jahren sich um 1 bis 4 Sekunden verändert.

Durch die vorstehenden Betrachtungen hat sich ergeben, daß wir uns die absolute Zeit nicht vorstellen können, daß wir über ihre Existenz nichts wissen und sie beim Messen nicht verwenden. Noch etwas weiter in der Ablehnung geht Kant, welcher die Existenz der absoluten Zeit direkt bestreitet. „Die Zeit ist nicht etwas, was für sich selbst bestünde oder den Dingen als objective Bestimmung anhinge.“ „Die Zeit ist nichts Anderes als die Form des inneren Sinnes.“ „Die Zeit ist die formale Bedingung a priori aller Erscheinungen überhaupt.“ „Die Zeit ist lediglich eine subjective Bedingung unserer Anschauung und an sich, außer dem Subjecte, nichts.“ „Nichts destoweniger ist sie in Ansehung aller Erscheinungen, mithin auch aller Dinge, die uns in der Erfahrung vorkommen können, notwendigerweise objectiv.“ „Wir streiten der Zeit allen Anspruch auf absolute Realität.“[2]) Ich möchte mich zwar nicht zu den Ansichten Kant's bekennen, weil sie ebenfalls metaphysisch sind, über Dinge etwas behaupten, von denen wir nichts wissen, führe sie jedoch an, um den Autoritäten eines Newton und Euler diejenige eines Kant gegenüberzustellen.

Eine etwas andere Wendung erhalten die Gedanken über die Realität der absoluten Zeit bei neueren Schriftstellern. Ich erwähne zunächst O. Liebmann. „Gleiche Zeitabschnitte, so definiert man, sind die, in denen ein gleichförmig bewegter Körper gleiche Raumstrecken zurücklegt. Wann aber ist ein Körper gleichförmig bewegt? Dann, wenn er in gleichen Zeiten gleiche Raumstrecken zurücklegt! — Das wahre Muster einer Diallele! A wird durch B und B durch A erklärt. Und hierüber kann kein Verstand der Verständigen hinweghelfen! Hier kommt denn nun die theoretische Notwendigkeit der Newton'schen absoluten Zeit zu Tage. Sie ist ein theoretischer Machtspruch, ein Postulat der mathematischen Vernunft. Will man nicht allen Boden unter den Füßen verlieren, will man nicht unsere phoronomischen Fundamentalbegriffe, Galilei's lex inertiae und die bekannten apriorischen Relationen zwischen Raum, Zeit, Geschwindigkeit, Beschleunigung, auf denen unsere gesamte mathematische Naturphilosophie beruht, über den Haufen werfen, so sieht man sich, unter Abstraktion von jedem empirischen Maßprinzip, genötigt zur Idee einer von allem Wechsel, von den Unregelmäßigkeiten so gut des äußeren wie des inneren Geschehens völlig emancipierten absoluten Zeit, welche „„schlechthin gleichmäßig dahinfließt (quod aequabiliter fluit)““, wie Newton sagt“.[3]) „Hierin, aber hierin allein, liegt die Berechtigung des Begriffes jener absoluten Zeit; — in ihrer theoretischen Unentbehrlichkeit“.[4]) Daraus folgert Liebmann aber nicht die transscendente Realität der absoluten Zeit. „Die bloße Zeit an sich, die man von allem und jedem Geschehen in ihr abstrahiert, wäre, mild ausgedrückt, eine ganz unfaßbare, förmlich geisterhafte Schattenexistenz.“[5]) Weiter wird die absolute Zeit als eine theoretische Fiktion oder Hypothese bezeichnet.[6]) Ferner heißt es: „Es wäre eine ganz krasse, unverzeihliche Gedankenlosigkeit, wenn der Metaphysiker sie als etwas transscendent Reales hypostasieren wollte.“[7])

Aber auch diese hypothetische Einführung der absoluten Zeit giebt uns keine Antwort auf die Frage: Mit welcher Einheit vergleichen wir den Sterntag, wenn wir von einer Veränderung in der Umdrehungszeit der Erde reden? Eine solche theoretische Fiktion kann unmöglich bei der Beantwortung dieser Frage Verwendung finden. Ebensowenig kann das bei der Entscheidung der allgemeineren Frage geschehen: Was sind gleiche Zeiten, wann verläuft ein Vorgang gleichmäßig? Es erscheint mir schon ziemlich bedeutungslos, einer derartigen Fiktion das Prädikat des gleichmäßigen Dahinfließens beizulegen. Reden wir sonst von dem Verlauf eines Vorganges,

[1]) A. a. O., § 21.
[2]) J. Kant, Kritik der reinen Vernunft, Elementarlehre, 1. Teil, 2. Abschn., § 6.
[3]) O. Liebmann, Zur Analysis der Wirklichkeit, 3. Aufl., S. 104.
[4]) A. a. O., S. 104.
[5]) A. a. O., S. 106.
[6]) A. a. O., S. 111.
[7]) A. a. O., S. 111.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

so handelt es sich stets um die Zuordnung zweier Vorgänge, des in Rede stehenden, von dem wir die Gleichförmigkeit oder die Ungleichförmigkeit behaupten, und der Drehung der Erde um ihre Achse. Ein Vorgang heißt gleichförmig, wenn sich gleiche Prozesse abspielen, während die Erde sich um gleiche Winkel dreht. Im andern Falle heißt er ungleichförmig. Diese Redeweise verliert aber jeden verständlichen Inhalt, sobald wir sie wie Newton auf transscendente Vorgänge oder wie O. Liebmann auf eine anschaulich nicht vorstellbare theoretische Fiktion anwenden wollen. Wir können die sogenannte absolute Zeit mit keinem sinnlich wahrnehmbaren Vorgang vergleichen, infolgedessen weder feststellen, daß sie gleichförmig dahinfließt, noch mit Hilfe einer ohne Prüfung angenommenen Hypothese die Gleichförmigkeit irgend eines andern Vorganges ermitteln. Schreibt man der absoluten Zeit transscendente Realität zu, so erscheint ihr gleichförmiges Dahinfließen als eine völlig inhaltleere Aussage, als eine ungerechtfertigte Uebertragung einer für unsere Sinnenwelt geschaffenen Ausdrucksweise auf nicht vorstellbare, transscendente Gegenstände. Betrachtet man aber die Zeit als eine theoretische Fiktion, so kann man wohl sagen, daß es erlaubt ist, Fiktionen irgend welche Eigenschaften beizulegen. Bedenken wir jedoch, daß auch hier jede anschauliche Vorstellbarkeit fehlt, so verliert die Eigenschaft des gleichförmigen Dahinfließens ebenfalls jede Bedeutung und jeden Inhalt. Ein so geschaffener Begriff kann auf die Begriffe des Messens und gleicher Zeiten gewiß keinen Einfluß haben.

