

200 Jahre französisches Urmaß, 130 Jahre metrisches Maßsystem in Deutschland

Messen und Maß sind Begriffe, die uns täglich begegnen. Ein Zusammenleben von Menschen ist heutzutage ohne Maße und ohne Messen nicht mehr vorstellbar. Das Messen ist so sehr Bestandteil unseres Lebens geworden, daß wir schon gar nicht mehr bemerken, wann wir etwas messen, was wir messen oder wie wir ein Meßergebnis zur Kenntnis nehmen und auswerten.

Selbst ein Geodät denkt bei seiner täglichen Arbeit oft nicht mehr über die Definition seiner vielfältigen Meßgrößen nach - er wendet sie lediglich an.

Die Maß- und Gewichtskunde, allgemein als Metrologie bezeichnet, gliedert sich in vier Bereiche, die voneinander abhängig sind und sich deshalb in ihrer Entwicklung beeinflussen:

- ⌘ die historische Metrologie, die sich mit der Geschichte des Messens beschäftigt,
- ⌘ die technische Metrologie, zu der die Meß- und Hilfsmittel, die Normalgeräte und die Meßräume gerechnet werden,
- ⌘ die gesetzliche Metrologie, die das staatlich geordnete und beaufsichtigte Meßwesen umfaßt sowie
- ⌘ die theoretische Metrologie, die sich vorwiegend mit den Maßeinheiten, den Maßsystemen und deren theoretischen Zusammenhängen befaßt.

Die gesetzliche Metrologie, die den eigentlichen Anlaß dieses Aufsatzes liefert, kann nicht ohne ihren historischen und technischen Hintergrund eingeordnet werden, weshalb zunächst diese zwei Aspekte näher beleuchtet werden sollen. Dabei soll exemplarisch die Längeneinheit im Vordergrund stehen. Welche Einheiten zur Definition eines vollständigen Einheitensy-

stems vonnöten sind, wird am Ende des Aufsatzes näher erläutert.

Historische Metrologie

Die ältesten bekannten Funde von Meßgeräten stammen aus Vorderasien und Ägypten. Ein in Altbabylon gebräuchliches Längenmaß ist durch eine Skulptur eines Stadtfürsten, der auf den Knien einen Maßstab mit Skalenteilung trägt, überliefert. Sie wird auf 2000 v.Chr. datiert und legt die sogenannte „Gudea-“ (Stadtfürst-) Elle fest. Außer der *Elle* kannte man noch die Längeneinheiten *Rohr*, *Schritt*, *Fuß*, *Spanne*, *Hand*, *Finger* und *Gerstenkorn*. Über alle späteren Kulturen (Ägypter, Römer, Chinesen, Inder etc.) setzte sich die grundsätzliche Einteilung der Längen in Maße, die direkt vom Menschen oder aus dessen Umgebung ableitbar sind, bis in die Neuzeit fort. Da jedoch jeder Herrscher die Maßeinheiten immer nur in seinem Herrschaftsbereich festlegen konnte, er aber wiederum meist aus Prestige Gründen die Maße seines Nachbarn nicht anerkannte, entstand eine Heterogenität der Längenmaße.

Eine starke Zentralgewalt, die ein einheitliches Maßsystem hätte durchsetzen können, gab es nicht.

Daher bemühte sich die Wissenschaft ih-

rerseits, ein solches System zu finden, das, frei von nationalen Besonderheiten, den zukünftigen Anforderungen entsprechen sollte und daher Aussicht hatte, international anerkannt zu werden.

Technische Metrologie

Dabei blieben die Forderungen an ein Maßsystem zu allen Zeiten gleich:

- § Auswahl und Unveränderlichkeit der Maßeinheit,
- § Einfachheit des Systems,
- § Bequemlichkeit beim Gebrauch,
- § Reproduzierbarkeit.

Nun gibt es zwei Möglichkeiten der Definition eines Längenmaßes, nämlich als Natur- oder als Urmaß.

