

Längenmaße und =messungen einst und jetzt.

Ein Gewicht (schwerer Körper) legt freifallend in einer gegebenen Zeit eine bestimmte Strecke zurück. Die Hälfte des Gewichtes wird in derselben Zeit nur die halbe Strecke zurücklegen. So der Erzieher Alexanders des Großen, Aristoteles, einer der größten Denker des Altertums (De Coelo 3, 2 und 4, 1). Nach ihm müßte auch eine Platinkugel fast dreimal so schnell fallen als eine Eiskugel von gleicher Größe.

Wie konnte einem solchen Geiste das Unrichtige der obigen Behauptung entgehen? Er unterließ es, die Natur zu fragen. Ein Versuch hätte unbedingt Aufschluß geben müssen.

Wem verdankt unsere Zeit den raschen Aufschwung der Naturwissenschaften? Neben sorgfältiger Beobachtung der Naturvorgänge der Prüfung des Gefundenen durch den Versuch, das Experiment. Der Beobachter „be-
lauscht“ die Natur, durch den Versuch zwingen wir sie, Rede und Antwort zu stehen.

Beobachtet man den freien Fall von Körpern, so erkennt man leicht, daß die eintretende Bewegung zum Erdmittelpunkte gerichtet ist und mit zunehmender Geschwindigkeit stattfindet. Man wird sich damit aber nicht begnügen. Ist die Geschwindigkeitszunahme, vom Luftwiderstande abgesehen, in jedem Augenblicke gleich groß? Wenn ja, wie groß wird sie sein? In früheren Zeiten begnügte man sich oft mit qualitativen Beobachtungen und Versuchen, heute gehen das „Wie beschaffen“ und „Wie groß“ Hand in Hand. Die aus mannigfach abgeänderten Versuchen — „Versuchsreihen“ — erhaltenen Zahlen gewähren einen Einblick in den Zusammenhang der in Frage stehenden physikalischen Größen und ermöglichen zugleich die Anwendung der mathematischen Behandlung mit ihren Vorteilen. „Können Sie das, wovon Sie sprechen, messen und durch eine Zahl ausdrücken, so wissen Sie etwas von ihrem Gegenstande; können Sie es nicht messen, nicht in Zahlen ausdrücken, dann sind Ihre Kenntnisse ungenügend.“ So der bekannte englische Physiker William Thomson, der spätere Lord Kelvin (L. Poincaré, Moderne Physik). Die Messung der in Betracht kommenden Größen spielt daher eine hervorragende Rolle.

Messen heißt zwei Größen derselben Art miteinander vergleichen, um zu erfahren, wie oft die eine in der andern enthalten ist. Die dabei als Einheit angenommene Vergleichsgröße heißt Maßeinheit. Es bedarf keines Beweises: die Wissenschaft verlangt möglichst genau bestimmte Maßeinheiten; Wissenschaft und Praxis verlangen, daß die Maßeinheiten allen Kulturstaaten gemeinsame, von diesen gesetzlich eingeführte Größen sind. Wenn wir heute solche internationale Maßeinheiten besitzen, die unter sich einen erstaunlichen Grad der Übereinstimmung aufweisen, so ist das nicht das Werk eines Augenblickes gewesen. Das zeigt in anschaulicher Weise die Entwicklung des Längenmaßes.

I. Die Benutzung von Längenmaßen reicht hinauf bis in die graue Vorzeit. Zwei bei den Babyloniern, Ägyptern und andern Völkern des Altertums gebräuchliche Längenmaße, bekannt als kleine oder gewöhnliche und königliche Elle, finden sich nach Böckh bei zwei Klesphydren oder Wasseruhren von verschiedener Größe. Das Wassergefäß hatte Würfelform und die Kantenlänge eines solchen Würfels war die Längeneinheit, sein Wassergewicht diente zugleich als Gewichtseinheit. Bei den Babyloniern betrug die gewöhnliche Elle 495, bei den Ägyptern 450 Millimeter. Ob diese Maße einer gemeinsamen Quelle entstammen, ob den Ägyptern oder den Babyloniern die Urheberchaft zukommt, wieweit auch griechische und römische Maße darauf zurückzuführen sind — ist bis heute noch nicht völlig klargestellt. Einzelheiten findet man bei Böckh, Metrologische Untersuchungen; Hultsch, Griechische und römische Metrologie; Rissen im Handbuch der klassischen Altertumswissenschaft von J. v. Müller; Gerland, Geschichte der Physik; Lepsius, Die altägyptische Elle und ihre Einteilung.