Es ist vielleicht nicht überflüssig, darauf hinzuweisen, daß die Messung der absoluten Zeit nichts mit dem von F. Gauß und W. Weber aufgestellten absoluten Maßsystem zu schaffen hat, bei welchem alle physikalischen Größen durch drei Einheiten gemessen werden, durch diejenigen der Länge, der Masse und der Zeit. Die Zeiteinheit dieses absoluten Maßsystems ist die Sekunde, sie muß also nach Newton'schem Sprachgebrauch als relativ bezeichnet werden. Von diesem absoluten Maßsystem und auch von der Messung der absoluten Zeit muß ferner die absolute Messung der Zeit wohl unterschieden werden, von welcher neuerdings vielfach die Rede ist. Man kann die Zeit entweder mit einer willkürlichen Einheit messen, d. h. mit einer Einheit derselben Art, mit der Dauer irgend eines Ereignisses, z. B. der Sekunde, oder aber mit absolutem Maß, d. h. man kann sie als Funktion von Parametern anderer Art darstellen.[1]) Zur absoluten Zeitmessung kann jede Gleichung verwendet werden, durch welche die Zeit als Funktion von Größen anderer Art ausgedrückt wird. M. G. Lippmann hat vorgeschlagen, die Zeiteinheit dadurch zu bestimmen, daß in den bekannten Gleichungen

$$F = k^2 \frac{M \cdot m}{r^2} \text{ und } F = m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2},$$

von denen die erste das Newton'sche Gravitationsgesetz und die zweite die auf einen Körper wirksame Kraft als Produkt aus Masse und Beschleunigung darstellt, die Konstante $k^2 = 1$ gesetzt wird.[2]) Man erhält nämlich

$$k^2 = \frac{r^2 \frac{\partial^2 x}{\partial t^2}}{M}.$$

Diese Gleichung sagt uns, daß $k^2$ nicht von der Längen-, sondern nur von der Zeiteinheit abhängig ist. Umgekehrt ist die Zeiteinheit durch $k^2$ eindeutig bestimmt. Es empfiehlt sich $k^2 = 1$ zu setzen. In diesem Falle fordert die Gleichung

$$k^2 = \frac{r^2 \frac{\partial^2 x}{\partial t^2}}{M},$$

daß wir als Einheit diejenige Zeit wählen, die erforderlich ist, damit $r^3$ Einheiten Wasser von $4^0$ C einem beliebigen Körper in der Entfernung r die Beschleunigung r erteilen. Doch läßt sich auf Grund dieser Definition die Zeiteinheit praktisch nicht ohne weiteres ermitteln. Das kann erst geschehen, wenn man noch andere physikalische Gesetze heranzieht, z. B. das für die kreisförmige Zentralbewegung eines Körpers. Bezeichnet r den Radius und T die

[1]) M. G. Lippmann, Sur la mesure absolue du temps, déduite des lois de l'attraction universelle, Journal de Phys. théor. et appliquée, tome VIII, 1899, p. 401.

[2]) A. a. O. p. 402.



Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Umlaufszeit der Kreisbewegung, so ist bekanntlich die Zentralbeschleunigung $\gamma = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$. Wird diese Beschleunigung durch die Gravitation bewirkt, so ist $\gamma = k^2 \frac{M}{r^2}$. Aus beiden Gleichungen folgt

$$T = \frac{2\pi}{k} \sqrt{\frac{r^3}{M}}.$$

Nach Lippmann setzen wir $k = 1$ und erhalten als absolute Umlaufszeit

$$[T] = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{M}}.$$

Diese Grösse läßt sich z. B. für den Umlauf der Erde um die Sonne dadurch ermitteln, daß man für M die Masse der Sonne und für r ihre mittlere Entfernung von der Erde einsetzt. Es ergiebt sich für [T] der 3862. Teil desjenigen Betrages, den man erhält, wenn man dieselbe Umlaufszeit, d. h. ein siderisches Jahr, in Sekunden ausdrückt. Also besitzt die absolute Zeiteinheit dieselbe Dauer wie 3862 Sekunden oder wie $1^h\ 4^m\ 22^s$. Statt der Zeit des Umlaufs der Erde um die Sonne kann man auch die eines anderen Himmelskörpers benutzen, sobald nur die Masse des Zentralkörpers und die Entfernung zwischen ihm und dem kreisenden Körper bekannt sind. In ähnlicher Weise kann die absolute Zeiteinheit aus Pendelschwingungen bestimmt werden. Es ist die Zeit einer Pendelschwingung

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

wobei l die Länge des Pendels und g die Beschleunigung beim freien Fall bezeichnet. Nun ist nach dem Gravitationsgesetz $g = k^2 \frac{M}{R^2}$, wenn M die Masse und R den Radius der Erde darstellt. Bedeutet s das spezifische Gewicht der Erde, so ist $M = {}^4/_3\ \pi\ s\ R^3$, also $g = k^2\ {}^4/_3\ \pi\ s\ R$ und

$$T = \frac{1}{2k} \sqrt{\frac{3\pi l}{s \cdot R}}.$$

Setzen wir wieder $k = 1$, so erhalten wir die absolute Schwingungsdauer des Pendels

$$[T] = {}^1/_2 \sqrt{\frac{3\pi l}{s \cdot R}}.$$

Auch auf diesem Wege finden wir als absolute Zeiteinheit $1^h\ 4^m\ 22^s$.

Die Anwendung der von Lippmann vorgeschlagenen Zeiteinheit vereinfacht nicht nur alle physikalischen Gesetze, bei denen die Schwerkraft eine Rolle spielt, sondern auch die Dimensionen der elektrostatischen Größen, z. B. der elektrostatischen Masse, des Potentials, des elektrostatischen Feldes. Das allein schon rechtfertigt ihre Beachtung. Uns beschäftigt aber augenblicklich die Frage nach der Konstanz der Zeiteinheit. Deshalb fragen wir, ob die eben erwähnte absolute Zeiteinheit auch in dieser Hinsicht Vorzüge gegenüber der Sekunde besitzt, ob sie etwa bei der Feststellung einer Veränderung in der Rotationsdauer der Erde brauchbar ist. Wäre das der Fall, so würden wir sie ohne Zweifel als Grundlage unserer Zeitmessung wählen. Die Rotation der Erde müßte durch den Vergleich mit ihr geprüft werden. So ist es aber nicht. Um das zu begründen, unterscheide ich zwischen der praktischen Bestimmung und der theoretischen Definition der Zeiteinheit. Auf Grund der unmittelbar vorhergehenden Darstellung ist sehr leicht einzusehen, daß die absolute Zeiteinheit Lippmanns bei weitem nicht so genau festgelegt werden kann wie die Sekunde. Die von Lippmann selbst vorgeschlagene Bestimmung aus der Gleichung

$$[T] = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{M}},$$

welche die Dauer eines siderischen Jahres in absolutem Maße ausdrückt, erfordert die Messung der Sonnenmasse und ihrer Entfernung von der Erde. Obgleich die Wahl der Längeneinheit