Als Naturmaß bezeichnet man ein Maß, welches direkt aus der Natur abgeleitet werden kann. Durch den direkten Rückgriff auf die Natur werden Vergleichsmessungen, die z.B. für eine möglichst weite Verbreitung einer Maßdefinition vonnöten sind, unnötig. Der Umweg über sogenannte Urmaße und ihre Realisierung über Prototypen ist somit eigentlich nur zweite Wahl. Im Laufe der Geschichte ergaben sich viele Definitionen verschiedener Naturmaße. Naheliegend waren zunächst die schon erwähnten Körpermaße. Diese Maße sind aber nun alles andere als konstant (sie variieren von Mensch zu Mensch). So entstand als nächstes die Idee, Maße eines einzelnen Menschen anzuhalten, wobei sich die jeweiligen Herrscher als „Prototypen“ anboten: die Länge des Fußes Karls des Großen (789 n.Chr.) oder die Entfernung der Nasenspitze von Englands König Heinrich I bis zu dessen Daumen am seitlich ausgestreckten Arm (= 1 Yard, 1101 n.Chr.). Aber diese Festlegungen überdauerten selten die jeweilige Herrschaftszeit.

Auch die dem Geodäten wohlbekannte

Methode der Mittelbildung wurde angewandt, um die Reproduzierbarkeit eines Naturmaßes zu erhöhen. Der Sachsenspiegel, quasi die erste Gesamtniederschrift deutschen Rechts, schlug im Mittelalter (1230) vor, die Summe der Fußlängen von 15 Männern als eine Rute zu definieren. Diese Privatarbeit des Anhaltiners Eike von Repkow verwendete schon nicht mehr den Kaiser oder einen Fürsten als „Maß aller Dinge“, vielleicht aber auch nur, weil er ja eben nicht von diesen beauftragt worden war.

Die Erde als Maßstab

Der wissenschaftliche Ansatz bedeutete in der Zeit von Newton und Descartes (um 1700) eine Abkehr vom Menschen als zentralem Bezug hin zur Umwelt und Natur im Wortsinn: der Erde.

Auf der Suche nach ableitbaren Größen aus der Erde erarbeitete die Französische Akademie der Wissenschaften zunächst drei Ansätze:

- § ein bestimmter Teil des Äquatorkreises,
- § ein aus dem Meridianquadranten abgeleitetes Maß oder
- § die Länge des Sekundenpendels in 45° Breite

sollten das neue Naturmaß repräsentieren.

Im Jahre 1791 wurde auf der Nationalversammlung in Paris dem Meridianquadranten der Vorzug gegeben, weil zum einen das Pendelmaß von zwei weiteren Maßeinheiten, der Zeit und der Schwerkraft, abhängig ist und zum anderen wegen der damaligen Schwierigkeit, entlang des Äquators zu messen (Längenmessung = Zeitmessung).

1795 führte man dann in Frankreich per Gesetz das metrische Maßsystem ein. Das Meter sollte der 10millionste Teil der Länge des Erdquadranten sein, die heute wohl bekannteste Definition des Meters.

Da die dazu eingeleiteten Gradmessungen zwischen Paris und Dünkirchen von Delambre und Mechain noch nicht abgeschlossen waren, wurden zunächst einfach die bereits seit 1739/40 vorliegenden Ergebnisse einer Meridianmessung von Cassini III und Lacaille benutzt. Der daraus abgeleitete Prototyp, ein flacher Platinmaßstab, heißt deshalb zu Recht „*mètre provisoire*“ (Provisorisches Meter). Nach Abschluß der Gradmessungen wurde aufgrund neuer Berechnungen mit Gesetz vom 10. Dezember 1799 das „*mètre vrai et définitif*“ (Wahres und endgültiges Meter) festgelegt. Der dazugehörige Prototyp wird noch heute im „Pavillon Breteuil“ in Sèvres bei Paris aufbewahrt. Er trägt den viel zitierten Namen „*mètre des archives*“ (Archivmeter).