Im allgemeinen waren die Längenmaße mit dem menschlichen Körper gegeben. Unbewußt befolgte man das Dichterwort: „Warum in die Ferne schweifen, wenn das Gute liegt so nah?“ Daran erinnern außer dem Wort Elle die Namen Fuß, Daumen, Finger, Hand, Spanne, Schritt — Maße, die uns auch heute noch gelegentlich begegnen. Das Unsichere und Schwankende solcher Maße liegt auf der Hand. Ganz abgesehen davon, daß die Fußlänge, die Spanne usw. schon bei demselben Menschen dehnbare Größen sind, fragt man weiter: Wessen Fuß, wessen Spanne soll gelten? Das bedingte bestimmte Festsetzungen, die Einführung von Maßstäben aus Holz oder Metall, die nur geringen Änderungen unterworfen waren. Im Mittelalter und weit darüber hinaus ging dabei jedes Land

und Ländchen seinen eigenen Weg. Es entstand eine bunte Fülle der verschiedensten Längenmaße, die oft sogar von Stadt zu Stadt wechselten, ein dem Kulturmenschen des 20. Jahrhunderts schier unerträglicher Zustand.

Mit dem 17. Jahrhundert beginnt eine stärkere Entwicklung. Der Gedanke an die Schaffung eines einheitlichen Maßes nimmt deutlichere Formen an, wir begegnen praktischen Vorschlägen. Der beste stammt von dem genialen holländischen Physiker Christian Huygens, bekannt unter anderem durch die Undulationstheorie des Lichtes. Huygens erhielt im Jahre 1657 ein Patent der Generalstaaten auf die Verbindung des Pendels mit einem Uhrwerk, die Pendeluhr in ihrer heutigen Gestalt. Huygens begnügte sich nicht mit der Konstruktion der Pendeluhr. In einem 1673 zu Paris erschienenen klassischen Werke *Horologium oscillatorium* behandelt er in gründlichster Weise die Pendelbewegung. Es gelingt ihm, die Beziehung zwischen der Pendellänge und der Schwingungsdauer ($T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$) aufzustellen und damit die von der Anziehungskraft der Erde herrührende Fallbeschleunigung g experimentell zu ermitteln. Das zu seinen Versuchen benutzte Pendel hatte die Schwingungsdauer von einer Sekunde, es war ein Sekundenpendel. Huygens hielt anfangs noch die Fallbeschleunigung und somit auch die Länge des Sekundenpendels für eine unveränderliche Größe, während sie in Wirklichkeit von der geographischen Breite und der Höhe über dem Meeresspiegel abhängt.

In einem am 10. Oktober 1664 an Moray geschriebenen Briefe spricht er von verschieden geformten Pendeln, deren Schwingungsdauer er durch die eines einfachen Fadenpendels ausdrückt. „Ich fand dabei“, sagt er, „sehr interessante Beziehungen, die sogar dazu dienen können, in bequemer Weise das allgemeine Maß aufzustellen, mit dem sich Vrounder beschäftigt.“ In einem andern Briefe vom 12. November 1664 kommt er auf denselben Gegenstand zurück und gibt bereits als Länge $9\frac{1}{2}$ rheinländische Zoll an bei Schwingungen von einer halben Sekunde. Das erwähnte Pendel besteht aus einem Faden mit schwerer Kugel; der Schwingungspunkt ist bestimmt (La Haye, *Oeuvres complètes*, T. V: *Lettres* Nr. 1258 1274). Im *Horologium oscillatorium*, Pars IV, *Propositio* 25 unterbreitet er der Öffentlichkeit den Vorschlag, die Länge des Sekundenpendels als Längeneinheit festzulegen. Der dritte Teil dieser Länge sollte *pes horarius* — Zeitfuß oder Stundenfuß — heißen. In sich war dieser Plan, von der Dreiteilung abgesehen, ausgezeichnet, nur