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

dabei willkürlich ist, so sind solche Messungen doch nicht mit der gleichen Schärfe durchführbar wie die Bestimmung der Sekunde. Aehnlich steht es mit der Berechnung aus der Gleichung

$$[T] = {}^1/_2 \sqrt{\frac{3\,\pi\,l}{s\,.\,R}},$$

welche die absolute Schwingungsdauer eines Pendels darstellt. Die hierbei erforderlichen Ermittelungen der Dichtigkeit und des Halbmessers der Erde sind ebenfalls nicht so zuverlässig wie diejenige der Umdrehungszeit der Erde. Außerdem sind bei der praktischen Bestimmung dieser absoluten Zeiteinheit dauernde Veränderungen infolge von Vorgängen in der Natur zu berücksichtigen. Die Massen der Sonne und der Erde, welche dabei benützt werden, sind keine konstanten Größen, sondern sie wachsen durch Meteoriten, welche durch diese Himmelskörper aus dem Bereiche ihrer Umgebung angezogen werden. Also lassen sich die Veränderungen in der Umdrehungszeit der Erde nicht mit Hilfe der von Lippmann vorgeschlagenen Zeiteinheit feststellen. Ob ihre theoretische Definition Vorzüge gegenüber den sonst gebräuchlichen Definitionen der Zeiteinheit besitzt, soll später kurz zur Sprache kommen.

Wir haben also immer noch keine Antwort auf die Frage gefunden: was sind gleiche Zeiten, welche Kennzeichen besitzen wir im letzten Grunde für die Gleichheit von zwei Zeiten? Bei allen wirklichen Messungen, auch bei den allerfeinsten wissenschaftlichen, werden solche Zeitabschnitte gleich genannt, während welcher die Erde sich um gleiche Winkel dreht. Sobald aber die Behauptung aufgestellt wird, daß im Laufe langer Zeiträume die Erde sich in gleichen Zeiten um verschieden große Winkel dreht, muß noch eine andere Einheit vorhanden sein wie die, welche durch die Umdrehung der Erde geliefert wird.

Außer dem Begriff der absoluten Zeit, welcher in seinen verschiedenen Fassungen und Bedeutungen sich als unbrauchbar erwiesen hat, ist vielfach die gleichförmige Bewegung zur Definition von gleichen Zeiten verwendet worden. Es hat aber schon Poisson in seiner Mechanik ausdrücklich auf den Zirkelschluß hingewiesen, welcher darin liegt, den Begriff gleicher Zeiten auf die gleichförmige Bewegung gründen zu wollen, weil die gleichförmige Bewegung nicht ohne den Begriff gleicher Zeiten definiert werden könne. „On ferait un cercle vicieux si l'on disait, d'une part, que le mouvement uniforme est celui dans lequel les espaces parcourus sont proportionnels au temps, et, d'un autre côté, que le temps a pour mesure le mouvement uniforme, c'est à dire qu'il est proportionnel aux espaces parcourus dans ce mouvement.“[1]) Der Einwand O. Liebmann's, welcher die Ausführungen Poisson's ergänzt, wurde schon angeführt. Verwandt mit der Zurückführung des Begriffes gleicher Zeiten auf die gleichförmige Bewegung ist die Definition C. Neumann's, welcher in seiner bekannten Antrittsvorlesung „über die Principien der Galilei-Newton'schen Theorie“ auch seine Ansichten über die Zeitmessung entwickelt. Weil der Sterntag allmählich größer wird, so kommt er zu dem Schluß: „Absurd würde es sein, wenn man sagen wollte: Zwei gegebene Zeitintervalle sind gleich lang, sobald beide gleich viel Sterntage oder gleich viel Sternsekunden umfassen.“[2]) Er definiert „gleiche Zeitintervalle als diejenigen, innerhalb welcher ein sich selbst überlassener Punkt gleiche Wegabschnitte zurücklegt.“[3]) Es wird also der Begriff gleicher Zeiten nicht auf die gleichförmige Bewegung, sondern statt dessen auf die Bewegung eines sich selbst überlassenen Punktes gegründet. Da erhebt sich die Frage: was heißt es, ein Punkt ist sich selbst überlassen? Die gewöhnliche Antwort lautet: Es wirken keine Kräfte auf ihn ein. Lassen wir uns aber nicht durch Wortumschreibungen zufrieden stellen, so fragen wir weiter: In welchem Falle sagen wir, daß ein Punkt sich selbst überlassen ist oder daß keine Kräfte auf ihn einwirken? Welche Kennzeichen haben wir für die Richtigkeit einer solchen Aussage? Könnten wir einen Körper in unendlich große Entfernung von allen übrigen Körpern bringen, so dürften wir wohl behaupten, daß auf ihn keine Kräfte einwirken. Er müßte dabei aus dem Bereiche nicht nur aller sichtbaren und wahrnehmbaren Massen geschafft werden, sondern aus dem Bereiche aller der Stoffe, welche überhaupt auf andere Körper Einfluß haben können. Das ist aber nicht möglich. Demnach besitzen wir gar keine Kenntnis von einem sich selbst überlassenen Körper. Alle Körper, die wir kennen, stehen unter dem Einfluß von Kräften. Ob diese groß

[1]) Poisson, Traité de Mécanique, Sec. Édit., Tome prem., Livre deuxième, Chap. prem., p. 205.
[2]) C. Neumann, Ueber die Principien der Galilei-Newton'schen Theorie, S. 17.
[3]) A. a. O., S. 18.



Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

oder klein sind, ob sie sich aufheben oder nicht, das können wir nicht unmittelbar sehen, weil Kräfte unmittelbar überhaupt nicht wahrgenommen, sondern nur durch ihre Wirkungen erkannt werden. Das Kennzeichen für das Vorhandensein von Kräften sind die Beschleunigungen. Sind diese gleich Null, bewegt sich der Körper gleichförmig, so sagen wir, daß keine Kräfte auf ihn einwirken, oder richtiger, daß die Resultante aller auf ihn wirksamen Kräfte gleich Null ist. Nun brauchen wir zur Definition der gleichförmigen Bewegung die Zeitskala. Kurz gesagt erfordert also der Begriff des sich selbst überlassenen Punktes die gleichförmige Bewegung und diese wieder das Zeitmaß. Also dürfen wir das Zeitmaß nicht durch den sich selbst überlassenen Punkt erklären.