Das eigentliche Ziel blieb jedoch unerreicht, denn die Realisierung eines Naturmaßes kann aus zwei Gründen nicht als vollständig umgesetzt gelten. Erstens ist, wie wir heute wissen, die Erde kein starrer Körper. Eine nochmalige Ableitung des „Naturmeters“ würde also zwangsläufig zu einem anderen Maß führen.

Zweitens erfolgte die Definition aus praktischen Erwägungen wieder über ein nicht reproduzierbares Urmeter.

Als Vorteil bleibt allerdings die gleichzeitige Einführung der dezimalen Teilung und der bis heute vorgeschriebene Gebrauch von lateinischen Vorsatzwörtern für dezimale Unterteilungen (Dezi, Zenti, Milli, etc.) und griechischen Vorsatzwörtern für dezimale Vielfache (Deka, Hekto, Kilo, etc.).

In der Folgezeit ergaben sich unzulässig große Abweichungen bei Vergleichen der hergestellten Kopien vom französischen Urmaß - ein höchst unbefriedigender Zustand für die einzelnen Staaten.

Gerade die Geodäten litten unter diesen

Unzulänglichkeiten, da sie ihre Landesnetze mit den daraus resultierenden unterschiedlichen Maßstäben nicht verknüpfen konnten. Sie ergriffen deshalb die Initiative und regten auf der 2. Generalkonferenz der Europäischen Gradmessung 1867 in Berlin an:

„Im Interesse der Wissenschaft und insbesondere der Geodäsie sollte in Europa ein einheitliches Maß und Gewichtssystem mit Dezimalteilung angenommen werden. Die Konferenz empfiehlt das metrische System und hält die Herstellung eines neuen europäischen Normalmeters für wünschenswert, dessen Länge sich von der des französischen „*mètre des archives*“ so wenig wie möglich unterscheiden soll. Weiter befürwortet die Konferenz die Gründung eines europäischen internationalen Büros für Maß und Gewicht“.

Im August 1870 trat die „Internationale Meterkonvention“ erstmalig zusammen. Das geforderte „Internationale Komitee für Maß und Gewicht“ wurde eingesetzt und die Herstellung neuer Prototypen vorbereitet. Die Herstellung der Prototypen stellte sich technisch als äußerst schwierig dar. So konnten erst 1889, also fast 20 Jahre später, auf der 1. Generalkonferenz für Maß und Gewicht 30 angefertigte Etalons an die Mitgliedstaaten verlost werden.

Da schon zu diesem Zeitpunkt Zweifel an der Stabilität der verwendeten Legierung auftraten, unternahm man bereits ein Jahr später Versuche, das Meter durch Wellenlängen eines monochromatischen Lichtes darzustellen, was eine deutliche Abkehr von der bisherigen mechanistisch geprägten Vorgehensweise bedeutete.

Im Jahre 1906 führte dies mittels der Wellenlänge der roten Kadmiumlinie zum Erfolg und wurde 1927 von der 7. Generalkonferenz als inoffizielle technische Defi-

tion sanktioniert. Diese an sich sehr gewünschte Rückführung auf ein Naturmaß hatte, da der Prototyp nach wie vor als Definition bestehen blieb, eine zweite Meterfestlegung zur Folge. Erst durch die Verwendung der orangen Kryptonlinie und die gleichzeitige Aufhebung der Prototypdefinition auf der 11. Generalkonferenz 1960 konnte dieser Dualismus beseitigt werden.

Die vorläufig (und endgültig?) letzte Definition legte die 17. Generalkonferenz im Jahre 1983 als die Strecke fest, die das Licht im Vakuum während der Dauer von Sekunden durchläuft.

Anders herum betrachtet wurde mit dieser **Naturmaßdefinition** die Lichtgeschwindigkeit ein für alle Mal mit $1 : 299792458$ m/s festgeschrieben.