bedingte die Bestimmung dieses Längenmaßes die genaue Beobachtung der Zeiteinheit und die Festlegung des Beobachtungsortes.

Fast gleichzeitig, im Jahre 1670, tauchte ein anderer Plan auf. Eine durch den Nord- und Südpol der Erde gehende Kreislinie, Meridian genannt, sollte das neue Maß liefern. Teilt man den Meridian in 360 gleiche Teile oder Grade, jeden Grad wieder in 60 Teile oder Minuten, so sollte die Minute eines Meridiangrades das Normalmaß abgeben. Dieser Plan stammte von Gabriel Mouton aus Lyon. Die so erhaltene Strecke hätte dann weiter unterteilt werden müssen.

Eine Vergleichung beider Pläne läßt unschwer das Überlegene des Huygensschen Vorschlages erkennen. Die Bestimmung der Länge des Sekundenpendels ist wesentlich einfacher und genauer auszuführen als die Bestimmung einer Meridianminute durch die zeitraubende und umständliche Messung eines größeren Meridianbogens. Das Schwankende in der Länge des Sekundenpendels konnte durch eine einfache Festsetzung über den Versuchsort beseitigt werden. Es ist zu bedauern, daß unserer modernen Einheit nicht Huygens' sondern Moutons Vorschlag zugrunde liegt. Wie kam man zu dieser neuen Einheit?

II. Noch zu Huygens' Lebzeiten beobachtete der französische Astronom Jean Richer gelegentlich einer Expedition nach Cayenne, daß seine zu Paris richtig gehende Pendeluhr in Cayenne täglich um zwei Minuten zurückblieb. Das Pendel wurde entsprechend verkürzt. Nach Paris zurückgekehrt beobachtete Richer die umgekehrte Erscheinung, das Pendel mußte verlängert werden. Was war der Grund? Richer spricht vom Einflusse der Zentrifugalkraft, die Pariser Akademie will alles der Wärme zuschreiben. Huygens, der zuerst eine sichere Berechnung der Zentrifugalkraft durchgeführt hat, gibt die klare Lösung. Die durch die Achsendrehung der Erde bewirkte Zentrifugalkraft ist in den Äquatorgegenden größer als in nördlicheren Breiten. Auch ist ihre Richtung in den Äquatorgegenden mehr der Schwerkraft entgegengesetzt als anderswo. Die Zentrifugalkraft vermindert daher die Schwerkraft am Äquator stärker, und es muß das Pendel langsamer schwingen. Und noch etwas: die Zentrifugalkraft muß auch die Gestalt der nicht völlig starren Erdfugel beeinflussen. Die Entfernung von Pol zu Pol muß geringer sein als ein Durchmesser am Äquator, die Erde wird eine an den Polen abgeplattete Kugel sein. Newton, Huygens' größter Zeitgenosse, war der gleichen Ansicht. Beide suchten die Größe der Abplattung zu berechnen. Huygens' Wert fiel zu

klein, der von Newton zu groß aus. Es blieb nichts übrig, als eine Gradmessung vorzunehmen und die Längen von Meridiangraden in nördlichen und südlichen Gegenden zu vergleichen.