Noch ein weiterer Einwand kann gegen die Definition C. Neumann's geltend gemacht werden. Es wurde schon früher darauf hingewiesen, daß irgend eine Bewegung nur mit Hilfe eines Bezugskörpers bestimmt werden kann. In der richtigen Erkenntnis dieser Sachlage und um alle Bewegungen eindeutig zu bestimmen, wählt Neumann als letzten Bezugskörper für alle Bewegungen einen absolut ruhenden und absolut starren Körper, dessen Figur und Dimensionen für alle Zeiten unveränderlich sind. Da wir diesen sogenannten Körper Alpha nicht kennen, so sieht sich Neumann gezwungen, ihn in hypothetischer Weise an eine unbekannte Stelle des Weltraumes zu verlegen. Wir müssen aber betonen, daß dieser Körper Alpha unserer Fassungskraft in so hohem Grade unzugänglich und für uns so inhaltleer ist, daß wir durch ihn keine einzige von allen wirklichen Bewegungen kennzeichnen, im besondern nicht sagen können, ob in einem gegebenen Falle ein Körper in Bezug auf Alpha gleiche Wege zurücklegt oder nicht. Auch aus diesem Grunde verliert die Definition Neumann's jede praktische Bedeutung und erweist sich zur Bestimmung gleicher Zeiten als völlig ungeeignet.

In ähnlicher Weise wie C. Neumann gewinnt L. Lange den Begriff gleicher Zeiten. „Inertialzeitskala heißt eine solche Zeitskala, in Bezug auf welche irgend ein sich selbst überlassener Punkt in seiner Inertialbahn gleichförmig bewegt ist.“ [1]) Der sich selbst überlassene Punkt wird hier ebenfalls zur Bestimmung gleicher Zeiten benützt. Ein Unterschied zwischen Neumann und Lange besteht nur in Rücksicht auf das System, auf welches die Bewegungen bezogen werden. An Stelle des Körpers Alpha wird das sogenannte Inertialsystem verwendet, auf das hier näher einzugehen wir deshalb keinen Anlaß haben, weil eben schon der Gebrauch des sich selbst überlassenen Punktes die Lange'sche Definition gleicher Zeiten unhaltbar macht.

Bemerkenswert ist weiter die Behandlung der Zeitmessung durch Heinrich Streintz,[2]) welcher die Ansicht verteidigt, daß das Problem der Zeitmessung schon durch D'Alembert und Poisson in vollkommen befriedigender Weise gelöst worden sei. Ich kann dieser Meinung nur teilweise zustimmen. D'Alembert hat seine Ansichten in seinem Traité de Dynamique niedergelegt. Dort heißt es: „Le mouvement uniforme est la mesure du tems la plus simple.“ [3]) „Je dis outre cela, que la mesure du tems par le mouvement uniforme, est, indépendamment de la simplicité, celle dont il est le plus naturel de penser à se servir.“ [3]) Dem naheliegenden und schon behandelten Zirkel, nun bei der Definition der gleichförmigen Bewegung gleiche Zeiträume verwenden zu müssen, entgeht D'Alembert durch folgende Wendung: „Le mouvement d'un corps est uniforme par lui-même: il ne devient accéléré ou retardé qu'en vertu d'une cause étrangère, et alors il est susceptible d'une infinité de loix différentes de variation. La loi d'uniformité, c'est-à-dire l'égalité entre le rapport de tems et celui des espaces parcourus, est donc une propriété du mouvement considéré en lui-même.“ [4]) Der Sinn dieser Stelle läuft offenbar auf die Behauptung hinaus, daß ein sich selbst überlassener Punkt, ein Punkt, auf welchen keine Kräfte wirken, sich gleichförmig bewegt. Daß auch hierin ein Zirkelschluß verborgen liegt, wurde schon nachgewiesen. Auch D'Alembert selbst scheint durch die eben erwähnte Darstellung nicht befriedigt zu sein, denn kurz darauf gibt er eine ganz andere. „Mais le moyen de s'assurer, dira-t-on, qu'un mouvement soit parfaitement uniforme? . . . Ne pouvant avoir de mesure du tems précise et rigoureuse, c'est dans les mouvemens à peu près uniformes que nous en cherchons la mesure au moins approchée. Nous avons trois moyens de juger qu'un mouvement est à peu près uniforme: 1°. Quand le corps qui se meut, parcourt

[1]) L. Lange, Die geschichtliche Entwicklung des Bewegungsbegriffes, S. 55 und S. 141.
[2]) Heinrich Streintz, Die physikalischen Grundlagen der Mechanik, IV. Kap. S. 81 u. ff.
[3]) D'Alembert, Traité de Dynamique. II. Edition, p. 11.
[4]) A. a. O. p. 12.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

des espaces égaux dans des tems que nous avons lieu de juger égaux; et nous avons lieu de juger les tems égaux, quand nous avons observé par une expérience réitérée, qu'il se passe durant ces tems des effets semblables, que nous avons lieu de juger devoir durer également longtems. Ainsi nous avons lieu de juger que les tems, qu'une même clepsydre met à se vider sont égaux. Si donc pendant ces tems un corps parcourt des espaces égaux, nous avons lieu de juger que son mouvement est uniforme. 2°. Quand nous avons lieu de croire que l'effet de la cause accélératrice ou retardatrice, s'il y en a une, ne peut être qu'insensible. C'est par la réunion de ces deux moyens qu'on a jugé que le mouvement de la terre autour de son axe est uniforme, et cette supposition non-seulement n'est point contredite par les autres phénomènes célestes, mais elle paraît même s'y accorder parfaitement. 3°. Quand nous comparons le mouvement dont il s'agit à d'autres mouvemens, et que nous observons la même loi dans les uns et les autres. Ainsi, si plusieurs corps se meuvent, de manière que les espaces qu'ils parcourent durant un même tems soient toujours entr'eux, ou exactement, ou à peu près dans le même rapport, on juge que le mouvement de ces corps est ou exactement, ou au moins à très-peu près uniforme. Car si un corps A qui se meut uniformément parcourt l'espace E durant le tems T pris à volonté, et qu'un autre corps B, se mouvant aussi uniformément, parcourt l'espace e pendant le même tems T, le rapport des espaces E, e, sera toujours le même soit que les deux corps aient commencé à se mouvoir dans le même instant ou dans des instants différents; et le mouvement uniforme est le seul qui ait cette propriété.[1])

