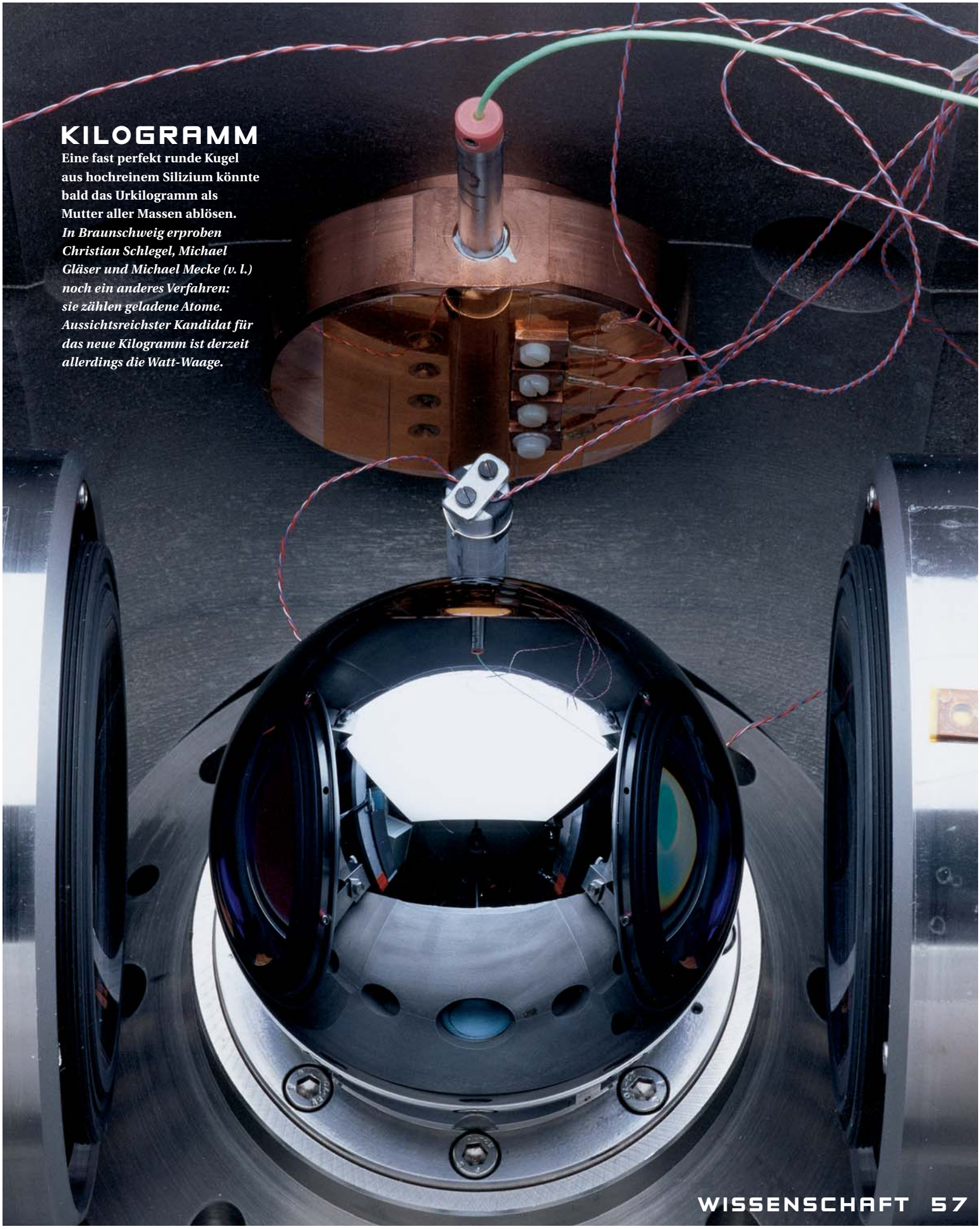
▶ Ohne sie wäre das Leben ein Chaos: Auf sieben Basiseinheiten beruht unser Maßsystem. In Braunschweig passen 500 Physiker auf sie auf.

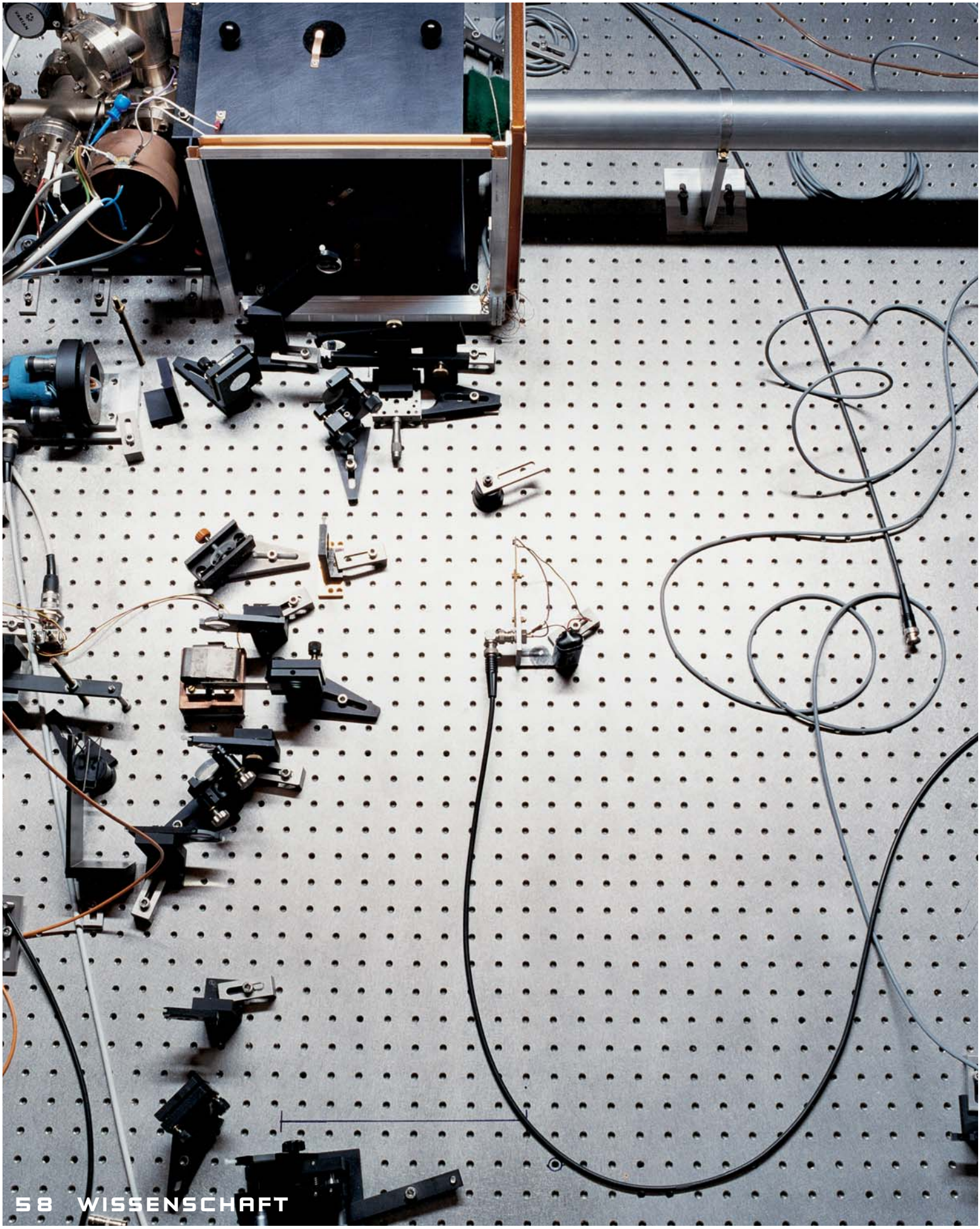
TEXT **MAX RAUNER**
FOTOS **HENRIK SPOHLER**