Bei einer Gradmessung sind zwei Größen zu bestimmen: 1. die Entfernung zweier Punkte auf demselben Meridian in Längenmaß. Dies ist eine eigentliche geodätische Längenmessung. Sie geschieht durch Dreiecksausmessungen — Triangulierung — unter Zugrundelegung einer sehr genau gemessenen kürzeren Strecke, der Basislinie. 2. Die Entfernung der beiden Punkte, in Graden, Minuten, Sekunden. Diese findet man astronomisch, indem man z. B. zusieht, um wieviel Grad sich der Himmelsnordpol gehoben hat, wenn man vom südlicher gelegenen Punkte zum nördlicheren fortschreitet. Man bedient sich dazu eines Fernrohrs, das um eine horizontale und vertikale Achse drehbar und mit Kreisteilungen versehen ist — vollständiger Theodolit oder Universalinstrument.

Hervorragende Mitglieder der Akademie begannen im Jahre 1680 eine Gradmessung von Paris aus nach Norden und nach Süden, die erst im Jahre 1718 nach einer Unterbrechung von 17 Jahren vollendet wurde. In der That ergab sich ein Unterschied in den Gradlängen, doch so, daß ein Grad auf der südlicheren Strecke Malvoisine-Collioure zu 57 097 Toisen bestimmt wurde (1 Toise = 6 Pariser Fuß = 1,949 Meter). Das bedeutete aber das Gegenteil der Huygensschen und Newtonschen Ansicht; es wäre die Erde in der Richtung von Pol zu Pol gestreckt gewesen, nicht abgeplattet sondern eiförmig. Newtons Landsleute standen fest zu ihrem Meister. Warum sollte der Fehler in der Theorie liegen? Konnte er nicht bei der Messung gemacht worden sein? Es kam zu einem heftigen wissenschaftlichen Streite zwischen Engländern und Franzosen. Nur eine neue Gradmessung konnte die Entscheidung bringen. Diese Messung wurde unter Ludwig XV. durch Bouguer, La Condamine und Godin auf spanischem Gebiete vorgenommen. Im Jahre 1735 ging eine wissenschaftliche Expedition nach Peru ab. Die Messung erstreckte sich vom Äquator aus nach Norden und Süden und ergab für die Länge eines Grades 56 736 Toisen. Fast gleichzeitig wurde durch Maupertuis, wohl auf Anregung und unter Mitwirkung von Celsius, in Lappland eine Gradmessung ausgeführt. Diese ergab bei $66^{\circ} 20'$ nördlicher Breite die Gradlänge zu 57 438 Toisen, also 702 Toisen mehr als am Äquator. Das besagte: am Pol ist die Erde weniger gekrümmt als am Äquator. Huygens und Newton behielten Recht. Die Engländer hatten durch die Franzosen über die Franzosen

gefielt. Jetzt war man imstande, die wahre Gestalt und die wahre Länge eines Erdmeridians zu ermitteln. Die Gradmessungen hatten den Boden geebnet für die Bestimmung der neuen Längeneinheit.

Die französische Nationalversammlung beschloß im Jahre 1791 die Einführung eines neuen Maß- und Gewichtssystems. Frankreichs bedeutendste Mathematiker und Physiker, unter ihnen Lagrange, Laplace, Laplace, Laplace, traten im März dieses Jahres zu einer Kommission zusammen. Huygens Vorschlag, das Sekundenpendel zu benutzen, kam in ernste Erwägung, gelangte aber leider nicht zur Annahme. Man wünschte eine von der Zeitmessung unabhängige Längeneinheit, außerdem gab die mit der geographischen Breite zusammenhängende Veränderlichkeit des Sekundenpendels zu denken. Die neue Länge sollte von der Natur unmittelbar geboten werden. Eine solche Größe war der Meridian. Man beschloß, vom vierten Teile des Meridians, einem Meridianquadranten, den zehnmillionsten Teil zu nehmen und ihn als Normalmaß „Meter“ einzuführen. Das Meter sollte dann nach dem Dezimalsystem weiter unterteilt werden. Warum diese Teilung des Meridianquadranten in 10 000 000 Teile?