Die erwähnten drei Merkmale gestatten nach D'Alembert's eigenem Geständnis nicht die vollständig genaue, sondern nur die angenäherte Feststellung einer gleichförmigen Bewegung. Es kann deshalb mit ihrer Hilfe nicht eine absolut genaue, sondern ebenfalls nur eine angenäherte Zeitmessung erfolgen. Sie können also auch bei der Entscheidung der Frage über die Veränderlichkeit der Rotation der Erde nur eine geringe Bedeutung haben, weil es sich dabei um eine außerordentlich genaue Zeitmessung handelt. Im einzelnen ist über diese drei Merkmale zu sagen, daß durch das erste zunächst eine unmittelbare Entscheidung nicht über die gleichförmige Bewegung, sondern über gleiche Zeiten getroffen wird: Gleiche Zeiten sind solche, in denen gleiche Vorgänge stattfinden. Erst nach Gewinnung dieses Begriffes erfolgt die Definition der gleichförmigen Bewegung: Wenn während solcher gleichen Zeiten ein Körper gleiche Räume durchläuft, ist seine Bewegung gleichförmig. Durch dieses erste Merkmal kehrt also D'Alembert einen früher von ihm ausgesprochenen Gedankengang vollständig um. Vorher definiert er die gleichen Zeiten durch die gleichförmige Bewegung, jetzt gewinnt er diese auf Grund des Begriffes gleicher Zeiten. Das zweite Merkmal ist nur eine andere Ausdrucksweise eines vorhergehenden Ausspruchs, daß nämlich die Bewegung eines Körpers an und für sich gleichförmig ist und erst durch äußere Ursachen beschleunigt oder verzögert wird. Die jetzt gewählte Form zeigt recht deutlich den Zirkelschluß, welcher darin enthalten ist: Eine Bewegung ist gleichförmig, wenn die Wirkung der beschleunigenden oder verzögernden Ursache unmerklich ist. Da diese Wirkung offenbar die Beschleunigung oder Verzögerung ist, so kann man D'Alembert's Ausdrucksweise ersetzen durch: Eine Bewegung ist nahezu gleichförmig, wenn die Beschleunigung oder Verzögerung unmerklich ist, das heißt aber, eine Bewegung ist gleichförmig, wenn sie gleichförmig ist. Diese Sachlage würde sich nur dann verändern, wenn es gelänge, die beschleunigende oder verzögernde Ursache selbständig für sich, unabhängig von ihrer Wirkung zu erkennen. Denn dann könnte man schließen: Sobald diese Ursache unmerklich wird, muß es auch mit ihrer Wirkung, mit der Beschleunigung der Fall sein. Ich vermute, daß D'Alembert dieser Gedanke vorgeschwebt hat, glaube aber nicht, daß er dem tatsächlichen Verlauf unseres Naturerkennens entspricht. Denn tatsächlich schließen wir aus den Beschleunigungen auf die Kräfte. Sobald wir in einer Reihe von Fällen auf Grund von Beschleunigungen die Kräfte festgestellt haben und infolgedessen die Bedingungen für das Vorhandensein von Kräften kennen, brauchen wir allerdings nicht stets wieder auf die Beschleunigungen zurückzugreifen, sondern wir sind imstande, auch ohne sie Aussagen über die Kräfte zu machen. Doch ruhen diese Aussagen auf vorhergehenden Erfahrungen, bei welchen Beschleunigungen den Ausgangspunkt bilden. D'Alembert's drittes Merkmal der gleichförmigen Bewegung enthält vollständig neue Gesichtspunkte. Es werden die in denselben Zeitstrecken zurückgelegten Wege von

[1]) A. a. O. p. 13.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

verschiedenen Bewegungen gemessen. Sind diese Wege unter allen Umständen proportional, vor allen Dingen auch dann, wenn die Bewegungen zu verschiedenen Zeiten begonnen haben, so müssen die Bewegungen gleichförmig sein. Das ist in der Tat ein untrügliches Merkmal und setzt auch keine Zeitmessung voraus, sondern nur die Möglichkeit, den gleichzeitigen Beginn und das gleichzeitige Ende von zwei Wegen festzustellen.

Wie schon erwähnt wurde, gründet Poisson die Zeitmessung nicht auf die gleichförmige Bewegung, sondern weist dieses Verfahren ganz entschieden als unstatthaft zurück und tritt so in Gegensatz zu D'Alembert, welcher ausdrücklich die gleichförmige Bewegung als das einfachste, natürlichste und genaueste Zeitmaß bezeichnet. Dieser Gegensatz mildert sich aber dadurch, daß D'Alembert seine Gedanken nicht streng folgerichtig durchgeführt hat. Das erste von ihm aufgestellte Merkmal der gleichförmigen Bewegung enthält eine Definition gleicher Zeiten, welche von der gleichförmigen Bewegung völlig unabhängig ist. Poisson verwendet nun dasselbe Merkmal zur Definition von gleichen Zeiten. So verwandelt sich der ursprüngliche Gegensatz zwischen ihm und D'Alembert sogar in Uebereinstimmung. Betont man nur sie und übersieht man die Inkonsequenz in der Darstellung D'Alembert's, so kann man sagen, daß dieser eine Theorie der Zeitmessung gegeben hat, welche durch Poisson vertieft und erweitert worden ist. Die von H. Streintz gegebene Darstellung des Verhältnisses zwischen D'Alembert und Poisson ist also mit Vorbehalt aufzunehmen.[1]) Die hierher gehörigen Stellen aus Poisson's Mechanik sind die folgenden: „La notion des temps égaux et la mesure du temps ne sont fondées nécessairement sur aucune loi particulière de mouvement, et l'on peut, en conséquence, les supposer dans la définition du mouvement uniforme et de toute autre sorte de mouvemens.

„Concevons, en effet, que des corps parfaitement identiques se meuvent successivement, et que, pendant toute la durée de son mouvement, chacun des mobiles se trouve exactement dans le même état que celui qui l'a précédé: il est évident que tous ces mouvemens, dont la loi n'est pas donnée, s'exécuteront en temps égaux, et que leur nombre pourra servir de mesure au temps. Ainsi, par exemple, si ces corps sont pesans et retenus par un axe fixe horizontal, qu'on les écarte tous également de leur position de l'équilibre, et qu'on les abandonne ensuite à eux-mêmes, de sorte que le mouvement du second commence dès que le premier est revenu à cette position, celui du troisième aussitôt que le second y est revenu de même, et ainsi de suite, il n'y aura aucune différence possible entre tous ces mouvemens successifs qui s'achèveront en temps égaux. On prouvera par la suite qu'il n'est pas nécessaire pour cela que ce soient différens mobiles qui se succèdent, et que les oscillations successives d'un même corps, de part et d'autre de sa position d'équilibre, sont aussi isochrones, ou d'égale durée; mais la considération précédente, qui ne suppose la solution d'aucun problème de Mécanique, suffit à l'objet que nous nous sommes proposé." [2])