Die Abhängigkeit der Meterdefinition von der Zeitmessung führt natürlich dazu, daß eine etwaige zukünftige Änderung bzw. Verbesserung in der Sekundendefinition automatisch eine Neudefinition des Meters nach sich ziehen würde. Man hat übrigens bewußt offen gelassen, wie die Laufzeitdefinition realisiert werden kann bzw. soll. So will man neben den bekannten Realisierungsverfahren auch zukünftige Entwicklungen ermöglichen.

Gesetzliche Metrologie

Wie wurden nun die wissenschaftlichen Erkenntnisse und Festlegungen in nationales Recht umgesetzt?

Durch die Maß- und Gewichtsordnung des Norddeutschen Bundes vom 17. August 1868, wurde das metrische Maß- und Gewichtssystem in den diesem Bund angehörenden Bundesstaaten eingeführt. Der 1866 von Bismarck gegründete Bundesstaat umfaßte insgesamt 22 Staaten, darunter Preußen, das Königreich Sachsen und Teile des Großherzogtums Hessen. Vor

nummehr 130 Jahren wurde also die erste länderübergreifende Maß- und Gewichtsordnung in Deutschland eingeführt und bildete damit die Grundlage aller weiteren Eich- und Maßgesetze.

Dieses Gesetz sollte ab 1870 fakultativ und ab 1872 obligatorisch angewendet werden. In den süddeutschen Staaten wurdenübrigens fast gleichlautende Gesetze erlassen. Aber bereits mit der Gründung des Deutschen Reiches zu Beginn des Jahres 1871 dehnte sich die Gültigkeit der Maß- und Gewichtsordnung auf das gesamte Reichsgebiet aus: durch Gesetz vom 16. April 1871 wurde die norddeutsche Maß- und Gewichtsordnung zum Reichsgesetz erhoben. Als Prototyp diente eine Platinkopie des „mètre des archives“, welche 1,00000301 mal länger war als das Original in Paris. Etwas ungewöhnlich mag er-



Meterprototyp Nr. 23 aus 90% Platin und 10% Iridium. In der neutralen Faser, die bei Durchbiegung weder gedehnt noch gestaucht wird, sind an jedem Ende drei Striche quer zur Längsachse gezogen. Die beiden mittleren sind die Begrenzung des durch den Prototyp verkörperten Meters (Bildnachweis: PTB Braunschweig).

scheinen, daß das Ergebnis dieser Eichmessung Bestandteil des Gesetzes war.

Nach der erwähnten Verlosung der 30 Prototypen von 1889 wurde mit der Novelle vom 26. April 1893 zur Maß- und Gewichtsordnung des Deutschen Reiches die den Deutschen zugewiesene Nr. 18 zum Urmaß erklärt.

Auch im Maß- und Gewichtsgesetz von 1935 blieb diese Festlegung des Urmaßes bestehen.

Erst 1969 erfolgte mit der Verabschiedung des neuen Gesetzes über Einheiten im Meßwesen eine Anpassung an die Beschlüsse der 11. Generalkonferenz, die bereits 1960 erfolgt waren. Neben dem SI-System (Système International d'Unités) übernahm man die Kryptondefinition *expressis verbis* in das Gesetz.

In der bislang letzten Novelle dieses Gesetzes vom 22. Februar 1985 kam man zu einer anderen Regelung. Es wird lediglich der Bundesminister für Wirtschaft unter anderem ermächtigt, per Rechtsverordnung, die nicht der Zustimmung des Bundesrates bedarf, die Definition der Einheiten festzulegen.

In der daraufhin am 13. Dezember 1985 erlassenen Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Meßwesen wird keine explizite Meterdefinition mehr angegeben, sondern nur noch auf die DIN 1301 verwiesen. Im dortigen Teil 1, Anhang A findet man nun die heute gültige Lichtgeschwindigkeitsdefinition des Meters. Dadurch wurde erreicht, daß es für etwaige Neudefinitionen von Einheiten keiner Gesetzesänderung mehr bedarf.