Die neue Regierung in Frankreich wollte dem Dezimalsystem die weitestgehende Geltung verschaffen. Es wurde auch auf die Kreis- bzw. Winkelteilung ausgedehnt. Der vierte Teil des Kreises, einem rechten Winkel entsprechend, sollte 100 Grade enthalten. Der Grad wurde in 100 Minuten, die Minute in 100 Sekunden geteilt. Demnach zählte ein Viertelkreis mit 100 Graden $100 \cdot 100 = 10\,000$ Minuten. Anderseits betrug die Länge des Meridianquadranten nach der neuen Festsetzung $10\,000\,000\text{ m} = 10\,000\text{ km}$. Also war jetzt $1\text{ km} = 1$ Bogenminute auf der Erdoberfläche. Die Entfernung zweier Orte, in Kilometern angegeben, besagte zugleich ohne Umrechnung ihre Entfernung in Bogenminuten und umgekehrt. Die Verwirklichung des in sich guten Planes scheiterte an der dezimalen Teilung des Winkels. Sie ließ sich wegen der in allen astronomischen und geographischen Werken eingebürgerten Sexagesimalteilung nicht durchsetzen. So ließ man die neue Winkelteilung fallen, das Meter als zehnmillionster Teil des Meridianquadranten wurde beibehalten. Der bei Einführung des neuen Maßes verfolgte Zweck wurde also nur zum Teil erreicht.

Zur genauen Bestimmung der neuen Länge des Meters nahm man auf dem Meridianbogen zwischen Dünkirchen und Montjoux bei Barcelona eine neue Gradmessung vor. Die neue Maßeinheit wurde am 25. Juni 1800 gesetzlich zu 0,513 074 Toisen bestimmt. Zur Festlegung und bequemen

Vergleichung fertigte man im Jahre 1799 einen Platinstab von 25 mm Breite und 4 mm Dicke an. Der Abstand seiner Endflächen bei 0°C sollte das Meter sein. Es ist ein sog. Endmaßstab. Spätere Untersuchungen haben ergeben, daß dieser Urmeterstab etwas kürzer ist, als beabsichtigt war. Nach Bessel wäre die Länge des Meridianquadranten 10 000 856 m. Der Urmeterstab ist danach um 0,0856 mm, etwa eine Haarbreite, zu kurz geraten. Es würden sich übrigens bei jeder neuen Gradmessung geringe Abweichungen ergeben, so daß es zwecklos wäre, an der einmal festgelegten Einheit Änderungen vorzunehmen. Der oben beschriebene Platinstab wurde im Conservatoire des arts et métiers in Paris aufbewahrt. Unter dem Namen *Mètre des Archives* ist er das Urmaß für alle Meterstäbe geworden. Das Meter wurde in Frankreich 1837, im Norddeutschen Bunde 1868 gesetzlich eingeführt.

Von dem Urmeter mußten für den praktischen Gebrauch Nachbildungen hergestellt werden. Dabei zeigte sich, daß sowohl Form als Stoff zu wünschen übrigließen. Der Stab war zu dünn und veränderte leicht seine Gestalt; er war ein Endmaßstab aus weichem Metall, dessen Länge durch Abnutzung sich ändern konnte. Diese Übelstände gaben um so mehr zu denken, als im Jahre 1867 von den Mitgliedern der „Europäischen Gradmessung“ zu Berlin beschloffen wurde, das Meter für alle europäischen Länder als Längeneinheit einzuführen.

III. Mit dem Jahre 1867 beginnt die letzte Entwicklungsstufe, aus der das Meter als internationale wissenschaftliche und praktische Einheit endgültig hervorgehen sollte. Mannigfache Hindernisse, darunter der Deutsch-Französische Krieg, verzögerten die Ausführung. Erst am 20. Mai 1875 unterzeichneten die Vertreter von 18 Staaten, unter andern Deutschland, Österreich, Ungarn, Frankreich, die Schweiz, die Vereinigten Staaten, einen Vertrag zur Gründung eines wissenschaftlichen Institutes, das sich mit allen einschlägigen Fragen und Arbeiten zu befassen hatte. Es ist das Bureau international des Poids et Mesures in der Pariser Vorstadt Sèvres, eingerichtet im „Pavillon de Breteuil“ am Abhang der Höhe St. Cloud auf dem westlichen Seineufer. Ein von Vertretern der vertragschließenden Staaten gebildeter Ausschuß führt die Aufsicht. England trat dem Übereinkommen erst im Jahre 1884 bei.

Zuerst galt es nun, ein Abbild des vorhandenen Urmeters zu schaffen. Folgende Forderungen waren zu erfüllen: 1. großer Widerstand gegen Gestalts- und damit verbundene Längenänderungen; 2. Unmöglichkeit der

Abnutzung; 3. genaue Übereinstimmung mit dem Vorbild in der Länge. Die erste Forderung wurde erfüllt durch einen X-förmigen Querschnitt. Man wählte nicht reines Platin, sondern eine widerstandsfähigere Legierung von 90% Platin und 10% Iridium. Die zweite Forderung, Verhinderung der Abnutzung, wurde dadurch erfüllt, daß man den Stab nicht als Endmaßstab (*étalon à bout*), sondern als Strichmaßstab (*étalon à trait*) ausbildete. Zu diesem Zwecke erhielt der ganze Stab eine Länge von 102 Zentimetern. Je 1 Zentimeter vom Ende abgehend gibt ein Querstrich die genaue Grenze des Meters an. Es wurden sofort eine Reihe von Stäben, entsprechend der Zahl der beteiligten Staaten, angefertigt. Der dem Urmeter am nächsten kommende Stab wurde mit einem gotischen M bezeichnet und zum internationalen Prototyp des Meters bestimmt. Die Länge dieses Stabes bei 0°C ist unsere heutige Längeneinheit. Seine Abweichung vom ursprünglichen *Mètre des Archives* beträgt weniger als $\frac{1}{10\,000}$ mm. Auffallend ist, daß das Metall für die neuen Stäbe von einer englischen Firma geliefert wurde, während England selbst für sich und seine Kolonien das Meter bis heute nicht als gesetzliche, sondern nur als fakultative Einheit angenommen hat. Die übrigen Stäbe wurden durch das Los an die verschiedenen Staaten verteilt. Das Deutsche Reich erhielt den Stab Nr. 18. Bei 0° ist seine Länge gleich 1 m—1,0 μ (1 μ = 1 Mikron = 0,001 mm), wobei die Abweichung bei mittlerer Temperatur auf 1 bis 2 zehntausendstel Millimeter bestimmt ist.

Diese Vergleichen der Stäbe mit dem Prototyp geschehen mit sog. Komparatoren. Die beiden zu vergleichenden Stäbe ruhen parallel nebeneinander auf einem Schlitten und werden bei der Messung nicht berührt. Durch Schlittenverschiebung werden abwechselnd die entsprechenden Endstriche des zu prüfenden Stabes und die des Prototyps unter zwei mit Mikrometern versehene Mikroskope gebracht und die zu diesem Zwecke eigens ausgebildeten Fadentreuze auf die Endstriche eingestellt. Aus den dazu nötigen Umdrehungen der Mikrometerschrauben erhält man die Abweichung des neuen Stabes vom Urmaß. Die Mikroskope des internationalen Bureaus ruhen auf zwei vom Zimmerboden unabhängigen Steinsäulen. Durch fließendes Wasser ist Sorge getragen, daß beide Stäbe dieselbe Temperatur besitzen. Sind die Stäbe aus verschiedenen Metallen hergestellt und geschieht die Messung nicht gerade bei 0°, so wird das gefundene Ergebnis auf die Normaltemperatur umgerechnet.

Nichts gibt ein besseres Bild von den Fortschritten der physikalischen Messung als die Vergleichung der Maßstäbe einst und jetzt. Benoit, der Direktor des internationalen Bureaus für Maße und Gewichte, macht unter anderem folgende bezeichnende Angaben (vgl. L. Poincaré, *Moderne Physik*): In Frankreich war lange Zeit die Toise du Châtelet der grundlegende Maßstab für Längenmessungen. Es war eine Eisenstange, die 1668 in die äußere Mauer am Fuße der Treppe des Châtelet (altes Schloß, später Gerichtshof an der Seine zu Paris) eingefügt wurde. Die Stange lief in zwei rechtwinklige Vorsprünge aus, und alle Maßstäbe des Handels mußten genau in diese Vorsprünge passen. Auf Temperaturänderungen wurde nicht gesehen, der Stab war Wind und Wetter ausgesetzt und unterlag zudem stark der Abnutzung. Dieser Normalmaßstab wurde im Jahre 1766 durch die Toise de Pérou ersetzt. Dies war ein Stab, der zu den Messungen in Peru unter La Condamine und Bouguer gedient hatte. Selbst bei Maßstäben, die zu solchen wissenschaftlichen Messungen dienten, wurde ein Fehler von $\frac{1}{10}$ mm einfach vernachlässigt. Delambre sagte am Ende des 18. Jahrhunderts in einem Werke „Über die Grundlagen des metrischen Dezimalsystems“, Größen von $\frac{1}{100}$ mm schienen ihm für Beobachtungen unzugänglich, selbst bei wissenschaftlichen Untersuchungen von höchster Genauigkeit. Heute wird bei der Bestimmung eines Normallängenmaßstabes für eine Genauigkeit von zwei bis drei Zehntausendstel eines Millimeters Gewähr geleistet. Die Meterprototypen der einzelnen Staaten sind mit dem internationalen Prototyp zu Paris bis auf ein bis zwei Zehntausendstel eines Millimeters verglichen. Man ist dahin gelangt, die Genauigkeit der Maße in hundert Jahren im Verhältnis 1000 : 1 größer werden zu lassen. Treffend bemerkt Benoit: Zwischen dem Maßstab, der bestimmt ist, die Einheit zu bilden, und dem Instrument, das bestimmt ist, ihn zu beobachten, besteht eine Art Kampf, der sich bis zu einem gewissen Punkte dem vergleichen läßt, der auf einem andern Gebiete zwischen Geschütz und Panzer geführt wird.

Solange es sich um einen festen Maßstab handelt, dürfte man ziemlich an der Grenze des Erreichbaren angelangt sein. Die Endstriche können nicht unter eine bestimmte Dicke heruntergehen, da sie noch im Mikroskop sichtbar sein sollen. Nach v. Helmholtz und Abbe müssen bei zentraler Beleuchtung die Gegenstände wenigstens 0,0002 mm Durchmesser haben, damit sie noch mikroskopisch gesehen werden können; bei schiefer Beleuchtung lassen sich noch zwei Punkte unterscheiden, die nur 0,00012 mm voneinander abstehen.

Dem Meter sollte eine durch die Natur gegebene Strecke zugrunde liegen. So war es die Absicht der 1791 eingesetzten Kommission. Wurde diese Absicht erreicht? Bietet die Natur überhaupt ein wirklich unveränderliches Fundament für die neue Maßeinheit, so daß man sie, auch wenn das Prototyp und sämtliche Nachbildungen verlorengingen, aus der Natur selbst wiedergewinnen könnte? Eine Meridianmessung kann wegen der unvermeidlichen Beobachtungsfehler und anderer Schwierigkeiten, z. B. ungleiche Längen verschiedener Meridiane, nicht in Betracht kommen. Aber das Licht, unser schnellster Bote, unser feinsten Zeichner, unser zuverlässigster Beobachter, bietet dieses Mittel. Fizeau, der zuerst die Geschwindigkeit irdischer Lichtstrahlen bestimmte, hat das bereits angedeutet: „Ein Lichtstrahl mit seinen Reihenfolgen wellenförmiger Bewegungen, die außerordentlich klein aber völlig regelmäßig sind, kann als ein Mikrometer von höchster Vollendung betrachtet werden, das sich besonders zur Längenmessung eignet.“ Zugleich dürfen wir die Wellenlängen dieser Ätherschwingungen, die das Wesen des Lichtes ausmachen, als unveränderliche Größen ansehen. Man hat es hier mit sehr kleinen Größen zu tun, die je nach der Strahlenart (Farbe) verschieden sind und im Mittel nur 0,0005 mm betragen. Mit Hilfe von Interferenzerscheinung (Verstärkung bzw. Schwächung zusammenstreichender Wellen) lassen sich diese Wellenlängen sehr genau ermitteln. Der amerikanische Physiker Michelson hat auf diese Weise die Länge des Meters in Wellenlängen des roten, von Radiumdämpfen ausgesandten Lichtes bestimmt, Benoit, Fabry und Perot nahmen davon unabhängig eine zweite Messung mit durchgehendem Lichte vor, während Michelson mit reflektiertem Lichte arbeitete. Die Länge des Meters betrug:

nach Michelson . . . 1 m = 1553 164,03 Wellenlängen,

nach Benoit, Fabry u. Perot 1 m = 1553 164,13 „

Das ist ein Unterschied von nicht mehr als 6 millionstel Prozent. Die Länge des Meters ist damit bestimmt und festgelegt bis auf etwa $0,06 \mu$, die erzielte Genauigkeit beträgt rund $\frac{1}{10\,000}$ mm. Das sind Muster exakter Messung, Glanzleistungen ersten Ranges. Selbst wenn sämtliche Etalons zugrunde gingen, wäre man imstande, das Urmeter mit der obigen Genauigkeit wiederherzustellen.

Messungen dieser Art erfordern selbstverständlich erstklassige Hilfsmittel. Solche besitzen die Normaleichungskommissionen, für das Deutsche Reich in Charlottenburg. Ist man in diesen Messungen nicht zu weit gegangen und erstrebt man nicht Genauigkeiten, die über die Ziele des praktischen

Lebens weit hinausgehen? R. Schœel antwortet darauf im „Handwörterbuch der Naturwissenschaften“: „Die Zentralstellen haben auch höheren Anforderungen zu genügen, indem sie beispielsweise geodätische Meßwerkzeuge mit weitergehender Präzision zu beglaubigen haben, als es Handel und Wandel je verlangt; ferner aber haben sie auch die Aufgabe, einer Degenerierung des Maßwesens überhaupt vorzubeugen. Das kann aber nur dadurch geschehen, daß man an einer Zentralstelle wirklich das Vollkommenste zu erreichen sucht und Längenvergleichen mit der größtmöglichen Genauigkeit ausführt.“

Wenn uns heute Längenangaben begegnen, so müssen sie in Metern und seinen Teilen oder Vielfachen gemacht sein. Das sehen wir als etwas Selbstverständliches an, vergessen aber über dem Allgewohnten, welcher Mühe es bedurfte, um dem Ideal nahezu kommen. Erst müssen uns Meilen, Werst und Fuß begegnen, dann unterdrücken wir den aufsteigenden Grimm und freuen uns der neuen Einheit. Diese Freude vermehre noch der folgende Vergleich:

1 Meter	= 3,186 rheinl. (preuß.) Fuß	zu 12 Zoll, der Zoll zu 12 Linien,
1 „	= 3,426 bayerische	„ „ 12 „ „ „ 12 „
1 „	= 3,491 württembergische	„ „ 10 „ „ „ 10 „
1 „	= 3,531 sächsische	„ „ 12 „ „ „ 12 „
1 „	= 3,333 badische	„ „ 10 „ „ „ 10 „
1 „	= 3,078 Pariser	„ „ 12 „ „ „ 12 „
1 „	= 3,281 englische	„ „ 12 „ „ „ 10 „

Hermann Koch S. J.