Es hat nun Streintz behauptet, daß diese auf D'Alembert sich gründende Darstellung Poisson's eine endgültige Lösung des Problems der Zeitmessung enthalte. Nur sei sie leider nicht sehr bekannt geworden und werde von den Forschern, die sich mit dieser Frage beschäftigt haben, nicht beachtet.[3]) Wir wollen deshalb etwas genauer auf diese Lösung eingehen, die in der Tat viel Ueberzeugungskraft zu besitzen scheint. Ein Vorgang, der sich in völlig identischer Weise wiederholt, unterscheidet sich von seinem ersten Verlauf nur durch die Zeit und den Ort seines Stattfindens. Schreibt man ihm dieselbe Dauer zu wie dem ersten, so spricht man damit nur den allen Zeitmessungen stillschweigend zu Grunde liegenden Satz aus, daß die Dauer eines Ereignisses von Zeit und Ort unabhängig ist. Es unterliegt keinem Zweifel, daß dieser Grundsatz mit mehr oder weniger deutlichem Bewußtsein bei allen Zeitmessungen verwendet wird. Wenn man früher die Dauer eines Sonnentages als unveränderliche Einheit wählte, so war man der Meinung, daß die scheinbaren Umläufe der Sonne am Himmelsgewölbe Vorgänge seien, die sich in derselben Weise wiederholen. Auf einer entsprechenden Annahme ruht die Zeitmessung durch brennende Kerzen, durch Sand-, Wasser-, Gewichts- und Pendeluhren. Könnte man völlig identische Kerzen herstellen, so müßten sie in derselben Umgebung offenbar die gleiche Brenndauer haben. Eine Wasser- oder eine Sanduhr wird ein um so besseres Zeitmaß liefern, je mehr es gelingt, ihr stets wieder dieselbe

[1]) H. Streintz, Die physikalischen Grundlagen der Mechanik, S. 81 bis S. 89.
[2]) Poisson, Traité de Mécanique, Sec. Edition, Tome prem., p. 205—206.
[3]) H. Streintz, Die physik. Grundlagen der Mechanik, S. 81.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Füllung zu verleihen. Die Genauigkeit einer Pendeluhr hängt nur von dem Grade ab, bis zu welchem es möglich ist, die aufeinanderfolgenden Pendelschläge zu identischen Vorgängen zu machen. Der Gedanke, daß bei unveränderter Wiederholung eines Vorganges nur die Dauer sich ändert, erscheint als absurd. Wir würden uns stets gezwungen sehen, nach einer Ursache für diese Veränderung zu suchen, und uns dann nicht dazu verstehen können, den zweiten Vorgang als identisch mit dem ersten zu bezeichnen. Wenn also alle Zeitmessungen tatsächlich auf der Annahme beruhen, daß die Dauer eines Ereignisses von Zeit und Ort unabhängig ist, so liegt die Vermutung nahe, daß diese Annahme notwendig ist. Es läßt sich nun auf ähnliche Art wie bei der Raummessung der Nachweis führen, daß die gegenteilige Annahme auch hier ganz unhaltbar und unverständlich ist. Wollte man in verständlicher Weise die Abhängigkeit der Dauer eines Ereignisses von seinem Orte feststellen, so müßte es möglich sein, die Dauer eines identisch sich wiederholenden Vorganges an verschiedenen Orten zu messen. Dabei müßten zunächst die Orte der aufeinanderfolgenden identischen Vorgänge eindeutig bestimmt werden. Schon das ist unmöglich. Eindeutige Ortsbestimmungen lassen sich nicht ausführen. Man hätte aber weiter die veränderliche Dauer der identischen Vorgänge zu ermitteln. Dazu brauchte man einen konstanten Zeitmesser. Die Abweichungen von ihm wären die gesuchten Veränderungen. Da die Dauer eines Ereignisses von seinem Orte abhängig sein soll, so würden auch die Angaben des Zeitmessers sich mit dem Orte verändern. Deshalb wären nur solche Zeitmesser konstant, die keine Ortsveränderungen erleiden. Wir kennen aber keine absolut ruhenden Körper und können deshalb auch keine ruhenden Zeitmesser verwenden. Und selbst wenn sie vorhanden wären, könnten wir sie nicht brauchen, weil wir bei unserer schnellen irdischen Fahrt durch den Weltraum schon nach kurzer Zeit zu weit von ihnen entfernt sein würden.

Ungefähr dieselben Einwände lassen sich gegen die Annahme erheben, daß die Dauer eines Vorganges von der Zeit abhängig ist. Ich begnüge mich mit dem Hinweis, daß zur Prüfung dieser Annahme ein konstanter Zeitmesser erforderlich wäre. Sobald die Dauer eines Ereignisses eine Funktion der Zeit ist, gibt es keinen solchen Zeitmesser. Sie würden vielmehr Funktionen der Zeit sein, würden sich mit der Zeit verändern und könnten dem Einfluß der Zeit nicht entzogen werden.

D'Alembert und Poisson haben also den Begriff gleicher Zeiten auf unentbehrliche Voraussetzungen gegründet, die wir nicht zurückweisen können. Nur eine Frage bleibt noch offen, die nach dem Begriff identischer Vorgänge. Poisson beschränkt sich dabei auf die Bemerkung, daß die Körper selbst identisch sind, und daß jeder während der ganzen Dauer der Bewegung sich genau in denselben Zuständen der Bewegung befindet wie alle anderen. Außerdem erwähnt er ein Beispiel von identischen Vorgängen. Sehen wir uns die Sache etwas genauer an, so werden wir durch die Worte Poisson's nicht vollständig befriedigt. Was sind dieselben Zustände der Bewegung? Zu ihnen gehören bekanntlich die Geschwindigkeit und die Beschleunigung, zwei Eigenschaften, die ohne den Begriff gleicher Zeiten nicht aufgestellt werden können. Also kommen wir auf denselben Zirkel wie bei der Definition von gleichen Zeiten durch die gleichförmige Bewegung. Es wird der Begriff, der definiert werden soll, bei der Definition bereits vorausgesetzt. Wir konnten das im voraus mit einiger Wahrscheinlichkeit erwarten, weil die gleichförmige Bewegung ebenfalls aus identischen Vorgängen zusammengesetzt ist. Beim Durchlaufen der aufeinanderfolgenden gleichen Wege handelt es sich um identische Vorgänge. Die Definition Poisson's unterscheidet sich von derjenigen, welche auf die gleichförmige Bewegung gegründet wird, nur dadurch, daß sie allgemeiner ist.