Theoretische Metrologie

Das internationale SI-Einheitensystem ist, wie schon erwähnt, 1960 von der 11. Generalkonferenz für Maß und Gewicht

eingeführt worden. Es beendete ein über hundertjähriges Durcheinander mit einer Vielzahl von Einheiten und Einheitensystemen. Man unterscheidet dabei zwei Klassen von Einheiten: die Basis- und die abgeleiteten Einheiten. Für Deutschland findet man diese Größen in der schon erwähnten DIN 1301. Die Basiseinheiten sind:

- \$ das Meter (m) als Einheit der Länge,
- das Kilogramm (kg) als Einheit der Masse,
- \$ die Sekunde (s) als Einheit der Zeit,
- \$ das Ampere (A) als Einheit der elektrischen Stromstärke,
- \$ das Kelvin (K) als Einheit der thermodynamischen Temperatur,
- \$ das Mol (mol) als Einheit der Stoffmenge und
- \$ die Candela (cd) als Einheit der Lichtstärke.

Zu den 21 abgeleiteten Einheiten gehören z.B. die Kraft und die Energie.

Neben den SI-Einheiten gibt es noch die sogenannten „Einheiten außerhalb des SI“. Als Beispiele seien das Volumen (in Liter) und „die Fläche von Grundstücken und Flurstücken“ mit den Einheiten Ar (a) und Hektar (ha) genannt.

In der Bundesrepublik hat die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) mit dem Gesetz über Einheiten im Meßwesen u.a. die Aufgabe übertragen bekommen, „die gesetzlichen Einheiten darzustellen“ sowie die deutschen „*Prototype [...] bzw. Einheitenverkörperungen und Normale an internationale Prototypen oder Etalons [...] anzuschließen [...] und aufzubewahren*“.

Wie schwierig dieses Aufbewahren von Prototypen auf der einen Seite und wie unglücklich auf der anderen Seite die Abhängigkeit von einem Urmaß sein kann, sei anhand folgender abschließender Episode geschildert.

Maßlose Zeiten

Am 26. September 1889 erhielt Deutschland in Paris für die Kaiserliche Normaleichungskommission den Meterprototypen Nr. 18. Weil Bayern bei der 1. Zusammenkunft der internationalen Meterkonvention im Jahre 1870 als eigenständiges Mitglied vertreten war, erhielt auch Bayern für seine Normaleichungskommission einen eigenen Meterprototypen, Nr. 7. Während des 2. Weltkrieges wurde dieser Prototyp für Vergleichsmessungen an die Physikalisch Technische Reichsanstalt (PTR), Vorgängerin der PTB, in Berlin abgegeben. Kurz darauf wurden fast alle Laboratorien in verschiedene Orte des Deutschen Reiches verlegt, zum Hauptteil nach Thüringen (Weida, Ilmenau, Zeulenroda und Ronneburg). Das Institut in Weida wurde nach dem Krieg auf Befehl der Sowjetischen Militäradministration in das Deutsche Amt für Maß und Gewicht umgewandelt und später wieder nach (Ost-) Berlin umgesiedelt. Über diese Umwege geschah es nun, daß die DDR in den Besitz der Meterprototypen Nr. 7 und Nr. 18 gelangte. (West-) Deutschland dagegen stand ohne Prototyp da! Zum Glück hatte Belgien seinerzeit zwei Prototypen zugeteilt bekommen. So konnte die Bundesrepublik im Jahre 1954 nach 9 „maßlosen Jahren“ den Prototyp Nr. 23 erwerben. Alle drei nunmehr historischen und in Fachkreisen despektierlich „Knüppel“ genannten Prototypen fanden schlußendlich doch noch zueinander, denn nach Aussage der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig befinden sie sich in dem dortigen Fundus.

Wer im übrigen mehr über die PTB und ihre Aufgaben sowie speziell über das SI-System erfahren möchte, kann von der

PTB in Braunschweig bzw. Berlin eine entsprechende Broschüre anfordern. Oder, wie heute üblich, über das Internet: <http://www.ptb.de>.