DIE BESSERMESSER

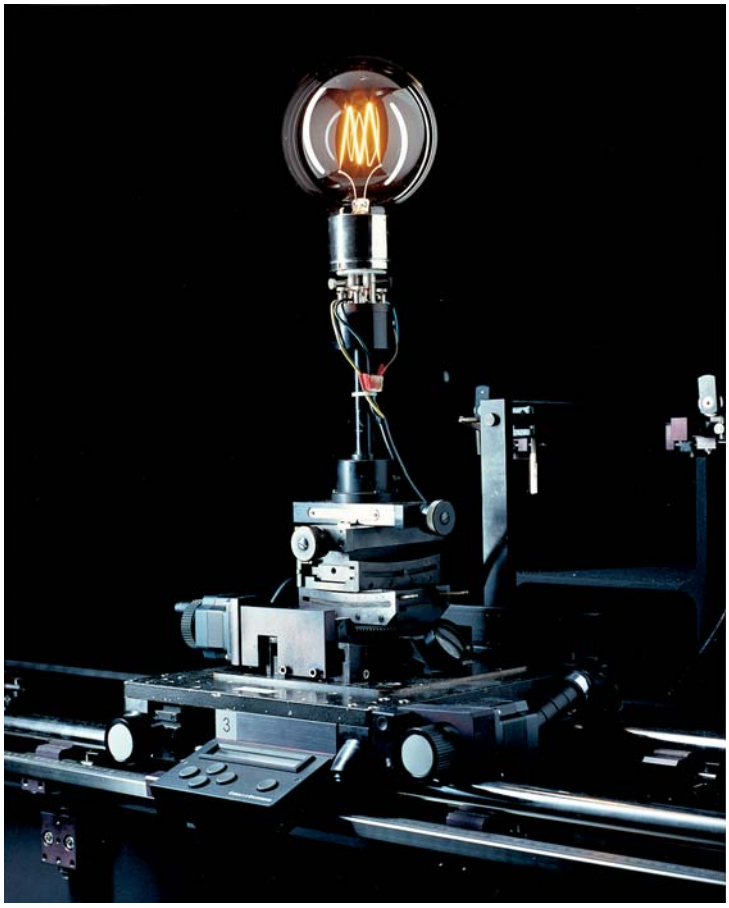


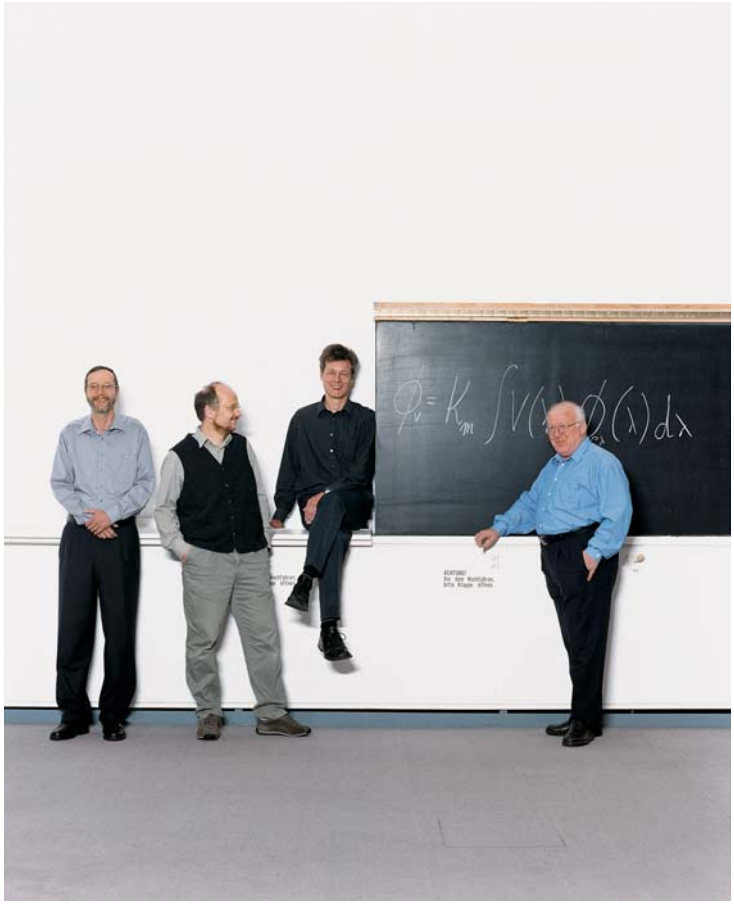
KILOGRAMM

Eine fast perfekt runde Kugel aus hochreinem Silizium könnte bald das Urkilogramm als Mutter aller Massen ablösen. ***In Braunschweig erproben Christian Schlegel, Michael Gläser und Michael Mecke (v. l.) noch ein anderes Verfahren: sie zählen geladene Atome. Aussichtsreichster Kandidat für das neue Kilogramm ist derzeit allerdings die Watt-Waage.***



SEKUNDE **Ein einzelnes geladenes Atom soll als Taktgeber einer neu definierten Sekunde dienen. Es wird in einer Ionenfalle gespeichert (links oben) und mit Lasern angeleuchtet. Die Spiegel und Kabel auf dem Tisch haben übrigens (fast) alle eine Funktion.** ***Die Männer der Zeit sind Stefan Weyers, Ekkehard Peik, Christian Tamm, Andreas Bauch und Robert Wynands (v. l.).***





CANDELA **Eine Eichlampe repräsentiert die Basiseinheit der Lichtstärke. Puristen mögen die Candela nicht, weil sie die Farbempfindlichkeit eines abstrakten »Normalbeobachters« mitberücksichtigen muss.** *Die Lichtmacher Detlef Lindner, Peter Sperfeld, Armin Sperling und Georg Sauter (v. l.) verweisen dagegen auf die Bedeutung der Candela für die optische Industrie.*

Jedes Jahr im Herbst absolvieren zwei Dutzend dunkel gekleideter Männer im Pariser Vorort Sèvres ein bizarres Ritual. Sie steigen in den Keller eines kleinen Schlosses aus der Zeit Ludwigs XIV. hinab und drängen sich vor einen Stahltresor. Drei von ihnen fummeln Schlüssel aus den Taschen. Sie entriegeln den Tresor, lassen die anderen vorbeidefilieren, notieren Luftfeuchtigkeit und Temperatur und schließen wieder ab. Anschließend Sektempfang im Garten.

Das Interesse des Herrenclubs gilt einem schlichten Platinklotz: dem Urkilogramm. Wer im Supermarkt Bananen oder Tomaten wiegt, verdankt diesem Stück Edelmetall, dass auf die Anzeige Verlass ist. Abgedeckt von drei Glasglocken, ruht das Urkilogramm im Safe des Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), der UN aller Maßeinheiten, in Sèvres. Einmal im Jahr versichern sich Delegierte aus aller Welt, dass die Mutter aller Gewichte noch im Schrank liegt.

Seit mehr als hundert Jahren geht das so, und auch für den 5. Oktober 2005 war nichts anderes geplant. Doch kurz vor der Jahrestagung kursierte ein brisantes Diskussionspapier: Das Kilogramm solle neu definiert werden, fordern einige prominente Maßhüter. Und bei dieser Gelegenheit wollen sie gleich das ganze internationale Maßsystem umkrempeln. Auch die Basiseinheiten für Zeit, Temperatur und Stromstärke, die Sekunde, das Kelvin und das Ampere sollen neu definiert werden. Sogar die Abschaffung einer Basiseinheit ist im Gespräch: Auf die Candela, das Maß für die Lichtstärke, wollen manche künftig verzichten.

So etwas hat sich seit der Französischen Revolution keiner getraut. Damals schufen die Franzosen das Meter und das Kilogramm als Grundlage des metrischen Systems. Schluss mit dem Chaos aus Ellen und Fuß, Ballen und Fass, den universellen Menschenrechten sollten universelle Maße folgen. In den vergangenen 200 Jahren wurde daraus das internationale Maßsystem SI (für Système International d'Unités) mit den sieben Basiseinheiten Meter, Sekunde, Kilogramm, Ampere (für elektrischen Strom), Mol (Stoffmenge), Kelvin (Temperatur) und Candela (Lichtstärke).

Aus den Basiseinheiten werden durch Multiplikation und Division rund hundert weitere Einheiten abgeleitet, die in Deutschland gesetzlich vorgeschrieben sind, darunter die Einheiten für Kraft (Newton), Energie (Joule), Druck (Pascal) und Leistung (Watt). Damit alles schön einfach ineinander umzurechnen ist, ersetzte man historisch überlieferte Einheiten: die Kalorie durch das Joule, die Pferdestärken durch Watt. Kalorien und PS halten sich zwar hartnäckig, ebenso wie der »Fuß« im Flugverkehr. Doch von ein paar Ausnahmen abgesehen, ist das metrische System eine Erfolgsgeschichte. Auf der ganzen Welt hat es nur eine Hand voll Staaten bislang nicht offiziell eingeführt, darunter Myanmar (früher Birma), Liberia und, nun ja, die Vereinigten Staaten von Amerika.

Trotzdem soll es nun grundlegend erneuert werden? »Wir setzen auf 2011«, sagt der britische Physiker Ian Mills, Wortführer der Reformbewegung, »und wir werden die

KELVIN **Mittels Glaszellen, in denen sich Wasser und wenig Luft befinden, werden Thermometer geeicht. Eingetaucht in ein Wasserbad, kühlen sie langsam ab. Existieren Eis, Flüssigkeit und Dampf gleichzeitig, herrschen in der Zelle 273,16 Kelvin.**
Joachim Fischer (l.) kümmert sich um Temperaturen vom absoluten Nullpunkt bis 500 °C, Joachim Seidel macht weiter bis 3000 °C.

ganze Zeit brauchen, um die anderen zu überzeugen. Es gibt sehr viele Konservative auf diesem Gebiet.« Zu ihnen zählen die Deutschen.

In der Metrologie, der Wissenschaft vom Messen, herrscht verkehrte Welt: Während britische und amerikanische Forscher, deren Landsleute heute noch in Meilen, Pfund und Inch rechnen, auf eine Erneuerung der Weltmaße drängen und sogar Frankreichs altehrwürdige Académie des Sciences die Maße neu ordnen will, gehört die Heimat der Deutschen Industrie-Norm zur Bremserfraktion. Dabei geht es Mills und seinen Verbündeten gar nicht darum, Inch, Yard und Pfund wieder einzuführen. Im Gegenteil, sie wollen das internationale Maßsystem moderner machen.

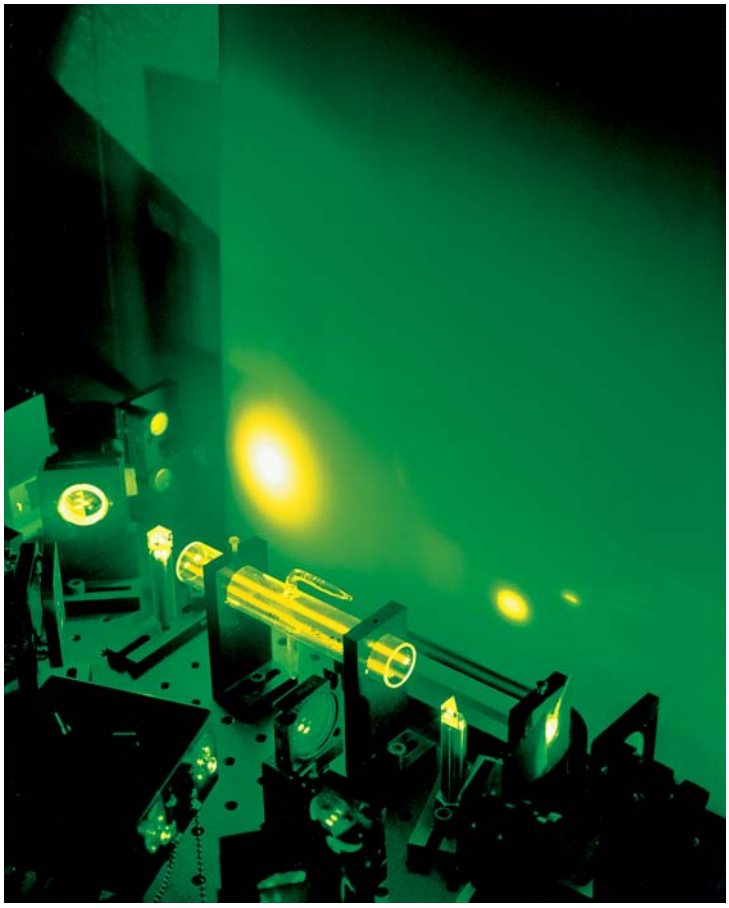
Das Urkilogramm zum Beispiel soll durch eine abstrakte Messvorschrift für das Wiegen einer Masse ersetzt werden. Das jährliche Tresordefilee von Sèvres wäre überflüssig. Außerdem müssten nicht alle paar Jahrzehnte Diplomaten aus aller Welt mit samtgefütterten Koffern nach Paris reisen, um ihre nationalen Kilogrammkopien mit dem Urkilo zu vergleichen. Die deutsche Kopie ist im Zweiten Weltkrieg mal heruntergefallen, bekam einen Kratzer und war nicht mehr zu gebrauchen – Deutschland musste einen neuen Platinklotz bestellen. So etwas könnte dann nicht mehr passieren. »Das Urkilo ist umständlich«, sagt Mills, »es liegt verschlossen in einem Tresor, und man kommt nicht dran.« Die Definitionen von Ampere und Kelvin sind ähnlich veraltet.

Das normierte Volk würde von der großen Maßreform wahrscheinlich nichts merken. Mills und seine Mitstreiter wollen nur das Fundament austauschen, ohne dass das Haus wackelt. Ein Kilo Kartoffeln bliebe bis auf ein paar Mikrogramm gleich schwer, ein Meter bliebe ein Meter, und eine Sekunde wäre nach der Reform nicht kürzer oder länger als vorher, jedenfalls was die ersten 15 Stellen nach dem Komma betrifft.

Diesmal geht es nicht um ein Maßsystem für die Massen oder die Einführung neuer Einheiten. Es geht um die Anpassung eines historisch gewachsenen Einheitensystems an die moderne Physik. Um die Versöhnung menschengemachter Maße mit den Naturgesetzen. Es geht um Schönheit und Symmetrie. Um Perfektion. Hier geht es um Gott und die Welt.

DEUTSCHE BEAMTE mögen keine Revolutionen. »Wir sollten das jetzt nicht überstürzen«, sagt Ernst Göbel, Präsident der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig. »Die Diskussion ufert etwas aus. Alle Hobbykünstler, die schon immer ihr Einheitensystem unterbringen wollten, melden sich plötzlich zu Wort.« Sogar im eigenen Haus hat ein Mitarbeiter vorgeschlagen, alle Basiseinheiten aus den Eigenschaften des Wasserstoffatoms abzuleiten.

Göbel trägt bequeme Schuhe und mag keine Business-Anzüge, er spricht leise und lächelt milde. Der PTB-Präsident verkörpert die Schnittmenge aus Physikprofessor und Diplomat. Und er ist die Schlüsselfigur im Ringen um ein neues Einheitensystem. Vor zwei Jahren wählte ihn die Vollversammlung



METER **Nicht mehr das Urmeter aus Platin, sondern Laser definieren die Basiseinheit der Länge. Das ist genauer, weil ein Meter aus rund zwei Millionen Lichtwellenlängen besteht.** *Mit Hilfe von Lichtinterferenz eichen (v. l.) Harald Schnatz, Gesine Grosche, Hans-Peter Wesselhöft und Burghard Lipphardt die Metermaße der Industrie. Für die Genauigkeit der Frequenz sorgt eine Atomuhr.*

der Maßeinheiten-UN in Paris zum Präsidenten des Comité International des Poids et Mesures (CIPM), des Exekutivorgans für alle Maßangelegenheiten. Alle wichtigen Fragen zum Einheitensystem gehen über seinen Tisch. Als CIPM-Präsident verwahrt Göbel einen der drei Schlüssel, mit dem jedes Jahr der Tresor des Urkilogramms geöffnet wird. Dieser Schlüssel wiederum liegt meistens im Tresor in Göbels Braunschweiger Büro, die anderen beiden werden vom Direktor des Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) und dem Archivar der französischen Regierung gehütet.

Göbels Nebenjob als CIPM-Präsident ist ein Amt auf Lebenszeit, und Lebenszeit definiert der PTB-Chef so, dass er mit seiner Pensionierung zurücktreten will: im Jahr 2011, dem Schicksalsjahr für die Einheitenreform. Wenn 2011 nichts passiert, müssten die Reformer bis 2015 warten, denn die Vollversammlung tagt nur alle vier Jahre.

Über Deutschlands oberstem Maßwächter steht der Bundeswirtschaftsminister, unter ihm sorgen 1500 Physiker, Ingenieure und Techniker dafür, dass Deutschland richtig tickt. Die Atomzeit für alle Funkuhren kommt aus Braunschweig. Die PTB ist auch der oberste TÜV für alle denkbaren Alltagsmaße, vom Newtonmeter im Motor über das Watt in der Glühbirne bis zum Kilojoule im Nutellaglas. Die PTB wacht über den Deutschen Kalibrierdienst, der Kalibrierdienst eicht Waagen, Zoll(!)stöcke und andere Maßstäbe der Industrie, und die Industrie wiegt und misst so ziemlich alles, was man anfassen, angucken oder herunterschlucken kann. So kommt das Maß zum Volk.

Göbels schmuckloses Büro liegt im dritten Stock eines Plattenbaus mitten in einem Wald- und Wiesengelände am Stadtrand von Braunschweig. Aus dem Fenster blickt man auf zahlreiche Flachbauten, großzügig verteilt zwischen Birken und Buchen. Die Gebäude tragen Namen wie Heisenberg-Bau, Planck-Bau, Einstein-Bau. So ein Bau hat einen Linoleumboden, und die Schreibtische sind oft noch aus Holz. Vor den Gebäuden stehen Volkswagen und Audi. Und drinnen arbeiten meist Männer mit weißen Haaren oder Halbglatze und Vollbart. Wahrscheinlich herrscht nirgendwo in Deutschland eine derart hohe Physikerdichte wie hier. Die meisten sind verbeamtet und tragen Titel wie Regierungsdirektor, denn die PTB, gegründet 1887, ist eine Bundesbehörde. Hinter der Tür jedes Baus hängt eine Stechuhr. Und die Telefonnummern folgen einer eigenen Logik. Der PTB-Präsident hat die Durchwahl 1000, der Vizepräsident 2000, der Abteilungsleiter Optik die 4010, der Unterabteilungsleiter die 4100.

Hier ist die Welt noch in Ordnung.

Die eigentümliche Mischung aus Bürokratie und Forschergeist macht die PTB zu einer der besten Maßbehörden weltweit. Ebenfalls zur Elite gehören Japan, die USA und England. Die Physiker in Braunschweig (genauer: Abteilung vier) können die Zeit mit einer unvorstellbaren Genauigkeit von 0,000 000 000 000 001 Sekunden messen. Abteilung Nummer fünf misst Längen mit 0,000 000 000 01 Meter Genauigkeit, Abteilung eins erreicht bei der Masse immerhin noch 0,00 000 001 Kilogramm Präzision.

AMPERE Mikrochips messen die elektrische Spannung auf zehn Stellen genau, den elektrischen Widerstand auf neun. Mit dem Ohmschen Gesetz lässt sich daraus das Ampere berechnen. *Das machen in Braunschweig (v. l.): Jürgen Niemeyer (Volt, Ohm), Jürgen Schurr (Ohm), Franz Josef Ahlers (Ohm), Alexander Zorin (neues Ampere), Ralf Behr (Volt) und Johannes Kohlmann (Volt).*

Georg Sauter, Durchwahl 4120, leitet die Arbeitsgruppe Photometrie. Im Keller des Einstein-Baus, in einem nachtschwarzen Labor, verwaltet er die Basiseinheit für Lichtstärke: die Candela (lateinisch für Kerze). Seit 1978 ist er dabei, längst Regierungsdirektor. Sauter ist ein untypischer PTB-Mann, er erzählt laut und anschaulich und macht dabei große Gesten. Er weiß, dass die Candela vielen seiner Kollegen suspekt ist. »Man fragt zwar nicht den Frosch, ob man seinen Sumpf trockenlegen soll«, sagt er, »aber vielleicht sollte man den Frosch doch fragen, weil er den Sumpf besser kennt.«

Sauters Sumpf, das sind außer der Basiseinheit Candela (sie gibt an, wie viel Licht eine Lampe in eine bestimmte Richtung abstrahlt) die daraus abgeleiteten Größen: Lumen (wie viel Licht strahlt die Lampe insgesamt ab), Lux (wie viel Licht fällt auf eine Fläche) und die Leuchtdichte (wie stark strahlt eine Fläche). Diese Einheiten braucht man, um die Mindestlichtstärke von Straßenbeleuchtung festzulegen, um Computermonitore zu bewerten oder Energiesparlampen zu kennzeichnen. Sauter breitet die Arme aus. »Die Candela hat eine enorme wirtschaftliche Bedeutung. Fast zehn Prozent der elektrischen Energie in Deutschland werden für Licht verbraucht.«

Bei den Puristen ist die Candela unbeliebt, weil sie das Helligkeitsempfinden eines abstrakten Normmenschen einbezieht und weil sich Lichtstärke auch in Watt ausdrücken lässt (genauer: in Watt pro Raumwinkel). Und um von Candela zu Watt zu kommen, muss man durch 683 teilen. Eine hässliche Zahl. Alle anderen Einheiten im Maßsystem hängen viel eleganter miteinander zusammen: Ein Joule ist gleich ein Newton mal ein Meter, ein Watt gleich ein Joule pro Sekunde. Überall ein Faktor eins, nur bei Candela nicht.

»Wir Physiker könnten vielleicht auf die Candela und die daraus abgeleiteten photometrischen Einheiten verzichten«, sagt Sauter, »nur wie will ich meiner Frau erklären, dass das Wohnzimmer zu dunkel ist?« Er könnte über Glühlampen reden, die 40, 60 oder 100 Watt elektrische Leistung verbrauchen. Aber schon bei Energiesparlampen hätte er ein Problem. Sie geben mehr Licht ab, verbrauchen aber nur 15 Watt. Die Verwirrung rührt daher, dass auf der Packung die elektrische Leistung in Watt, nicht aber der Lichtstrom in Lumen angegeben ist. Würde man wie die Sauters in Candela und Lumen denken, wäre der Unterschied sofort klar. Das macht aber keiner, und so schiebt Sauter schnell ein Argument nach: »Wer die Einheit Candela ändert oder gar abschaffen will, der müsste in unzähligen Gesetzen und Normen neue Erklärungen und andere Zahlen einfügen. Das wäre ein Riesenaufwand.«

WIE KAUM EINE ANDERE Einheit erinnert die Candela die Maßwächter jeden Tag daran, dass ihr ausgeklügeltes System keinesfalls in den Naturgesetzen oder noch weiter oben seine letzte Begründung findet, sondern auf Vereinbarungen und historischen Zufällen beruht. So konkurrierten im 19. Jahrhundert mehrere Standardkerzen um den Status als Urmaß der Lichtstärke. In Deutschland war eine 83 Gramm schwere

MOL **Wer eine »Stoffmenge« misst, vergleicht das Gewicht von Atomen in einer Probe. Das macht ein Massenspektrometer, in dem geladene Atome um die Kurve fliegen (links).** *André Henrion und Bernd Güttler (v. l.) eichen Messgeräte, mit denen Mediziner ein Cannabis-Molekül unter einer Milliarde anderer Moleküle aufspüren oder ein Nanogramm Hormone pro Milliliter Blutserum messen.*

Wachskerze mit 4,2 Zentimeter Flammenhöhe weit verbreitet, als Berliner Lichteinheit galt eine Walfettkerze mit 4,5 Zentimeter Flammenhöhe, im Deutschen Verein der Gas- und Wasserfachmänner galten 5 Zentimeter Flammenhöhe als verbindlich. Später dominierte die »Hefner-Kerze« mit einer vier Zentimeter hohen Gasflamme, von 1942 an galt die Strahlung von flüssigem Platin am Schmelzpunkt als Lichtnormal, und 1979 wurde in der Neudefinition der Candela schließlich auf die Einheit Watt Bezug genommen. So kam die krumme 683 ins Spiel.

»Maße waren eine Folge des Sündenfalls«, schreibt der Wissenschaftsautor Ken Alder in seinem Buch *Das Maß der Welt – die Suche nach dem Urmeter,* »eine Erfindung des Menschen für die Welt außerhalb des Paradieses, wo Knappheit und Misstrauen herrschen und Plackerei unser Los ist.« Maße sind soziale Konventionen und das Ergebnis von politischen Prozessen. Meist werden sie von oben verordnet, sei es durch Könige oder Fürsten, durch die Revolutionsregierung, Napoleon, internationale Verträge oder die deutsche Einheitenverordnung. »Maße sind mehr als eine Schöpfung der menschlichen Gesellschaft«, sagt Alder, »Maße erschaffen eine Gesellschaft.«

Hierzulande existierten im Mittelalter mehr als vierzig unterschiedliche Ellen mit Längen zwischen 40,38 und 79,9 Zentimetern. Oft waren die Referenzmaße an Toren oder zentralen Häusern der Städte angebracht. Für das Ancien Régime zählte Alder 800 verschiedene Bezeichnungen für diverse Maße, hinter denen sich »niederschmetternde 250 000 unterschiedliche Gewichts- und Maßeinheiten verbargen.«

Meter und Kilogramm wurden während der Revolution aus der Idee geboren, die Maße auf ein Fundament zu stellen, das alle Erdbewohner teilen. So definierten französische Wissenschaftler das Meter als den zehnmillionstel Teil der Entfernung zwischen Nordpol und Äquator. Willkürlich, aber praktisch, denn so entsprach das Meter einem Alltagsmaß, das man grob zwischen zwei Händen oder durch einen Schritt abmessen konnte.

Aus der Urlänge wurde die Urmasse abgeleitet und 1793 als die Masse eines Kubikdezimeters Wasser bestimmt. Sechs Jahre später ließen die Franzosen einen Platinklotz als Urkilogramm und einen Platinstab als Urmeter anfertigen. Im Jahr 1875 unterzeichneten Abgesandte aus 17 Staaten, darunter das Deutsche Reich, die Internationale Meterkonvention und schufen das BIPM als Welt-Maßbehörde. Meter, Kilogramm und Sekunde bildeten fortan die drei Säulen des Einheitensystems, 1954 kamen das Ampere, die Candela und das Kelvin hinzu. 1971 erhielt als Letztes das Mol den begehrten Status einer Basiseinheit.

»DAS EINHEITENSYSTEM soll den Menschen helfen«, sagt Fritz Riehle, Abteilungsleiter Optik an der PTB, ein Physiker mit Kontrabass-Stimme. Man könnte es logischer und einfacher aufbauen und die Basiseinheiten von sieben auf beispielsweise drei reduzieren – Meter, Kilogramm, Sekunde –, aber der Übergang zum neuen System wäre ein Riesenaufwand. »Das Einheiten-

system soll das Leben praktisch machen«, brummt Riehle. »Es ist nicht dafür da, dass Theoretiker sich daran austoben.«

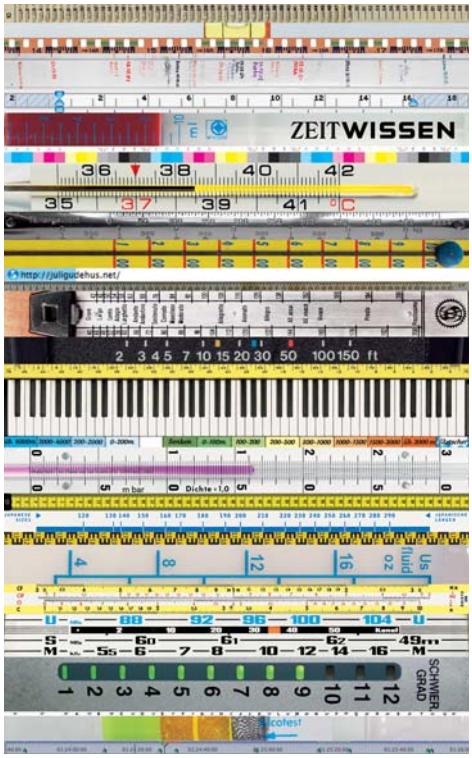
»Praktisch«, dieser Begriff fällt oft in Braunschweig.

Riehle hat etwas zu verteidigen. Ausgerechnet in seiner Abteilung findet man jene Einheit, die nun als Vorbild für die große Maßreform herhalten muss: das Meter. Einst Ursprung des internationalen Einheitensystems, ist die Basiseinheit der Länge inzwischen eine Tochter der Sekunde, definiert durch die Strecke, die Licht in einer bestimmten Zeit zurücklegt. Das Urmeter, ein Stab aus Platin, taugt nur noch fürs Museum. »Die Definition des Meters ist ein Modell für die Neudefinition der anderen Einheiten«, sagt Christian Bordé, die graue Eminenz der französischen Physiker – ein Theoretiker, kein Praktiker.

Die Meterdefinition beruht auf einem Trick, der die Herzen von Theoretikern höher schlagen lässt. Sie verknüpft die Einheit Meter mit einer fundamentalen Naturkonstante, die in Einsteins Relativitätstheorie als »c« auftaucht: der Lichtgeschwindigkeit. Seit der Erfindung des Lasers konnte man diese immer genauer messen. Geschwindigkeit ist Meter pro Sekunde. 1983 aber wurde der Spieß umgedreht: Per Definition legte die internationale Maßeinheiten-Versammlung c auf 299 792 458 Meter pro Sekunde fest. Da das Licht nun eine offizielle, konstante Geschwindigkeit hatte, wurde das Meter zur Variablen. Weg ist Geschwindigkeit mal Zeit. Mit c und einer Atomuhr kann man das Meter besser messen als mit jedem Platinstab. Dreisatz genügt. Wer nach einem Blitzeinschlag die Sekunden zählt, bis der Donner kommt, und daraus die Entfernung zum Gewitter ausrechnet, macht nichts anderes.

Zwar gab es in den vergangenen Jahren Spekulationen über variable Naturkonstanten, und auch c geriet in Verdacht, so ein Schwankungskandidat zu sein. Doch selbst dann würden sich Abweichungen erst in Jahrmilliarden bemerkbar machen.

Das große Ziel der Reformer ist eine Art Währungsreform der Basiseinheiten nach dem Vorbild des Meters. Als Umrechnungsfaktoren von einer Währung zur anderen wollen sie die Zahlenwerte von Naturkonstanten festlegen, die in den Naturgesetzen vorkommen. Zum Beispiel die Planck-Konstante aus der Quantenmechanik oder die Ladung eines Elektrons. »Die Naturkonstanten wurden uns von Gott geschenkt«, sagt



1 Zeilenzähler für 10-Punkt-Schriftgröße
2 Wasserwaage
3 Filmstreifen
4 Kindergrößen
5 Das »Lineal« in Word
6 Spritze
7 Druckkontrollstreifen
8 Fieberthermometer
9 Waage
10 Hau den Lukas!
11 »Wartebalken« im Internet-Browser Safari
12 Punkt
13 Metronom
14 Fuß
15 Zoll
16 Klaviatur
17 Meerestiefen und Landhöhen
18 Manometer
19 Schneidermaßband
20 Japanische Schuhgrößen
21 Wasserpegel
22 Unzen
23 Rechenschieber
24 Radioskala
25 Schwierigkeitsgrad
26 Längengrad
27 Blasröhrchen der Polizei
28 Zeitleiste aus »Finalcut Pro«

POSTER: MASSARBEIT

Was messen wir nicht alles! Juli Gudehus bringt im ZEITWISSEN-Poster dieser Ausgabe die ästhetische und funktionale Vielfalt von Maßeinheiten zusammen. Viele dieser Skalen sind schon fast historisch, da heute überwiegend digital gemessen wird.

1 **Damit bestimmt man schnell die Zahl der Zeilen eines Textes.**
2 **Steht der Schrank gerade?**
3 **Bildzähler und Transportlöcher bei einem Negativfarbfilm.**
4 **Das Wachstum ihres Kindes dokumentieren Eltern gern auf dem Türrahmen.**
5 **Mit blauen »Reitern« stellt man Spaltenbreite und Tabulatoren ein**
6 **Wie viel Blut wurde abgezapft?**
7 **Mit einem Densitometer wird beim Druck z. B. die Farbdichte gemessen.**
8 **Kaum ein Kind kennt heute noch das gute alte Quecksilber-Thermometer.**
9 **Die Waage misst Kräfte, keine Massen.**
10 **Jahrmarktsspaß für starke Männer.**
11 **»World Wide Wait« heißt es, wenn die Internet-Verbindung zu langsam ist.**
12 **Schriftgrößen werden in Punkt gemessen – ein Punkt entspricht 0,375 mm.**
13 **Gibt Musikern den Takt an.**
14 **Entfernungsskala auf dem Blitzgerät.**
15 **Die Zollskala wird nicht in Zehntel, sondern in Viertel und Achtel geteilt.**
16 **Die Tastatur ist logarithmisch: Pro Oktave verdoppelt sich die Frequenz.**
17 **Im Atlas beschreibt ein Farbcode die Höhe über dem Meeresspiegel.**
18 **Ein Manometer misst den Druck in Bar.**
19 **Braucht auch heute noch jeder Schneider.**
20 **Warum die Größen keinen gleichmäßigen Abstand haben, bleibt Europäern ein Rätsel.**
21 **Der Pegel (in Metern) ist ein Schicksalsmaß für Wasseranrainer.**
22 **Amerikaner messen mit Unzen nicht nur Gewicht, sondern auch Volumen.**
23 **Die logarithmische Skala ermöglicht das Multiplizieren von Zahlen.**
24 **UKW, Kurz- und Mittelwelle.**
25 **Damit stellt man im Fitnessstudio z. B. das Tempo des Laufbands ein.**
26 **Die Meridiane im Atlas.**
27 **Entscheidet über das Schicksal des Autofahrers.**
28 **Die Zeitachse beim Filmschnitt im Computer.**

FOTOS POSTER: A. SCHILLER; VIELEN DANK FÜR DIE FREUNDLICHE UNTERSTÜTZUNG: FA BECHSTEIN; FA DOSCH; FA ELIXIA

der Physiker Ian Mills, »oder zumindest von Leuten wie Planck und Einstein. Sie stehen jedem überall und zu jeder Zeit zur Verfügung.« Christian Bordé meint sogar, dass man am Ende nur noch die Sekunde als Basiseinheit brauchte und alle anderen Einheiten mit Hilfe von Naturkonstanten daraus ableiten könnte. Die Sekunde wäre der Euro des Einheitensystems.

»Das Meter ist schon raus«, sagt Bordé, »es hängt von der Sekunde ab.« Und die anderen Basiseinheiten? Die Stromstärke Ampere entspricht Ladungen pro Sekunde. Das Mol ließe sich aus dem Kilogramm ableiten. Das Kelvin aus dem Joule, das Joule aus Sekunde, Meter und Kilogramm. Und das Kilogramm? Sogar das könnte man auf die Zeit zurückführen. Die Wattwaage, die in England, Frankreich, der Schweiz und den USA entwickelt wird, misst Gewichte mit Hilfe von Elektromagneten. Dazu fließt ein Strom durch die Maschine, und den bestimmt man wiederum mit einer Atomuhr.

Doch wie viele Einheiten und Naturkonstanten am Ende als Grundbausteine des Maßsystems ausreichen, darüber sind sich die Physiker keineswegs einig. Bordés Vorschlag, nur noch die Sekunde übrig zu lassen, stößt in Braunschweig auf Ablehnung. Viele Physiker halten Meter, Sekunde und Kilogramm für das Minimum, andere möchten außerdem eine elektrische Basiseinheit und das Kelvin behalten. Tradition, Gefühl, Wissenschaft und Praxiserfahrung spielen eine Rolle. »Ich muss aufpassen, dass das internationale Einheitensystem als Ganzes harmonisch bleibt«, sagt Ernst Göbel. Der PTB-Chef hat nun einen Theoretiker damit beauftragt, mal auszurechnen, wie viele Basiseinheiten man überhaupt braucht und wie viele Naturkonstanten unabhängig voneinander festgelegt werden dürfen, ohne dass ein Widerspruch auftaucht.

Sollten Candela, Mol, Kelvin und Ampere eines Tages tatsächlich keine Basiseinheiten mehr sein, wird man sie als abgeleitete Einheiten ins Organigramm einsortieren. Auch arbeitslos wird niemand. Das Gehalt der Laborleiter ändert sich nicht, allenfalls die Telefonnummer. Basiseinheit oder nicht, das ist vor allem eine Prestigefrage.

DIE SEKUNDE ist schon heute die Königin der Maßeinheiten. Keine Basiseinheit wird so genau gemessen wie sie, den Atomuhren sei Dank. Die besten dieser Präzisionsuhren erreichen eine Genauigkeit von 16 Stellen nach dem Komma. Nach 60 Millionen Jahren würde so eine Atomuhr höchstens eine Sekunde falsch gehen. Und fast so viel Nachkommastellenpräzision wird auch praktisch benötigt: Die Sprachübermittlung mit Handys braucht eine Genauigkeit der Taktfrequenz von zehn bis elf Nachkommastellen, GPS-Geräte zur Navigation benötigen zwölf bis dreizehn Stellen. Wenn die weltbesten Uhren noch hundertmal so genau gehen, kann das nichts schaden, denn beim Uhrenvergleich geht immer ein bisschen Genauigkeit verloren.

»Außerdem ist es reizvoll, die Grenze zu verschieben«, sagt Andreas Bauch, der die Zahl neunmilliardeneinhundertzweiundneunzigmillionensechshunderteinunddreißigtausendsiebenhundertsiebzig so schnell und selbstverständlich über die Lippen bringt wie andere Menschen »Brötchen« oder »Bahnhof«. Bauch ist Chef der Sekunde, und die Sekunde ist definiert als die 9 192 631 770-fache Schwingung einer speziellen Resonanzfrequenz im Cäsiumatom.

Die ungenaueste seiner vier Atomuhren hat Bauch vor kurzem dem Braunschweigischen Landesmuseum vermacht. Um Platz zu schaffen. In der Uhrenhalle der PTB, dort, wo früher die Museums-Atomuhr stand, stellen Christian Tamm und Ekkehard Peik nun einen Laser nach einem einzelnen Ion als Taktgeber. Erreichen sie eine Genauigkeit von 16 Stellen nach dem Komma – 15 schaffen sie schon –, könnte sogar die Sekunde neu definiert und auf ein anderes Atom als Cäsium zurückgeführt werden. Das Ziel ist eine Genauigkeit von 17 Stellen nach dem Komma, vielleicht sogar 18. Dann ist wohl Schluss – zumindest auf der Erde.

Mit ihrer unglaublichen Präzision sind die Zeitleute die Helden der PTB. Sogar Nonnen pilgern nach Braunschweig, um die Atomuhr zu sehen. Andreas Bauch ist die Prominenz unangenehm. »Die anderen sind auch nicht döfer als wir«, sagt er.

Mit den anderen trifft sich Bauch am Mittag in der Kantine. Die Längenmesser sind da, der Mol-Mann, die Amperes. Optik-Abteilungsleiter Fritz Riehle unterhält sich mit Meter-Chef Harald Schnatz. »Wenn ich Chefmetrologe auf einem Raumschiff nach Alpha Centauri wäre«, sagt Riehle, »würde ich ein anderes Maßsystem einführen. Logischer und einfacher.« Und wenn er unterwegs die Bewohner anderer Planeten treffen würde? Schnatz hat eine Idee: »Dann gäbe es eine Superbehörde, die alle Einheiten ineinander umrechnet.«

DIE SIEBEN BASISEINHEITEN

KILOGRAMM Die Einheit der Masse ist definiert als die Masse des Urkilogramms in Paris. Schöner wäre eine Basiseinheit »Gramm« ohne die Vorsilbe »Kilo« gewesen, aber das hatten schon die Anhänger von Louis XIV vorgeschlagen – und damit verdorben.

SEKUNDE Keine Basiseinheit wird so genau gemessen wie die Einheit der Zeit. Die Sekunde ist definiert als die 9 192 631 770-fache Periodendauer eines Cäsiumatoms. Die beste Cäsium-Atomuhr ginge erst nach 60 Millionen Jahren eine Sekunde falsch.

CANDELA Früher nutzte man als Einheit der Lichtstärke eine Kerze mit festgelegter Dochthöhe. Heute ist die Candela definiert als Lichtstärke einer grünen Lichtquelle mit 1/683 Watt Strahlstärke, korrigiert mit der Farbempfindlichkeit des Auges.

KELVIN Nur bei einer einzigen Temperatur (0,01 °C) existieren Wassereis, Wasserdampf und flüssiges Wasser bei niedrigem Druck gleichzeitig. Das Kelvin ist der 273,16. Teil dieser Temperatur. Bei Null Kelvin (minus 273,15 °C) liegt der absolute Nullpunkt.

METER Das Meter ist seit 1983 eine Tochter der Sekunde. Einst auf das Urmeter zurückgeführt, ist die Längeneinheit heute definiert als die Länge der Strecke, die Licht im Vakuum während 1/299 792 458 Sekunden durchläuft. Atomuhr und Laser genügen.

AMPERE Ein Strom von einem Ampere fließt, wenn zwei unendlich lange, einen Meter entfernte Drähte sich mit einer Kraft von 0,2 Mikronewton pro Drahtmeter anziehen. In der Praxis berechnet man das Ampere aus Volt (Spannung) und Ohm (Widerstand).

MOL Das Mol als Einheit der Stoffmenge ist eine große Zahl, nämlich rund $6{,}022 \cdot 10^{23}$ Atome oder Moleküle eines Stoffes. Vor allem Chemiker brauchen das Mol – ihnen zuliebe bekam es den begehrten Status einer Basiseinheit, sagen Nichtchemiker.