Wir sind geneigt, solche Definitionen, welche den zu definierenden Begriff schon voraussetzen, als falsch beiseite zu schieben. Wir bezeichnen ja als den Zweck einer Definition gewöhnlich eine Klarstellung des Begriffes. Die Erreichung dieses Zweckes erscheint ausgeschlossen, sobald wir uns des Begriffes zur Definition mittelbar oder unmittelbar bedienen. Betrachten wir aber die Sache nicht vom rein logischen Standpunkt, stellen wir nicht die Forderungen auf, welche bei einer systematischen Darstellung der Begriffe erfüllt werden müssen, sondern berücksichtigen wir die Gesichtspunkte der historischen Entwicklung, legen wir uns die Frage vor, wie die Begriffe historisch entstanden sind und tatsächlich verwendet werden, so gewinnt die Sache ein ganz anderes Aussehen. Da kommt man zu der Erkenntnis, daß die Definition Poisson's wenigstens teilweise den Tatbestand darstellt, wie er historisch vorliegt.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Die Zeitmesser sind in Wirklichkeit immer auf identische Vorgänge gegründet worden. Bei allen unseren Uhren kommt dieser Gedanke zur Geltung. Zwei Zeiträume sind immer dann als gleich bezeichnet worden, wenn in ihnen identische Vorgänge sich abspielen. Der Einwand, daß die identischen Vorgänge ohne den Begriff gleicher Zeiten nicht definiert werden können, ändert nichts an dieser Tatsache. Denn die Unmöglichkeit der Definition hat nicht die Unmöglichkeit des Begriffes selbst zur Folge. Ein Begriff wird gebildet und praktisch verwendet auch ohne seine Definition. Freilich erlangt er dabei nicht seine volle Klarheit und Schärfe. Diese Eigenschaften erwirbt er vielmehr erst, wenn seine Entwicklung abgeschlossen ist. Das ist nun keineswegs der Fall mit den Begriffen gleicher Zeiten und identischer Vorgänge. Obgleich sie eine lange Entwicklung durchgemacht haben, sind sie noch nicht an dem Punkte angelangt, wo sie endgültig festgelegt werden könnten. Das würde übrigens eine Erstarrung und eine Hemmung jeder weitern Entwicklung nach sich ziehen. Weil die praktische Verwendung eines Begriffes bis zu einem gewissen Grade von seiner Definition unabhängig ist, so konnte der Begriff identischer Vorgänge im Laufe der Zeiten verschieden verwendet werden. Umgekehrt bestätigt dieser schwankende Gebrauch unsere eben aufgestellten Ansichten. Als man die Zeitintervalle den verbrannten Längen von einer oder von mehreren gleichen Kerzen proportional setzte oder den ausgeflossenen Mengen von Sand oder von Wasser, da hielt man Vorgänge für identisch, die wir jetzt als nicht identisch bezeichnen müssen. Man konnte die kleineren Unterschiede solcher Vorgänge nicht feststellen. Man kannte die feineren Bedingungen nicht, welche auf den Verlauf eines Ereignisses einwirken. Der Grundgedanke war aber damals wie jetzt, die aufeinanderfolgenden Prozesse an identischen Körpern und unter identischen Bedingungen vor sich gehen zu lassen. Man erhielt so eine nach unseren heutigen Begriffen sehr ungenaue Zeitmessung. Sie genügte jedoch den jeweiligen Bedürfnissen, sobald man nur diejenigen Vorgänge benutzte, deren Identität nach dem Stande irgend einer Epoche am besten verbürgt war. Auf Grund einer solchen wenn auch rohen Zeitmessung konnte man Naturgesetze aufstellen, welche wieder zur Vervollkommnung der bereits vorhandenen Zeitmessung dienten. Denn sie enthielten auch Bedingungen für den Verlauf derjenigen Vorgänge, welche zur Zeitmessung verwendet wurden, zeigten, von welchen Umständen die Dauer derselben abhängig war, und ermöglichten so eine schärfere Bestimmung dieser identischen Vorgänge und ihrer Abweichungen von der Identität. Die fortschreitende Naturerkenntnis führte dann ganz von selbst dazu, Vorgänge ausfindig zu machen, welche in höherem Grade identisch waren als alle vorher gebräuchlichen. Ein solcher wichtiger Fortschritt war z. B. die Erfindung der Pendeluhr. Die aufeinanderfolgenden Schläge eines Pendels waren zu Huyghens' Zeit die genauesten identischen Vorgänge, genauer als alle vorher bekannten. Mit ihrer Hilfe erlangte man ein Urteil über die Ungenauigkeit der früheren Zeitmesser. Die weitere Entwicklung bediente sich verschiedener Mittel, z. B. des Vergleichs von mehreren mit großer Sorgfalt hergestellten Uhren, welche unter verschiedenen äußeren Bedingungen in Gang gesetzt wurden. Dadurch erkannte man nicht nur, welche Uhren aller Wahrscheinlichkeit nach am richtigsten gehen, sondern man erhielt zugleich die Bedingungen für ihren Gang. Auf Grund solcher Gesetze ist es möglich, alle störenden Einflüsse fast gänzlich zu beseitigen. Je besser das gelingt, desto mehr sind die aufeinanderfolgenden Schläge eines Pendels identische Vorgänge. In vollkommener Weise ist es allerdings niemals möglich, alle Einflüsse fernzuhalten, welche den Gang eines Pendels verändern. Auch ist es nicht ausgeschlossen, daß im Laufe der Zeiten neue Störungen erkannt werden. Wir können jedoch Pendel von solcher Vollkommenheit anfertigen, daß ihre aufeinanderfolgenden Schläge nahezu identische Vorgänge sind. Die Abweichungen können in vielen Fällen vernachlässigt werden, weil sie kleiner sind, als andere bei wissenschaftlichen Beobachtungen unvermeidliche Fehler. Wir sind sogar imstande, den Betrag dieser kleinen Abweichungen von der Identität wenigstens teilweise festzustellen, einmal auf Grund der Naturgesetze, die uns ermöglichen, die Größe von störenden Einflüssen zu berechnen, z. B. von Temperaturschwankungen, von Veränderungen der Gravitation, und weiter durch einen Vergleich mit Vorgängen, die in noch vollkommnerem Grade identisch sind als Pendelschwingungen. Als solche Vorgänge betrachten wir gegenwärtig die Rotationen der Erde um ihre Achse. Wenn ein Pendel während der aufeinanderfolgenden Umdrehungen der Erde eine verschiedene Anzahl von Schwingungen ausführt, so bezeichnen wir seinen Gang als unregelmäßig. Die Abweichungen schreiben wir allein der Ungenauigkeit der Pendelschläge zu. Der gegenwärtige

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Stand unserer Naturerkenntnis sagt uns, daß die Veränderungen in der Umdrehungszeit der Erde verschwindend klein sind gegenüber denjenigen der Pendelschläge. Reden wir nun weiter von Veränderungen in der Umdrehungszeit der Erde, so heißt das offenbar, daß die einzelnen Umdrehungen keine absolut genauen identischen Vorgänge sind. Die Abweichungen von der Identität können wir nicht durch Vergleich mit einem besseren Zeitmesser prüfen, so lange die rotierende Erde als der beste betrachtet wird. Es bleibt uns nur das andere Hilfsmittel, welches uns ebenfalls in den Stand setzt, Abweichungen von der Identität zu erkennen. Die Naturgesetze lehren uns, welche Umstände auf die Dauer der Rotation der Erde von Einfluß sind. Wir sind auch imstande, die Größe dieser Einflüsse, wie der Flutreibung, der Abkühlung der Erde, wenigstens angenähert zu berechnen. Wir wissen deshalb, in welchem Maße die einzelnen Umdrehungen der Erde sich von der Identität unterscheiden. Reden wir also von einer Veränderung der Rotation der Erde, so vergleichen wir dieses Zeitmaß keineswegs mit einer absoluten Zeit, sondern mit einer gedachten Erde, auf welche jene Störungen nicht wirksam sind. Ob die Umdrehungen der so von uns konstruierten Erde wirklich identische Vorgänge sind, bleibt teilweise unentschieden. Die fortschreitende Naturerkenntnis kann uns neue Einflüsse enthüllen, welche die Umdrehungszeit verändern. Dann müssen wir auch unser Idealbild von der Erde umgestalten, indem wir es von den neuentdeckten Störungen befreit denken. Dadurch würden die Abweichungen unseres wirklichen Zeitmaßes von dem idealen ebenfalls andere Werte erhalten. Es bleibt ferner die Möglichkeit offen, daß wir noch Vorgänge in der Natur entdecken oder auf künstlichem Wege herstellen, welche in höherem Grade identisch sind als die Umdrehungszeiten der Erde. Darauf ist z. B. von W. Thomson und P. G. Tait hingewiesen worden. „Das definitive Normalmaß für genaueste Zeitmessung würde (falls nämlich das Menschengeschlecht einige Millionen Jahre auf der Erde leben sollte) auf die physikalischen Eigenschaften eines Körpers basiert werden müssen, der von einem konstanteren Charakter als die Erde ist. Das ist z. B. eine in einem luftleeren gläsernen Gefäße hermetisch verschlossene Metallfeder. Die Zeit der Vibration einer solchen Feder würde notwendig von einem zum anderen Tage viel konstanter sein als die Zeit der Rotation der Erde, die sich jedenfalls in solchem Grade abkühlt und zusammenzieht, daß in 50 Millionen Jahren die Dauer der Rotation schon eine recht beträchtliche Aenderung erleiden muß.“ [1]) Für unsere gegenwärtigen Betrachtungen ist es ziemlich gleichgültig, ob diese Ansichten von Thomson und Tait richtig oder falsch sind. An der von uns erwähnten Definition gleicher Zeiten wird nichts geändert, mögen wir die Umdrehungen der Erde oder die Schwingungen einer in einem luftleeren gläsernen Gefäße eingeschlossenen Metallfeder als bestes Zeitmaß betrachten. Das sind nur Unterschiede der praktischen Zeitmessung. Die theoretischen Definitionen bleiben dadurch ziemlich unberührt. In beiden Fällen sind identische Vorgänge die Grundlage des Begriffes gleicher Zeiten. Das ist sogar trotz mancher Gegensätze noch der Fall bei der oben erwähnten sogenannten absoluten Zeitmessung G. Lippmann's. Der Begriff gleicher Zeiten, der aus Lippmann's Darstellung gefolgert werden kann, erfordert ebenfalls identische Vorgänge. Praktisch läßt sich kein der Definition vollkommen entsprechendes Zeitmaß herstellen. Welches praktische Zeitmaß am vollkommensten ist, das folgt aus Naturgesetzen. Gegenwärtig wird allgemein noch der Rotation der Erde der Vorzug gegeben. Sollte ein anderes Zeitmaß dafür eintreten, so bleiben unsere theoretischen Grundlagen der Zeitmessung unverändert. Absolut vollkommen wird das neue Zeitmaß niemals sein. Seine Abweichungen von der Identität werden wir stets auf Grund von Naturgesetzen mit großer Genauigkeit bestimmen können. Diese Abweichungen des Zeitmessers, den wir für den vollkommensten halten, erlangen eine verständliche Bedeutung durch einen Vergleich mit einem idealen Zeitmesser, welcher den Störungen des wirklich gebrauchten Zeitmessers nicht ausgesetzt ist.

---

[1]) W. Thomson und P. G. Tait, Handbuch der theoretischen Physik, übers. v. Helmholtz und Wertheim, I. Bd., S. 406.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Stand unserer Naturerkenntnis sagt u Umdrehungszeit der
Erde verschwindend klein sind gegenü eden wir nun weiter
von Veränderungen in der Umdrehun , daß die einzelnen
Umdrehungen keine absolut genauen veichungen von der
Identität können wir nicht durch Ver prüfen, so lange die
rotierende Erde als der beste betr andere Hilfsmittel,
welches uns ebenfalls in den Stand t zu erkennen. Die
Naturgesetze lehren uns, welche Ums er Erde von Einfluß
sind. Wir sind auch imstande, die G ung, der Abkühlung
der Erde, wenigstens angenähert zu welchem Maße die
einzelnen Umdrehungen der Erde si Reden wir also von
einer Veränderung der Rotation der tmaß keineswegs mit
einer absoluten Zeit, sondern mit ene Störungen nicht
wirksam sind. Ob die Umdrehunge e wirklich identische
Vorgänge sind, bleibt teilweise une rerkenntnis kann uns
neue Einflüsse enthüllen, welche die üssen wir auch unser
Idealbild von der Erde umgestalten ten Störungen befreit
denken. Dadurch würden die Abw ßes von dem idealen
ebenfalls andere Werte erhalten. n, daß wir noch Vor-
gänge in der Natur entdecken oder che in höherem Grade
identisch sind als die Umdrehung von W. Thomson und
P. G. Tait hingewiesen worden. „ ste Zeitmessung würde
(falls nämlich das Menschengeschlec e leben sollte) auf die
physikalischen Eigenschaften eines on einem konstanteren
Charakter als die Erde ist. Das i nen Gefäße hermetisch
verschlossene Metallfeder. Die Ze würde notwendig von
einem zum anderen Tage viel ko on der Erde, die sich
jedenfalls in solchem Grade abkühl onen Jahren die Dauer
der Rotation schon eine recht b [1]) Für unsere gegen-
wärtigen Betrachtungen ist es zie von Thomson und Tait
richtig oder falsch sind. An de her Zeiten wird nichts
geändert, mögen wir die Umdreh en einer in einem luft-
leeren gläsernen Gefäße eingeschl ß betrachten. Das sind
nur Unterschiede der praktischen itionen bleiben dadurch
ziemlich unberührt. In beiden F Grundlage des Begriffes
gleicher Zeiten. Das ist sogar t bei der oben erwähnten
sogenannten absoluten Zeitmess leicher Zeiten, der aus
Lippmann's Darstellung gefolgert che Vorgänge. Praktisch
läßt sich kein der Definition vollk len. Welches praktische
Zeitmaß am vollkommensten ist, rtig wird allgemein noch
der Rotation der Erde der Vor tmaß dafür eintreten, so
bleiben unsere theoretischen G rt. Absolut vollkommen
wird das neue Zeitmaß niemals dentität werden wir stets
auf Grund von Naturgesetzen m en. Diese Abweichungen
des Zeitmessers, den wir für de e verständliche Bedeutung
durch einen Vergleich mit ein Störungen des wirklich
gebrauchten Zeitmessers nicht a

[1]) W. Thomson und P. G. Tait, Handbuch der ... ysik, übers. v. Helmholtz und Wertheim, I. Bd., S. 406.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf