Zeitgeschichten

14 Bist Eulen?
Von der inneren Uhr gelenkt

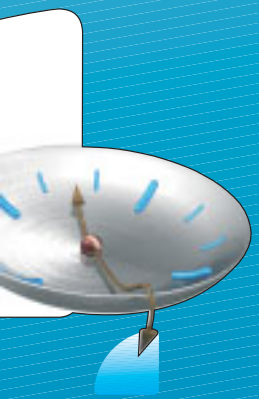
24 Eine Sekunde, Herr Newton
Seit wann messen wir Zeit?

30 Energieniveaus, Fontänen und Atomfallen
Die Zeit aus dem Atom

45 Wettlauf der Flops
Wieviel Information passt in eine Sekunde?

54 Wider die Zeit-Diktate
Der Verein zur Verzögerung der Zeit

Heft 6: September 2005



mpasteo

Magazin der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt PTB

Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser,

für alle, die es noch nicht wissen, will ich es gleich zu Anfang sagen: In Braunschweig wird die Zeit gemacht. Allen, die in Braunschweig leben, ist dies eine Selbstverständlichkeit, die gar nicht zu hinterfragen ist. Rührt diese Selbstverständlichkeit daher, dass Braunschweiger, da sie ja „vor Ort“, also an der Quelle sind, einen leichteren Zugang zur Zeit haben? Dass sie beim Zeit-Einkauf („Ich hätte gerne drei Pfund Sekunden. Die aus dem Angebot!“) vielleicht Sonderkonditionen erhalten? Selbstabholer-Rabatte? Nein, so ist es natürlich nicht. Wahr ist dagegen, dass der Satz „In Braunschweig wird die Zeit gemacht“ anscheinend tief im Bewusstsein der Bevölkerung verankert ist, wie auch neulich eine kleine Umfrage* in der hiesigen Fußgängerzone zeigte. Auf die Frage, was ihnen denn zum Begriff „Atomuhr“ einfalle, antworteten nahezu ausnahmlos alle: Braunschweig. Dann – mit und ohne Zögern – sagten fast alle auch noch: PTB. Und einem Experten vom Stadtmarketing, der, gerade auf der Suche nach „Alleinstellungsmerkmalen“ für die Stadt, auch noch des Weges lief, tränten bei diesem engen Begriffspaar „Braunschweig und Zeit“ vor Freude die Augen.

Jens Simon

All dies bedenkend ist es allerhöchste Zeit, dass sich die *maßstäbe* dieser prominentesten PTB-Größe annehmen. Die Zeit ist ja die physikalische Größe, die sich am genauesten von allen Größen messen lässt: Die Atomuhren der PTB produzieren Sekundenticks bis auf unglaubliche fünfzehn Stellen hinter dem Komma. In einer Institution wie der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, in der es auch um das Nonplusultra an Genauigkeit geht, ist dies zwangsläufig ein prominentes Aushängeschild. Von Atomuhren wird also die Rede sein, davon, wie sie funktionieren und wozu man sie braucht. Aber nicht nur dies. Atomuhren werden sogar selbst zu Wort kommen, und wer Zeitgeschichten erzählen will, der darf freilich nicht bei Atomuhren Halt machen. Und so gehen die *maßstäbe*, wie es ihre Art ist, auf die Reise und suchen die Zeit auch anderswo: in der Vergangenheit und in der Zukunft; bei Hirnforschern, mittelalterlichen Mönchen und Philosophen; in einer Silbermine in Nevada und unter einem Apfelbaum im Garten.

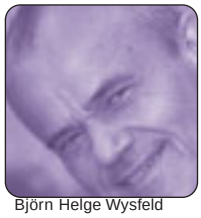
Erika Schow

Zudem erzählen diese *maßstäbe* einige Zeitgeschichten aus sehr persönlicher Perspektive, die allerdings, so die Redaktionsmeinung, dem Thema durchaus angemessen ist. Ob dies gelungen ist, müssen wie immer Sie, liebe Leser, beurteilen. Und, auch dies wie immer: Wir freuen uns, falls Sie uns Ihre Meinung sagen wollen. Eine kleine Auswahl von Stimmen zu bisher erschienen Ausgaben haben wir erstmals hier versammelt.

Jörn-Uwe Barz

Wenn Sie sich jetzt etwas Zeit nehmen wollen, wünsche ich Ihnen viel Spaß beim Blättern und Lesen durch unsere Zeitgeschichten. Falls Sie keine Zeit haben, tut es mir Leid: Unser Super-Sonderangebot von Minuten im 60er-Pack ist gerade ausgegangen.

Ihr Jens Simon


Björn Helge Wysfeld

---

* Das Ergebnis dieser Umfrage können Sie als Video sehen, wenn Sie die Dauerausstellung der PTB mit dem Titel „Rezept für eine Atomuhr“ im Braunschweigischen Landesmuseum besuchen (s. Seite 30).

Inhaltsverzeichnis

Seiten

1 Jens Simon: **Vorwort**

4 **Eins, zwei, drei, im Sauseschritt ...** Zitate zur Zeit

6 Axel Tillemans: **Zeit existiert, basta!** Ohne Rückfahrkarte

10 Jens Simon: **AMK, die Zeitmatrix und ich** Gedanken unterm Apfelbaum

14 Birgit Ehlbeck: **Bist Eulen?** Von der inneren Uhr gelenkt

16 Bernd Eusemann: **Wenn Tage im Zeitloch verschwinden** Kalenderprobleme

19 Dörte Saße: **Wie lang ist das Jetzt?** Stationen einer Suche

22 Jens Simon: **Auszeit**

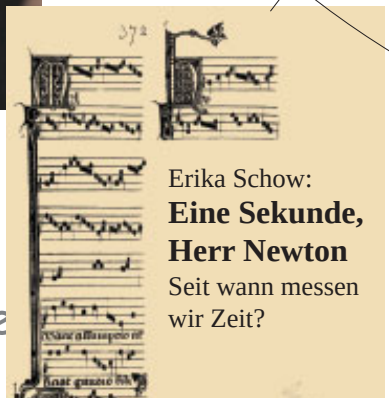
24 Erika Schow: **Eine Sekunde, Herr Newton** Seit wann messen wir Zeit?

27 Erika Schow: **Wie Stunde, Minute und Sekunde in unseren Alltag kamen** Die Geburt unserer Zeitmaße

28 Erika Schow: **Immer genauer** Eine steile Kurve

30 Jörn-Uwe Barz: **Das Letzte** Endzeit

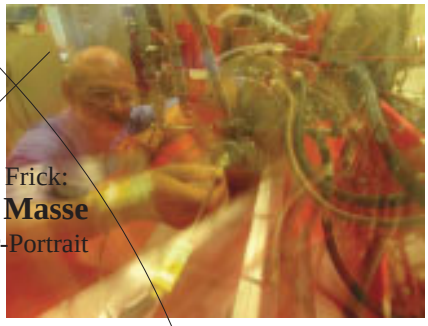
58 **Leserbriefe**



Oktober 1582

Rolf Buchholz, Jens Simon: **Wider die Zeit-Diktate**
Der Verein zur Verzögerung der Zeit

54



51
Frank Frick:
Zeit für die Masse
Ein Forscher-Portrait

Rolf Buchholz:
The Long Now Foundation
Wiederentdeckung der Langsamkeit

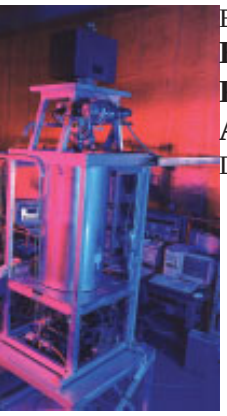
48

Andrea Hoferichter:
Die Radio-Uhr
Dem Alter auf der Spur

Jan Oliver Löfken:
Wettlauf der Flops
Wieviel Information passt in eine Sekunde?

45

42



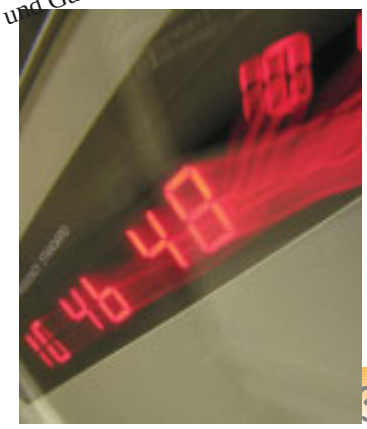
Brigitte Röthlein:
Energieniveaus, Fontänen und Atomfallen
Die Zeit aus dem Atom

Julia Förster:
Meine Zeitreise mit C9
Eine ungewöhnliche Begegnung

39

36

Rainer Scharf: **Zeit ist Ort.** Mit GPS und Galileo unterwegs



34

Nicole Geffert:
Wie kommt die Zeit in mein Schlaf-zimmer?
Mit DCF77 tickt der Wecker richtig

Eins, zwei, drei, im Sausschritt ...

W. Busch

Als Gott die Welt erschuf, gab er den Afrikanern die Zeit und den Europäern die Uhr.
unbekannt

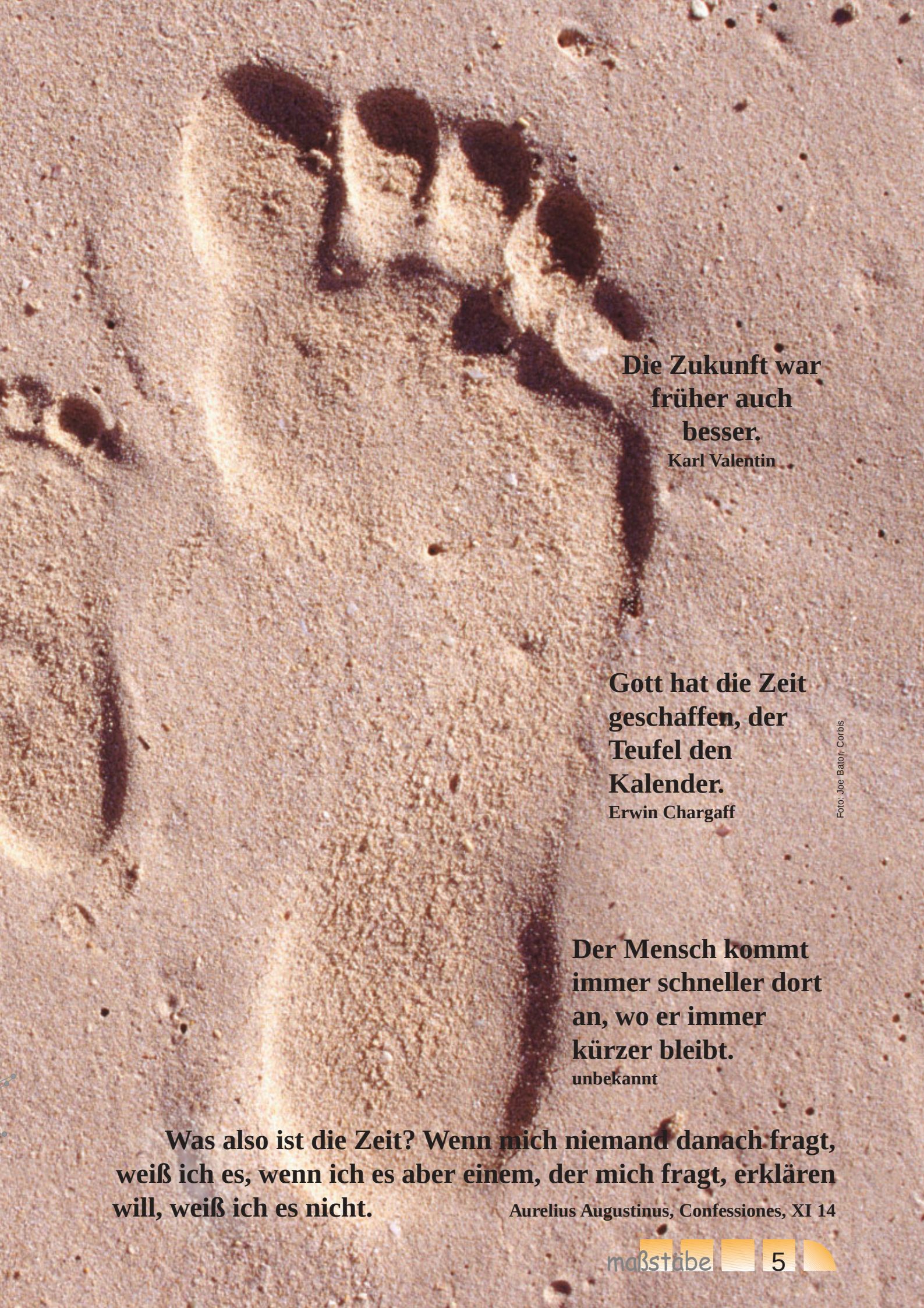
Time is nature's way to keep everything from happening all at once.
Graffito, gefunden von John Archibald Wheeler im Pecan Street Café, Austin, Texas (1976)

Man verliert die meiste Zeit damit, dass man Zeit gewinnen will.
unbekannt

Alle die Definition der „Zeit" betreffenden Schwierigkeiten könnten dadurch überwunden werden, dass ich an Stelle der „Zeit" die „Stellung des kleinen Zeigers meiner Uhr" setze.
Albert Einstein

Die Zeit ist eine notwendige Vorstellung, die allen Anschauungen zum Grunde liegt.
Immanuel Kant

I think of all the good times that I've wasted having good times.
The Animals, Good Times



Die Zukunft war früher auch besser.
Karl Valentin

Gott hat die Zeit geschaffen, der Teufel den Kalender.
Erwin Chargaff

Foto: Joe Bator, Corbis

Der Mensch kommt immer schneller dort an, wo er immer kürzer bleibt.
unbekannt

Was also ist die Zeit? Wenn mich niemand danach fragt, weiß ich es, wenn ich es aber einem, der mich fragt, erklären will, weiß ich es nicht.
Aurelius Augustinus, Confessiones, XI 14

Zeit existiert, basta!

Wissen Sie, was Zeit ist? Das fragen sich Physiker seit Generationen und rätseln immer noch, warum die Zeit immer nur von der Vergangenheit in die Zukunft fließt.

Für Isaac Newton (1643–1727) war die Welt noch in Ordnung. „Die absolute, wahre und mathematische Zeit verfließt an sich und vermöge ihrer Natur gleichförmig und ohne Beziehung auf irgendeinen äußeren Gegenstand“, behauptete er in seinen 1686 vollendeten „Principia“. Er schrieb der Zeit damit mehrere Eigenschaften zu: Erstens ist sie absolut, also an jedem Ort des Universums die gleiche. Insbesondere werden sich verschiedene Beobachter – auch dann, wenn sie sich relativ zueinander bewegen – immer darüber einig werden, ob zwei bestimmte Ereignisse gleichzeitig geschehen oder nicht. Zweitens vergeht die Zeit gleichförmig. Sie legt also keine „Zwischenspurts“ ein oder macht einfach mal Pause. Subjektiv hat zwar jeder von uns in manchen Situationen schon die Erfahrung gemacht, dass die Zeit scheinbar mal schneller, mal langsamer vergeht, manchmal sogar stillsteht. Aber ein Blick auf eine Uhr lässt die meisten von uns auch in solchen Situationen nicht daran zweifeln, dass die Zeit objektiv gleichmäßig fortschreitet. Drittens steht die Zeit zu keinem äußeren Gegenstand in Beziehung. Es gibt nach Newton also nichts – keine Maschine, keine Wechselwirkung, kein Naturgesetz – was den gleichförmigen Fluss der Zeit irgendwie beeinflussen könnte.

All diese Eigenschaften hat die Zeit „an sich und vermöge ihrer Natur“. Stattdessen hätte Newton auch einfach sagen können: Die Zeit existiert halt, basta! Man muss sie nicht weiter erklären. Newton ordnet der Zeit aber noch eine vierte Eigenschaft zu: Sie „verfließt“, das heißt, sie hat eine Richtung. So wie Flüssigkeiten nur von oben nach unten fließen können, kann die Zeit nur von der Vergangenheit in die Zukunft fließen.

Da die Zeit nach Newton also eine naturgegebene Richtung hat, ist es nur folgerichtig, dass die von ihm begründete klassische Mechanik keine Erklärung für den Zeitpfeil liefert. Ein einfaches Beispiel für ein System, das (fast!) vollständig mit den Gleichungen aus Newtons Mechanik beschrieben werden kann, ist ein Billardspiel. Filmt man einen Billardtisch von oben und schneidet die Passagen heraus, in denen die Kugeln von Spielern gestoßen wurden, dann kann ein Betrachter des Films nicht entscheiden, ob er vorwärts oder rückwärts vorgeführt wird. Denn die Stoßgesetze aus Newtons Mechanik sind zeitsymmetrisch.

Das ungute Gefühl, das Sie jetzt haben, ist berechtigt. Wenn die vorgeführten Filmschnipsel lang genug sind, kann man natürlich eine Zeitrichtung ausmachen! Denn die bisher nicht berücksichtigte Reibung der Kugeln mit dem Billardtisch sorgt dafür, dass sie langsamer werden und schließlich liegen bleiben. Mechanische Bewegungsenergie hat sich in Wärmeenergie umgewandelt. Die Umkehrung dieser Energiewandlung, die uns ein rückwärts laufender Film vorgaukeln würde, kommt in der Natur nicht vor. Offenbar ist das der Grund, warum Zeit eine eindeutig bestimmte Richtung hat.

Das Naturgesetz, das den Billardkugeln verbietet, schneller zu werden, ist der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik. Unter anderem folgt aus diesem Satz, dass alle Prozesse, bei denen Reibung stattfindet, zeitlich unumkehrbar sind. Die Energie, die die Billardkugeln aufgrund der Reibung abgeben, geht zwar nicht verloren – sie sorgt dafür, dass sich die Kugeln und der Billardtisch ein wenig aufheizen. Aber die entstandene Wärmeenergie kann nicht umgekehrt die Kugeln wieder schneller werden lassen.

Die Thermodynamik war ursprünglich eine Erfahrungswissenschaft. Ihre Gesetze waren allein aufgrund von Experimenten gefunden worden. Erst James Maxwell (1831–1879) und Ludwig Boltzmann (1844–1906) machten sich daran, die makroskopischen Größen der Thermodynamik wie beispielsweise Druck und Temperatur auf die mikroskopischen Eigenschaften von Molekülen zurückzuführen. Insbesondere Boltzmann unternahm den verrückt anmutenden Versuch, aus den zeitsymmetrischen Gesetzen von Newtons Mechanik die von der Thermodynamik vorgegebene Zeitrichtung herzuleiten.

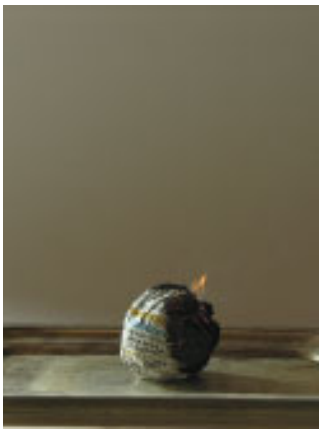
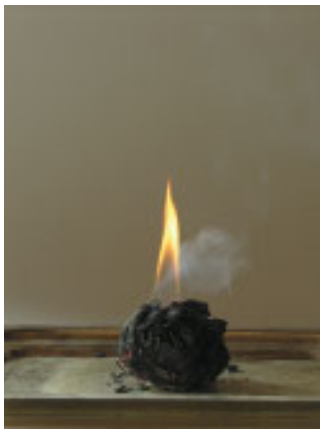
Sein Hauptargument war die Wahrscheinlichkeit, die man bestimmten mikroskopischen Bewegungszuständen zuordnen kann. Kommen wir noch einmal auf den Billardtisch zurück: Warum beobachten wir nie, dass der Tisch und die Kugeln sich ein wenig abkühlen und die Kugeln mit der so gewonnenen Energie beschleunigt werden? Während die Kugeln über den Tisch rollen, wird ein Teil ihrer Bewegungsenergie in Wärmeschwingungen der Moleküle umgewandelt. Und diese Umwandlung gehorcht den zeitsymmetrischen Gesetzen der Mechanik. Also muss doch die exakte Umkehrung des gesamten Prozesses und damit die Rückumwandlung der Wärme in Bewegungsenergie der Kugeln auch möglich sein!

Möglich ja, aber nicht wahrscheinlich. Die Wärmeschwingungen der Moleküle sind völlig ungeordnet: Während ein bestimmtes Molekül auf seinem Platz gerade nach oben schwingt, schwingt sein Nachbar vielleicht gerade nach unten oder nach vorne oder nach rechts. Um der Kugel aber einen Bewegungsimpuls verleihen zu können, müssten alle oder doch zumindest die Mehrheit der Moleküle, die gerade den Tisch berühren, gleichzeitig in die gleiche Richtung schwingen. Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass dies für einen Augenblick ein einziges Mal passiert, ist über den Daumen gepeilt mindestens eine Billiarde mal geringer als ein Sechser im Lotto. Um einer Kugel einen spürbaren Impuls zu verleihen, würde aber ein einziger gleichzeitiger Stoß aller Moleküle nicht ausreichen. Dazu müssten sie viele Male hintereinander koordiniert in die gleiche Richtung schwingen.

Boltzmann gelang es, diese statistische Erklärung der Thermodynamik mit dem bereits von Rudolf Clausius (1822–1888) eingeführten Begriff der Entropie in Beziehung zu setzen. Demnach ist die Entropie im Wesentlichen die Wahrscheinlichkeit für einen bestimmten makroskopischen Zustand. Dazu zunächst ein einfaches Beispiel: Wir nehmen zwei Würfel. Dem gewürfelten Augenpaar entspricht ein mikroskopischer Zustand. Uns interessiert aber gar nicht das spezielle Ergebnis, sondern nur eins: ob wir eine Doppelsechs gewürfelt haben oder nicht. Deshalb unterscheiden wir nur zwei makroskopische Zustände, nämlich die Doppelsechs (6|6) und die Nicht-Doppelsechs, die aus den anderen 35 möglichen Mikrozuständen (1|1), (2|1), ... , (5|6) besteht. Logischerweise ist das Eintreten der Nicht-Doppelsechs 35-mal so wahrscheinlich wie das der Doppelsechs. Oder anders ausgedrückt: Die Nicht-Doppelsechs hat eine wesentlich größere Entropie als die Doppelsechs.

Betrachten wir nun eine Veränderung der Doppelsechs, die wir dadurch erreichen, dass wir einen der beiden Würfel ein zweites Mal werfen. Dann ist es wahrscheinlicher, dass sich der makroskopische Zustand „Doppelsechs“ in den Zustand „Nicht-Doppelsechs“ verwandelt, als dass das Umgekehrte passiert. In anderen Worten: Es ist wahrscheinlicher, dass die Entropie zunimmt, als dass sie abnimmt.

Zurück zu den Billardkugeln: Es gibt Myriaden mehr mikroskopische Zustände, bei denen die Moleküle unkoordiniert in alle möglichen Richtungen schwingen, als Zustände, bei denen sie koordiniert schwingen und Bewegungsenergie auf eine Kugel übertragen. Deshalb wird jede Veränderung der Mikrozustände, die natürlich den Newtonschen Gesetzen gehorcht, mit überragender Wahrscheinlichkeit zu einem Makrozustand mit unkoordinierten Mikrozuständen führen – also zu einem Makrozustand, bei dem die Kugel langsamer wird. Anders ausgedrückt ist das eine alternative Formulierung des Zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik: In einem abgeschlossenen System nimmt die Entropie in der Regel zu, einfach deshalb, weil die „unordentlichen“ Makrozustände – also die mit hoher Entropie – die wahrscheinlicheren sind. Umgangssprachlich sagt man dafür oft einfach: Die Unordnung nimmt zu.

Fotos (12): www.okerland-archiv.de

Boltzmann war es also gelungen, den Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik, der der Zeit eine Richtung gibt, auf die zeitsymmetrischen Gesetze der Newtonschen Mechanik zurückzuführen. Das dachte er jedenfalls – bis Johann Josef Loschmidt (1821–1895) ihn mit einem Einwand zum Grübeln brachte: Wenn die Gesetze der Newtonschen Mechanik – zusammen mit dem Wahrscheinlichkeitsargument – dafür sorgen, dass die Entropie in der Zukunft zunimmt, was ändert sich, wenn wir die Entwicklung eines Systems in die Vergangenheit zurückberechnen?

Wir schauen uns dazu noch einmal unsere Billardkugeln zu einem bestimmten Zeitpunkt an. Jede einzelne Kugel hat in diesem Augenblick eine bestimmte Geschwindigkeit und jedes einzelne Molekül einen bestimmten Schwingungszustand. Jetzt kehren wir einfach die Zeitrichtung um und verfolgen mit Hilfe der zeitsymmetrischen Newtonschen Gesetze die Entwicklung des Systems in die Vergangenheit zurück. Um das wirklich tun zu können, müssten wir natürlich die Geschwindigkeiten kennen, mit denen jedes einzelne Molekül gerade schwingt. Aber auch wenn wir diese Rechnung nicht wirklich durchführen können, die Billardkugeln einschließlich aller ihrer Moleküle müssen sich zweifellos an die Newtonschen Gesetze halten. Das heißt, wenn alles mit rechten Dingen zugeht, müssen sie sich genau so verhalten, wie man es im rückwärts abgespielten Film sieht: Die Kugeln werden kälter und schneller.

Okay, aber genau das war doch zu erwarten – denn die Kugeln waren ja in der Vergangenheit kälter und schneller. Wo liegt das Problem? Das Problem ist, dass Boltzmanns Wahrscheinlichkeitsargument in Richtung Vergangenheit natürlich genauso gilt wie in Richtung Zukunft. Und die Newtonschen Gesetze sind sowieso zeitsymmetrisch. Die Entropie müsste also auch in Richtung der Vergangenheit zunehmen – was sie ganz offensichtlich nicht tut.

Diesen paradoxen Sachverhalt haben Physiker später damit erklärt, dass die Geschwindigkeiten zweier Moleküle nach einer Wechselwirkung wie beispielsweise einem Stoß nicht mehr voneinander unabhängig sind. Dieser Unterschied ist dafür verantwortlich, dass sich das System in Richtung Vergangenheit in den unwahrscheinlicheren Makrozustand der schneller werdenden Kugeln hin entwickelt.

Das Paradoxon wird auf diese Weise zwar aufgeklärt, aber leider bricht damit auch die Erklärung für den Zeitpfeil zusammen. Denn der Grund dafür, dass die Geschwindigkeiten der Moleküle nach einem Stoß, aber nicht vorher, voneinander abhängen, ist ja gerade die Richtung der Zeit. Die Katze beißt sich in den Schwanz. Wir setzen genau das voraus, was wir erklären wollen.

Den einzigen Ausweg aus diesem Dilemma sehen viele Physiker heute in den Anfangsbedingungen des Universums. Wenn die Naturgesetze die Zunahme der Entropie in beide Zeitrichtungen als wahrscheinlich vorhersagen, dann kann für den Zeitpfeil nur eine niedrige Entropie kurz nach dem Urknall verantwortlich sein. Nimmt man diese als „gottgegeben“ an, dann kann sich das Universum nur noch zur höheren Entropie hin entwickeln. Das gibt der Zeit ihre Richtung. Den schwarzen Peter, nach einer Erklärung für die niedrige Anfangsentropie zu suchen, haben nun die Kosmologen.

Könnten Sie jetzt einem wissbegierigen Mitmenschen immer noch überzeugend erklären, was Zeit ist? Falls nicht, dann werfen Sie doch einfach mal einen Blick in das Zimmer Ihres Nachwuchses. Wenn die Unordnung wieder ein wenig zugenommen hat, dann können Sie beruhigt sein: Die Zeit fließt noch in die richtige Richtung!

Axel Tillemans

Zeit ist relativ

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts wurden die Physiker auf eine Ungereimtheit zwischen der Newtonschen Mechanik und der von Maxwell entwickelten Elektrodynamik aufmerksam. Während Newtons Gesetze für einen ruhenden und einen sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegenden Beobachter dieselben waren, galt das für Maxwells Gleichungen nicht. Albert Einstein (1879–1955) konnte das Problem lösen, indem er annahm, dass die Zeit für den bewegten Beobachter langsamer vergeht.

Entgegen Newtons Behauptung ist die Zeit also nicht absolut, sondern relativ. Sie bildet nicht den neutralen Rahmen, in dem physikalische Ereignisse stattfinden, sondern sie ist selbst Teil der Physik und kann von ihr beeinflusst werden – in der Speziellen Relativitätstheorie durch große Geschwindigkeiten und in der später von Einstein entwickelten Allgemeinen Relativitätstheorie durch die Gravitationskraft großer Massen.

Beide Effekte sind heute zweifelsfrei nachgewiesen, beispielsweise durch Zeitmessungen mit Atomuhren. So ging eine Uhr auf dem Brocken in fünf Tagen etliche milliardstel Sekunden schneller als eine Vergleichsuhr auf dem Boden, weil die Masse der Erde die Zeit um so mehr verlangsamt, je näher man der Erde kommt. Ortsbestimmungen mit dem GPS-Satellitensystem wären ziemlich unbrauchbar, wenn man die Bordzeit der Satelliten nicht mittels Einsteins Formeln umrechnen würde.

at

A M K, die Zeitmatrix und ich

Ein Tagtraum

Neulich im Garten gelegen, auf der Liege unterm Apfelbaum, herrlichstes Sonnenwetter, wunderbare Ruhe, das Buch sinkt auf die Brust, Lider fallen zu. Die Zeit scheint stillzustehen.

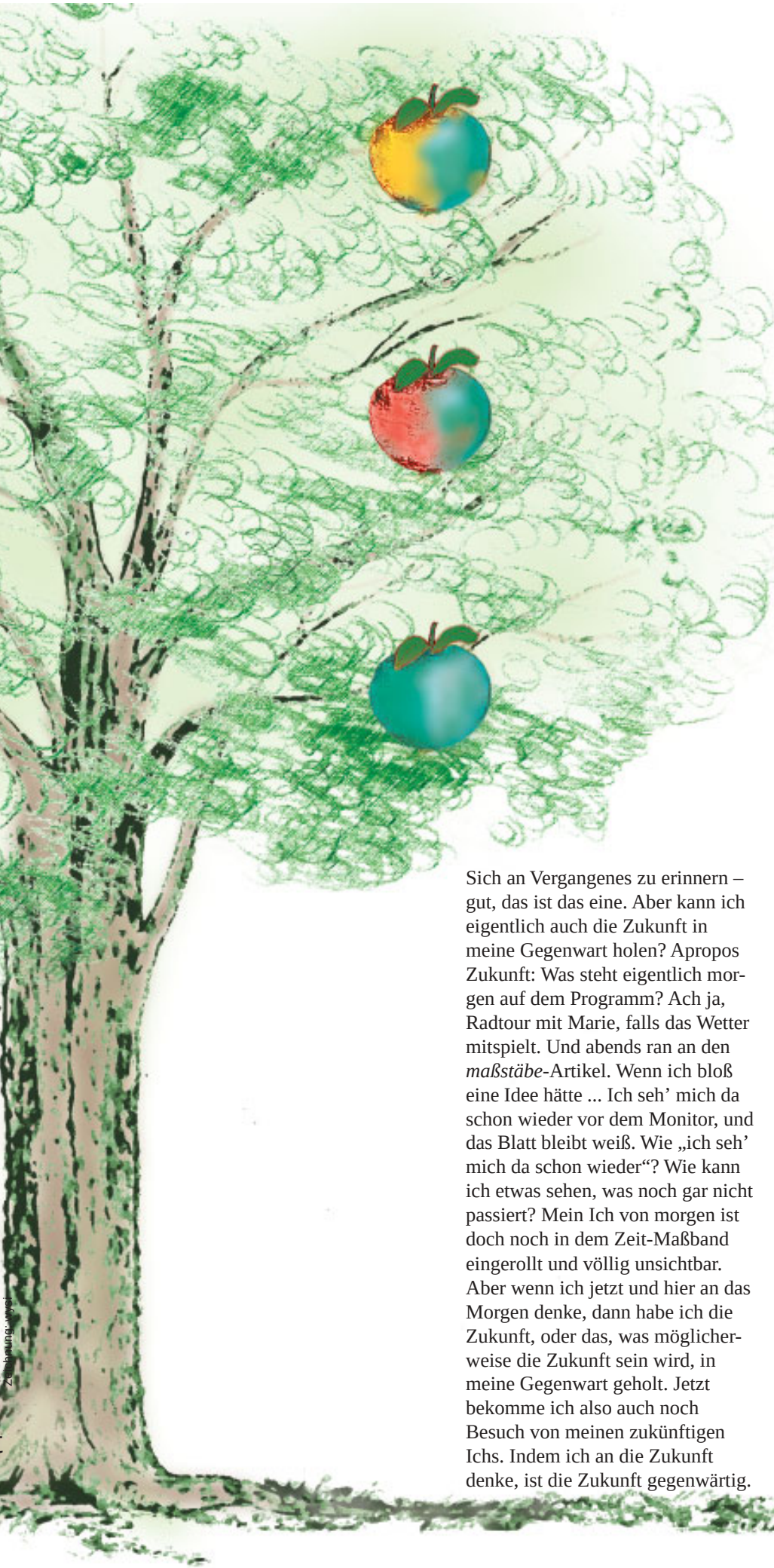
Zeit? Stillstand? Das passt doch gar nicht zusammen, denke ich. Die Zeit ist doch ein Fluss, ein reißender Strom. Nichts kann an seinem „zeitlichen Ort“ bleiben, sondern wird doch immerfort mitgerissen von einer Gegenwart in die nächste, welche gerade noch Zukunft war und gleich schon Vergangenheit sein wird.

Halt, Jens!, rufe ich mich innerlich zur Ruhe: Dieses schöne, glatte Jetzt solltest du dir nicht durch krause Gedanken aufrauen lassen. Jetzt ist Denkpause! Aber haben Sie schon mal versucht, Ihrem Kopf Befehle zu geben? Meiner ist da ziemlich resistent, was autoritäre Töne betrifft. Das Beste ist zumeist, der grauen Masse nachzugeben und darauf zu hoffen, dass ihr beim Denken bald die Puste ausgeht. Na, wollen mal sehen ...

Zeit? Gibt es da überhaupt ein Problem? Zeit ist doch einfach dieses unendlich lange Maßband, das beim Urknall jemand angestoßen hat und das sich seitdem schön gleichmäßig abrollt, ohne Knoten und Knicke. Meine alten Ichs, z. B. die von gestern und vom vorletzten Jahr, liegen irgendwo auf dem abgerollten Band neben all den Myriaden von anderen Ereignissen, die zu eben diesen Zeitpunkten stattgefunden haben. Alles Vergangenheit. Alles schön sortiert – der Reihe nach. Alles archiviert in der großen Weltbibliothek, in der noch so viele Regale frei sind. Viel Platz für das Morgen, das noch irgendwo in den Windungen des Maßbands steckt.

Ist ja schon eine lustige Vorstellung: All meine abgelegten Ichs liegen irgendwo rum, eingekeilt zwischen Nachbar-Ichs und Nachbar-Dus und können sich nicht mehr rühren. Aber in meiner Erinnerung, da sind manche von ihnen noch ganz lebendig. Gelegentlich besucht mich einer dieser vergangenen Burschen und erzählt mir Anekdoten von damals. Da ist dann die Vergangenheit zu Besuch in der Gegenwart. Klingt irgendwie komisch, ist aber, wenn ich es mir recht überlege, die einzige Möglichkeit, überhaupt etwas von der Vergangenheit zu wissen. Wäre es anders, dann wäre die Vergangenheit ja so was von vergangen, dass sie gar nicht wäre.

Im Garten herrscht weiter eine tiefe Stille, von keinem nachbarlichen Rasenmäher gestört. Auf der Liege bewegt sich nichts, und auch der Kater hat es sich – unter der Liege – bequem gemacht.



Sich an Vergangenes zu erinnern – gut, das ist das eine. Aber kann ich eigentlich auch die Zukunft in meine Gegenwart holen? Apropos Zukunft: Was steht eigentlich morgen auf dem Programm? Ach ja, Radtour mit Marie, falls das Wetter mitspielt. Und abends ran an den *maßstäbe*-Artikel. Wenn ich bloß eine Idee hätte ... Ich seh' mich da schon wieder vor dem Monitor, und das Blatt bleibt weiß. Wie „ich seh' mich da schon wieder"? Wie kann ich etwas sehen, was noch gar nicht passiert? Mein Ich von morgen ist doch noch in dem Zeit-Maßband eingerollt und völlig unsichtbar. Aber wenn ich jetzt und hier an das Morgen denke, dann habe ich die Zukunft, oder das, was möglicherweise die Zukunft sein wird, in meine Gegenwart geholt. Jetzt bekomme ich also auch noch Besuch von meinen zukünftigen Ichs. Indem ich an die Zukunft denke, ist die Zukunft gegenwärtig.

Und nur so ist die Zukunft im Jetzt überhaupt erfahrbar. Das ist ja genauso wie bei der Vergangenheit, nur umgekehrt. Also, das sollte ich mir jetzt mal merken. Dazu muss ich aber wohl kurz die Ruhe stören: Jens, steh mal auf!

Na gut, wenn es denn sein muss. Wo liegt denn der nächste Stift? Bestimmt im Wohnzimmer. Dann geh' ich mal. Kater, du kannst ruhig liegen bleiben! [etwas Zeit vergeht] So, was soll ich jetzt aufschreiben? Diktier mal:

Die Zeit ist nicht nur Vergangenheit und Gegenwart und Zukunft. Alles, was wir wissen, ist nur relativ zum Jetzt zu verstehen: Wir erfahren die Zeit als Gegenwart der Vergangenheit, als Gegenwart der Gegenwart und als Gegenwart der Zukunft. Die Zeit ist mit sich selbst verschränkt.

War es das? Darf ich mich jetzt wieder hinlegen? Danke!

Glaub' ja nicht, dass jetzt schon Feierabend ist. Bestimmt fällt mir noch was Zeitgemäßes ein. Überleg' doch mal, was wir gerade gemacht haben: Wir haben die drei Formen der Zeit mit der Gegenwart verkoppelt. Und wo wir schon dabei sind, können wir doch auch mal andere Kombinationen ausprobieren und sehen, was dann herauskommt. Drehen wir doch die Pärchen einfach mal um. Aus der Gegenwart der Vergangenheit wird dann die Vergangenheit der Gegenwart. Und aus der Gegenwart der Zukunft wird die Zukunft der Gegenwart. Macht das Sinn?

Also, ich bitte dich: Seit wann bin ich für den Sinn zuständig? Das ist doch wohl deine Aufgabe. Fang' jetzt keine neuen Moden an. Wenn ich dir was vorschlagen darf: Mach' es so wie ich. Still liegen bleiben und die Schwere der Glieder genießen. Arbeiten können wir morgen wieder. Denk' nicht, sondern hör' lieber: Unsere Nachbarin hat gerade meine Lieblings-CD eingelegt. Markku Peltola.

Gut, dass wir mal einer Meinung sind. Die Musik mag ich auch – herrlich schräg. Jetzt kommt gleich die Passage, bei der die Elefantenherde vorbeistapft. Auf diese Stelle freue ich mich jedes Mal. Gleich. Jetzt: Badumm – badumm – badumm. Dieser Peltola ist wirklich eine Klasse für sich. Aber glaub' nicht, dass du mich so leicht vom Thema ablenken kannst. Wenn ich es recht bedenke, hast du mich jetzt mit der Musik sogar auf eine Idee gebracht. Lass' mich mal kurz nachdenken.

Ich hätte es wissen müssen. Ablenkungsmanöver zwecklos!

Schau mal: Alles, was in der Welt geschieht, geschieht in der Zeit. Und alles, was wir erfahren, was wir wissen können, geschieht in unserer Gegenwart. Die erfahrbare Zeit ist eine verschränkte Zeit. Du hast es ja auch notiert.

Ja, das weiß ich. So weit waren wir doch vorhin schon. Und wo ist jetzt deine Idee?

Na, die Idee ist die Musik. Passt das Hören von Musik etwa in dieses Zeit-Schema? Auch wenn ich das Peltola-Stück schon oft gehört habe, ist die Erinnerung daran (Ich sag nur: Gegenwart der Vergangenheit) doch etwas ganz anderes als ein erneutes Hören. Den Spannungsbogen, der in der Musik steckt, kann ich immer nur aufs Neue erfahren. Und dieser Spannungsbogen verbindet doch gerade die Vergangenheit mit der Zukunft, er verbindet das „nicht mehr" mit dem „noch nicht" und ich stecke genau mittendrin und spüre eben diese Mitte. Der Spannungsbogen umklammert meine Gegenwart mit Vergangenem und mit Zukünftigem. Und schon hast du neue Zeitverschränkungen. Und bevor du das vergisst, schreib es auf. Ich diktiere wieder.

Es hätte ein so schöner Nachmittag werden können. Aber ich habe wohl keine Wahl. Gut, ich bin soweit:

Auch die Gegenwart selbst kann in die Vergangenheit und in die Zukunft hineinragen. Ein erlebter Spannungsbogen tut genau das: Er erschafft neben der immer vorhandenen Gegenwart der Gegenwart eine Vergangenheit der Gegenwart und eine Zukunft der Gegenwart. Solche Phänomene begegnen uns in der Musik, in der Literatur oder allgemeiner in der Kunst.

Muss ich das jetzt auf Anhieb verstehen?

Ach, gib dir keine Mühe. Verstehen kannst du das ohnehin nicht. Zumindest nicht im üblichen Sinne von „Verstehen". Denn die Welt des Wissens ist diejenige, die wir zu Anfang hatten, in der sich die drei Zeitformen in der Gegenwart einfinden. Jetzt findet sich die Gegenwart in den drei Zeitformen wieder. Es gibt halt Phänomene, die nicht gewusst werden können. Kunst – und das ahnst selbst du – ist nicht reduzierbar auf Wissen.

Noch so eine Beleidigung und ich zeige dir die rote Karte.

Sei doch nicht so empfindlich! Du kannst ja nichts dazu, dass dich die nackte Physik so geprägt hat. Die Zeit als Parameter, dem man schnell ein Plus oder ein Minus vorsetzen kann. Im ersten Fall geht's vorwärts, im zweiten Fall rückwärts. Das kannst du einem mechanischen Pendel ohne Reibung erzählen. Mit der Wirklichkeit hat das ja nur bedingt zu tun.

Okay, okay. Wir wollen uns nicht streiten. Es wird schon wahr sein, dass die Wirklichkeit etwas mehr ist, als die Physik uns an Theorien anbietet.

Solltest du doch noch einsichtig werden? Vielleicht sollte ich dann die Gunst der Stunde nutzen. Wenn du jetzt schon so viele neue Zeitverknüpfungen geschluckt hast, wie wäre es dann mit denen, die nun eigentlich auf der Hand liegen: Wir hätten da noch die Zukunft der Vergangenheit oder die Vergangenheit der Zukunft oder ...

Jetzt reicht's aber. Mir schwirrt schon der Kopf.

Ich bitte dich. Dein Kopf bin ich.

Sei es, wie es sei. Ich schick dich jetzt in die Zukunft der Zukunft und geh ins Haus. Die Sonne ist ja auch schon weg. Komm Kater, wir gehen.

Jens Simon

Prof. Dr. A. M. Klaus Müller, 1931 bis 1995

- Die präparierte Zeit.
  Der Mensch in der Krise seiner eigenen Zielsetzungen.
  Stuttgart: Radius-Verlag, 1972
- Das unbekannte Land. Konflikt-Fall Natur.
  Erfahrungen und Visionen im Horizont der offenen Zeit.
  Stuttgart: Radius-Verlag, 1987
- An der Schwelle zum Geheimnis der Zeit.
  Carolo Wilhelmina, Mitteilungen der TU Braunschweig,
  Jahrgang XXV, Heft II/1990, S. 28–38
- Diesseits und Jenseits der Wissenschaft.
  Band I und II, Braunschweiger Universitätsreden, 1997
- Im unbekannten Land.
  Zum Gedenken an A. M. Klaus Müller (1931–1995).
  Herausgegeben von J.-H. Walsdorff, V. Weidemann,
  Eigenverlag, 2005
  (ISBN 3-925268-26-X)

Lieber AMK Müller,

Sie wissen ja, wir Studenten der Theoretischen Physik haben Sie stets nur AMK genannt. Und in diesen drei Buchstaben schwang immer auch ein großer Respekt mit. Respekt vor Ihnen als Physiker, als Philosoph und vor allem als Mensch. Diese Haltung währt bis heute und ich hoffe, dass Sie sich angesichts meines Tagtraums nicht im Grabe umdrehen. Aber ich hatte mir vorgenommen, die Idee, die Sie mit der Zeitmatrix hatten, in unseren *maßstäben* zumindest anzudeuten. Eine Andeutung, die vielleicht den einen oder anderen verleiten könnte, einmal über die Beziehungsgeflechte der Zeit zu meditieren. Und eben dies – so hoffe ich – ist vielleicht in Ihrem Sinne. Ich weiß, dass die Zeitmatrix nicht als alleinstehender Gedanke lebensfähig ist, sondern als ein – wenn auch zentraler – Baustein Ihrer Lebens- und Naturphilosophie zu sehen ist, nach der die wissenschaftliche Realität zwar Teil des Lebens ist, die Umkehrung aber nicht gilt. Nur jedes Wort dazu hätte meinen Tagtraum gesprengt. Sehen Sie mir das nach?

Dies hoffend, grüßt Sie aus zeitlicher Ferne, aber zugleich aus ganz gegenwärtiger Vergangenheit

Ihr Jens Simon

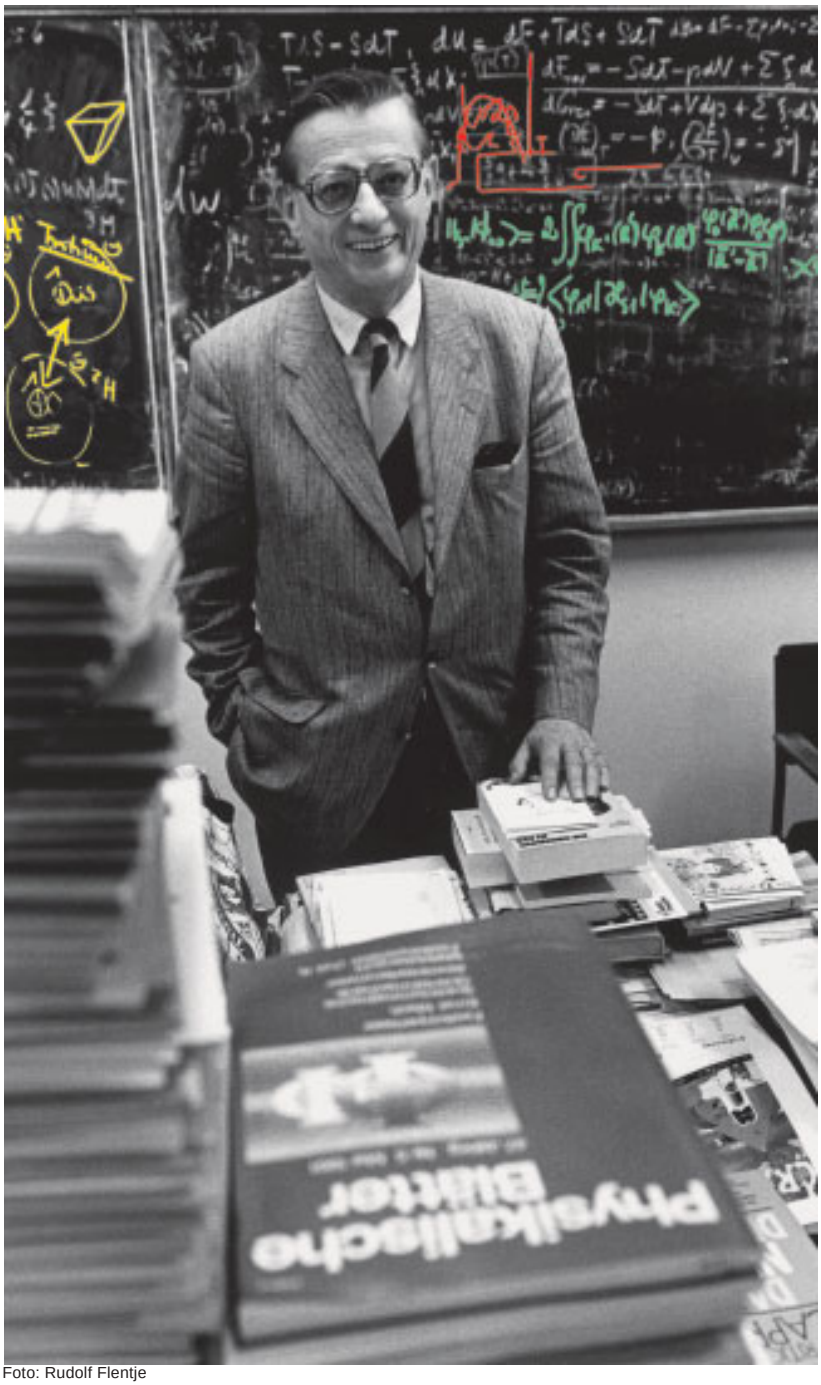


Foto: Rudolf Flentje

Professor AMK Müller in seinem Büro am Institut für Mathematische Physik der TU Braunschweig, 1990

Foto: Workbookstock.com/mauritius images

Bist Eulen?

„Bist Eulen?“, fragt Ernst Jandl in einem Gedicht. – Ja, bin Eulen! – möchte ich ausrufen, anders kann es gar nicht sein. Meine innere Uhr geht leider ganz nach der Eule, spät fidel und morgens, nun ja, schweigen wir drüber ... Dass das so ist, hat leider ganz klar Nachteile – sprechen wir zunächst von den Vorteilen.

Jandl nennt die Eule; bei Shakespeare ruft in der berühmten Szene, in der Julia und Romeo sich näher kommen, die Nachtigall ... und solange sie ruft, bleibt Zeit für innige Küsse. Die Nachtigall singt – die Lerche schweigt – noch dämmert es nicht! Kein Zweifel: Dem Nachtschwärmer – und wieviel mehr dem Liebespaar, dem es mit Leichtigkeit gelingt, nächtens die Zeit anzuhalten – gehört die Sympathie der Dichter! Im Zeichen der Muse singt die Nachtigall, für die Lerche bleibt – ja was? Natürlich der Fleiß! Die emsige Lerche fängt als früher Vogel ganz sicher den Wurm, hat aber – davon ist auszugehen – wesentlich weniger zu lachen und kann beckmesserisch nur an das Tagwerk und den zügigen Abschied von jeder Träumerei mahnen.

Also auf der Vorteilsseite der Eulenhaftigkeit darf die Lebenslust angerechnet werden, die dann allerdings mit kleinen rotgeränderten Augen am nächsten Tag an den Arbeitsplatz starten muss.

Dabei folgt auch die Lerche ihrer inneren Uhr, fällt mit den Hühnern ins Bett und hat schon drei Waschmaschinen verkauft, noch ehe die Eule sich das erste Mal die Augen gerieben hat. Die innere Steuerung der Lebewesen, die neben dem Menschen auch Tier und Pflanze bestimmt, fasziniert die Menschen seit Jahrhunderten. Lange glaubte man, das Tageslicht spiele eine wesentliche Rolle, wenn es um den Wechsel von Aktivität und Erholung geht. Doch das stimmt nur bedingt. In Experimenten, in denen Probanden sich ohne Uhr und ohne Tageslicht eine eigene Zeitorientierung erarbeiten mussten, stellte sich heraus, dass der Tag für den einzelnen Menschen – und gäbe es nur ihn und keine äußeren Zeitgeber – rund 25 Stunden vorhält.

25 Stunden! Kein Wunder, dass ich durch das Leben hetze und doch für nichts ausreichend Zeit habe. Aber andererseits, und das verblüfft mich gar nicht: Die Energie des Menschen scheint für mehr als einen 24-Stunden-Tag zu reichen. Pläne, Ideen, Vorhaben – mühelos lassen sich die 25 Stunden füllen, die ein gefühlter Tag im Schnitt umfasst. Fast synchron läuft unser Zeitgefühl mit dem Zeigerstand der Uhr mit, aber eben nur fast. Eine Stunde reservieren wir uns für Eskapaden, für Esprit oder vielleicht schlicht für ein spätes Bier. Die Rebellion gegen den Zwang geschieht in der Nacht.

Prompt geht es zu spät ins Bett und am nächsten Morgen stehen gleich zwei Stunden auf dem gefühlten Minus. Doch so nach drei Wochen ungefähr haben wir das rechnerisch wieder raus. Dann haben wir den Tagesablauf eingeholt. Dann fehlt ein Wochentag. Und am nächsten Tag gleich wieder eine Stunde ... Ein permanenter Jetlag.

Wie fühlt der Mensch das Vergehen von Zeit – ohne Uhr und ohne Tageslicht? Im uhrlosen Verlies hört er plötzlich das eigene Herz klopfen, rhythmisch kommen Hunger und Schlafbedürfnis, Lust auf Tat- und Schaffenskraft, Bedürfnis nach Besinnung und Erholung. Wer sich so versenken kann, dass er spürt, wie die eigenen Fingernägel und Haare wachsen, der weiß, was dem Körper der Tag bedeutet. Auch die Verdauung geschieht ja nicht ohne Rhythmik, ja selbst der Schlaf malt im Labor Zyklen auf das Papier der Seismographen. Was ist mit Gefühlen, Gedanken und der Erinnerung?

Was wirklich praktisch wäre, wäre ja eine innere Uhr, die einen immer an die wichtigen Dinge des Lebens erinnern würde. An die unwichtigen natürlich auch. Ich meine jetzt nicht, dass mein Körper mich daran erinnert, dass ich etwas essen sollte – das funktioniert ja schon bestens. Oder ein leichtes Ziehen im Backenzahn, das mich zum Zahnarzt treibt, ... nein das nicht.

Nein, was ich meine, ist das Gespür für den richtigen Moment. Der richtige Moment für die Steuererklärung zum Beispiel. Nicht das wochenlange Vor-Sich-Hinschieben und Erwägen, man könnte ja schon mal die eine oder andere Unterlage heraussuchen. Nein, besser als sich nacheinander an etlichen Samstagen ein paar Stunden freizuhalten und dann doch das Bücherregal neu zu sortieren oder die Begonien umzutopfen wäre: Schlagartig wird mir klar, jetzt ist der perfekte Moment für die Steuererklärung. Und die erklärt sich dann wie von selbst, geht ganz leicht von der Hand.

Wieviel sinnlose mentale Vorarbeit würde da gespart! Das könnte genauso gut bei vielen anderen Angelegenheiten funktionieren: ... Ich wache morgens auf und stelle fest: Heute finde ich die Schuhe für diesen Sommer! Oder warum nicht: die Immobilie des Lebens, verfasse die Patientenverfügung ... wage einen ersten Kuss ... realisiere den großen Coup ... überzeuge beim Vorstellungsgespräch für den wichtigen Job ... es gelingt ein Loslassen für das überraschend selbstständige Kind ...

Der gelungene Moment eben ..., das wäre die innere Uhr mit Zusatzfunktion. Das wäre wirklich eulenäugig.

Birgit Ehlbeck

Oktober 1582

WENN TAGE IM ZEIT-LOCH VER-SCHWIN-DEN

Kalender sind Meisterstücke der Diplomatie. Denn beim Zählen und Sortieren von Tagen müssen sie mehreren „Obrigkeiten“ zugleich dienen: der Sonne, dem Mond und der jeweiligen Religion. Ohne einen gelungenen Kompromiss käme die Zeitzählung – so oder so oder so – aus dem Takt.

Die Null ist alles. Und ohne Null alles nichts. Schließlich braucht, wer zählen will, einen Anfang. Doch wie den Anfang finden? Die Zivilisationsgeschichte kennt hier viele Antworten. Im römischen Reich diente ursprünglich das mythologische Gründungsdatum Roms („ab urbe condita“) ebenso als Nullpunkt wie die persönlichen Daten bestimmter Konsuln und Kaiser. Doch Rom war nicht nur heidnisch, sondern wurde auch zum Kristallisationskeim des aufstrebenden Christentums – und dies nicht ohne Auswirkungen auf den Kalender. Die Urchristen hatten nämlich begonnen, die wachsende Zahl von Märtyrern und Heiligen auf die einzelnen Tage zu verteilen. So gewann – im Verein mit den hohen Festtagen – der römische Kalender doch allmählich christliches Gepräge. Bis im 2. Jahrhundert nach Christus offenbar auch der alte, heidnische Nullpunkt langsam als Fremdkörper empfunden wurde. Damals tauchen jedenfalls Geburt und Passion des Herrn als weiteres Zeitmaß daneben auf. Offiziell wird es aber erst im Jahre 525, als Abt Dionysius Exiguus den gebräuchlichen Kalender des Kaisers Diokletian brandmarkt: Das christliche Jahr dürfe sich nicht nach einem schlimmen Christenverfolger richten! So definierte man den Nullpunkt neu und setzte die Geburt Christi an den Beginn der Zeitrechnung. Eine Definition, die für unseren Kalender bis heute gilt.

Der Nullpunkt im Kalender erscheint freilich auch in andern Kulturkreisen als wichtige Angelegenheit. Der jüdische Kalender zählt die Jahre seit Erschaffung der Welt (bei den Urchristen ebenfalls gebräuchlich neben den römischen Fixpunkten für die Zeit). Der Islam schließlich, um die drei großen monotheistischen Religionen hier zu vereinen, wählte als Nullpunkt seines Kalenders die Hedschra, den Auszug Mohammeds aus Mekka nach Medina.

Doch Kalender sind nicht nur Objekte der Religionen, sondern bilden auch ganz irdische und astronomische Dinge ab – so die Drehung der Erdkugel um die Sonne und die Rotation um ihre eigene Achse. Nämliches gilt für den Mond, der sich um die Erde wälzt, ständig zu- und dann wieder abnehmend im Wechsel. Diese periodischen Bewegungsabfolgen liefern ein Maß für das, was wir als Jahr und Tag und Monat bezeichnen. Das haben auch die frühen Kulturen der Menschheit schon bemerkt und regen Gebrauch davon gemacht.

Selbst Höhlenmalereien der Steinzeit zeigen Punkt- und Strichmuster, von der Wissenschaft als Sternbilder und Zeitmaß gedeutet. Hatte solches seinen Ursprung wirklich nur im Bemühen, den richtigen Zeitpunkt für die Jagd auf gewisses Wild zu bestimmen? Nicht recht einleuchtend. Denn so unterschiedliche Zivilisationen das Treiben am Himmel verfolgten, so verschieden deuteten sie es – und alle gleich mythologisch. Was die praktische Verwendbarkeit nicht im geringsten störte, sondern im Gegenteil religiös überhöht sogar legitimierte. Unabhängig voneinander entwickelten derart die Menschen in China und Indien, Babylon und Ägypten frühe Kalender.

Im Zweistromland an Euphrat und Tigris begannen babylonische Astronomen im 3. Jahrtausend vor Christus, den Himmel sehr genau zu beobachten. Zwar lag ihnen zunächst die Astrologie am Herzen. Doch dabei verschafften sie sich präzise Kenntnisse der himmlischen Bewegungen. Zudem entwickelten sie Rechenmethoden und Zahlenwerke, um künftige Konstellationen am nächtlichen Firmament zu kalkulieren. Und sie schlugen sich tapfer mit jenem Problem, das alle Kalender betrifft: Die Zyklen von Sonne, Mond und Erde laufen leider nicht synchron. Der Mondmonat zählt nämlich etwas mehr als 29,53 Tage, das Sonnenjahr etwas weniger als 365,25 Tage. Was zu lästigen Verschiebungen der Jahresanfänge führt oder zu Resten beim Aufsummieren von Tagen zu Monaten und Jahren. Um den Unterschied auszugleichen, erfanden die Babylonier Schaltmonate, mit denen sie von Zeit zu Zeit das Jahr (das bei ihnen 354 Tage lang war) auf 13 Monate aufstockten.

Dieses Synchronisationsproblem hatte mehr als 2000 Jahre später auch Julius Cäsar, der 46 vor Christus den römischen Kalender völlig ummodelte: Bekannt als Julianischer Kalender, diente er mehr als fünfzehnhundert Jahre der Christenheit als Basis. Er legte das Jahr auf 365,25 Tage fest und ließ im praktischen Leben auf drei Normaljahre mit 365 Tagen ein Schaltjahr mit 366 folgen. Das funktioniert bis heute ganz gut, sicher ein Grund, weshalb die Zählweise sich weit verbreitete. Wegen des kleinen Unterschieds (das mittlere Julianische Jahr ist rund 11 Minuten länger als das Sonnenjahr) summieren sich aber selbst winzige Reste im Lauf der Jahrhunderte zu Tagen.

15 Oktober 1582

So hatte der Julianische Kalender gegenüber dem tropischen Jahr der Jahreszeiten eine Differenz von zehn Tagen eingefahren, als Papst Gregor XIII. sich im Jahre 1582 an die drängende Reform traute. Gregor regelte für die Zukunft: Abweichend von der Julianischen Regel sind Jahrhundertjahre (1600, 1700, 1800 etc.) nur dann Schaltjahre, wenn sie sich durch 400 teilen lassen. Das Durchschnittsjahr des Gregorianischen Kalenders war damit um eben die 11 Minuten kürzer, die das Julianische Jahr zu lang war.

Gregors Kalenderreform beseitigte zugleich ein weiteres Problem, das der christlichen Kirche auf der Seele gelegen hatte: das zu stark vagabundierende Datum des Osterfestes. Ostern sollte mit Rücksicht auf das jüdische Pessach-Fest stets am Sonntag nach dem ersten Frühlingsvollmond gefeiert werden – so vermutlich auf dem Konzil von Nicäa im Jahre 325 festgelegt. Die kirchlichen Rechenregeln sahen überdies ein Weiteres vor: Der früheste Ostertermin sollte der 22. März, der späteste Termin der 25. April sein. Mit dem Julianischen Kalender wäre Ostern irgendwann aus diesem Rahmen herausgefallen. So lag in Gregors Reformjahr der Frühlingspunkt bereits auf dem 11. März, und dieser Punkt – und mit ihm dann auch das Osterfest – würde im Laufe der Jahre immer weiter „nach vorne“ rücken. Um dies zu verhindern, folgte der Papst den Vorschlägen seiner Berater und verkürzte nicht nur das Durchschnittsjahr, sondern schnitt gar aus dem Jahr 1582 ganze zehn Tage heraus: Er gönnte diesem Jahr nur 355 Tage, indem er den Kalender direkt vom 4. auf den 15. Oktober 1582 springen ließ. Mit der Folge, dass im kommenden Jahr der Frühlingspunkt wieder dort ankommen würde, wo er zur Zeit des Konzils bereits gelegen hatte: am 21. März.

Völlig exakt für alle Zukunft ist damit allerdings auch dieser Gregorianische Kalender noch nicht. Das gregorianische Kalenderjahr ist um etwa 26 Sekunden länger als das tatsächliche astronomische Jahr. Ohne sonstige Korrektur summiert sich daher der verbleibende winzige Fehler in einigen Jahrtausenden auf einen Tag. Das war es aber nicht, was die protestantischen Länder teils bis ins 18. und die orthodoxen gar bis ins 20. Jahrhundert zögern ließ, den gregorianischen Kalender anzunehmen. Johannes Kepler sah die protestantische Haltung in der Kalenderfrage so: „Die Protestanten wollen lieber mit der Sonne uneins als mit dem Papst eins sein.“

Bernd Eusemann

Wie lang ist das Jetzt?

Wie lange dauert die Gegenwart? Wie weit ist es vom Ende der Vergangenheit bis zum Anfang der Zukunft? Und kann man das messen? – Stationen einer Suche.

„Gegenwart, das ist jetzt. In diesem Augenblick“, sagen die Kinder. „Der Moment ist zu Ende, wenn man das Wort ‚Augenblick‘ gesagt hat.“ Alex meint: „Der Augenblick dauert eine Sekunde und bei Mama manchmal viel länger.“ Und Bini definitiv: „Die Gegenwart ist vorbei, wenn es zu lange gedauert hat.“

Warum ich das von ihnen wissen will? Vor einigen Tagen hat sich das Thema „Gegenwart“ in mein Hirn geschlichen und festgesetzt. Jetzt schiebt sie sich von Zeit zu Zeit wieder in die Erinnerung, im Moment immer häufiger. „Moment“ im Sinne von „dieser Tage“. Doch streng genommen ist der Moment, sagt mir der Brockhaus, der „Augenblick, Zeitpunkt, eine sehr kurze Zeitspanne“.

Punkt oder Spanne? Nimmt man als „Augenblick“ den Wimpernschlag, dann wäre er messbar – doch ist er bei allen gleich lang? Das Thema hat es in sich, und keiner kann so recht erklären, was Zeit eigentlich ist. Also Experten befragen, die sich mit Zeit und Zeitgefühl auskennen. Aber wen? Historiker? Philosophen? Physiker? Oder Hirnforscher?

Fotos (12): www.okerland-archiv.de

Physikalische Gegenwart

Für Physiker ist die Sache klar: Zeit kann man zwar nicht erklären, aber man kann sie beschreiben, in Stücke teilen und messen. Die Zeit fließt unbeeinflusst vor sich hin. Zeit ist einfach da, genauso wie der Raum, sagt der Physiker – mit dem Unterschied, dass man in der Zeit nur eine Richtung nehmen kann. Die Gegenwart ist, physikalisch betrachtet, ein einzelner Punkt, durch Uhrzeit und Datum exakt zu beschreiben.

Uhrzeit und Datum hingegen sind vom Menschen definiert, der für die Zeitmessung irgendwelche regelmäßig wiederkehrenden Vorgänge nutzt – etwa die Rotation der Erde oder das Schwingen eines Pendels. Mittlerweile haben sich die Physiker die Quantensprünge von Cäsiumatomen untertan gemacht. Wenn ich also „jetzt“ auf eine der Braunschweiger Atomuhren schaue, kann ich den Moment auf die billiardstel Sekunde genau nennen – nur ist er schon vorbei, bevor ich ans Nennen auch nur denken kann.

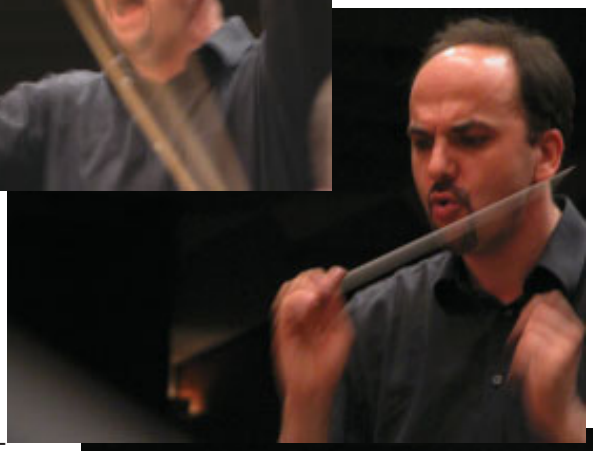
Subjektive Gegenwart

Doch mein persönliches „Jetzt“ ist ja noch da, wenn ich davon rede, ist erst demnächst Vergangenheit. In diesem Moment, genau jetzt, bin ich mir bewusst, dass ich mich in der Gegenwart befinde, zwischen Vergangenheit und Zukunft. Und im nächsten Moment schon wieder. Als wäre der Moment eine Blase, die mich umgibt und die anderen beiden Zustände auf sichere Entfernung hält. Aber die Gegenwart kann doch nicht ein Leben lang dauern?

Um Dinge überhaupt in einer Abfolge wahrzunehmen, brauchen wir eine innere Uhr. Das sagen Hirnforscher. Ein innerer Taktgeber gibt uns das zeitliche Gerüst vor, in dem sich Wahrnehmungen geordnet ablegen lassen. Hirnverletzungen zeigen, dass es ohne Taktgeber nicht geht. Doch wo sitzt er, wie funktioniert er, wie lang ist der Takt?

Da sind zunächst mal die biochemischen und biophysikalischen Abläufe im Hirn. Der Biochemiker Francis Crick, der einst die DNA-Struktur entschlüsseln half, sagt schlicht: „Die geistigen Aktivitäten des Menschen beruhen komplett auf dem Verhalten von Nervenzellen, Gliazellen und den Atomen, Ionen und Molekülen, aus denen sie bestehen.“

Weitere Hinweise auf den Taktgeber geben psychophysische Experimente. Sie sollen klären, was „gleichzeitig“ und was „nacheinander“ bedeutet: Versuchspersonen bekommen zwei Sinnesreize dicht nacheinander vorgespielt oder gezeigt. Um sie als getrennte Ereignisse zu erkennen, braucht das bei Tönen einen Mindestabstand von zwei bis drei Millisekunden, sonst verschmelzen sie im Hirn zu einem einzigen Ton. Beim Tastsinn sind rund 10 Millisekunden Abstand nötig und bei Bildern sogar 20 bis 30 Millisekunden.



30-Millisekunden-Gegenwart

Wenn die Versuchsperson jetzt aber bewusst nennen soll, welcher Reiz zuerst und welcher danach kam, scheint ein gemeinsamer Mechanismus zu arbeiten. Alle drei Sinne benötigen in etwa dieselbe Zeit: rund 30 Millisekunden. Und diese Zeitspanne findet sich immer wieder. Ob die Augen mit dieser Verzögerung einer Bewegung folgen, ob einzelne Nervenzellen sich nach einem Reiz in Schwingungen entladen, ob beim Lernen ganz weit voneinander entfernte Neuronen im Gleichtakt oszillieren oder ob das Kurzzeitgedächtnis nach Detailinformationen durchsucht wird – immer vergehen rund 30 bis 40 Millisekunden, bevor etwas Neues beginnen kann.

Offenbar ist diese Periode der grundlegende Taktgeber im Hirn. Nur mit ihr im Hintergrund kann ich den Schritt beschleunigen, beim Musizieren Takt halten oder auf meine „innere Uhr“ hören. Was ich also um mich herum wahrnehme, scheint nur, als würde es fließend ablaufen. In Wirklichkeit sind es ultrakurze Momentaufnahmen, stroboskopartige Eindrücke auf allen Sinneskanälen, die in Portionen verarbeitet werden.

3-Sekunden-Gegenwart

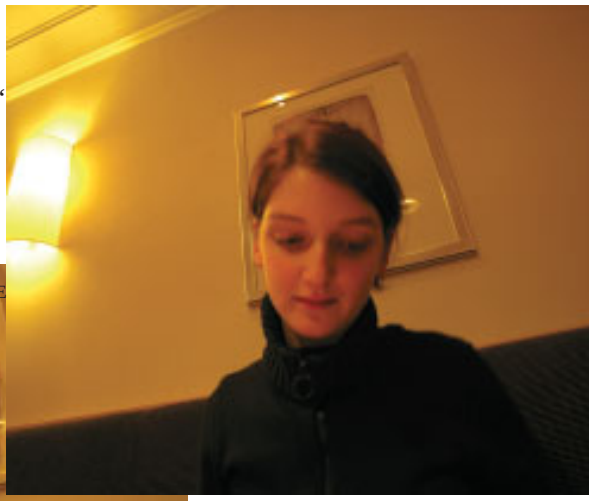
Doch im Hirn scheint es noch einen zweiten Takt zu geben, die „Inseln der Gegenwart“ oder „3-Sekunden-Fenster“. Benannt hat sie erstmals der deutsche Neurologe Ernst Pöppel, um unterschiedlichste Versuchsergebnisse vieler Jahrzehnte zusammenzufassen: „In vielen verschiedenen Bereichen unseres Erlebens lässt sich immer wieder ein Zeitintervall von etwa drei Sekunden aufspüren.“

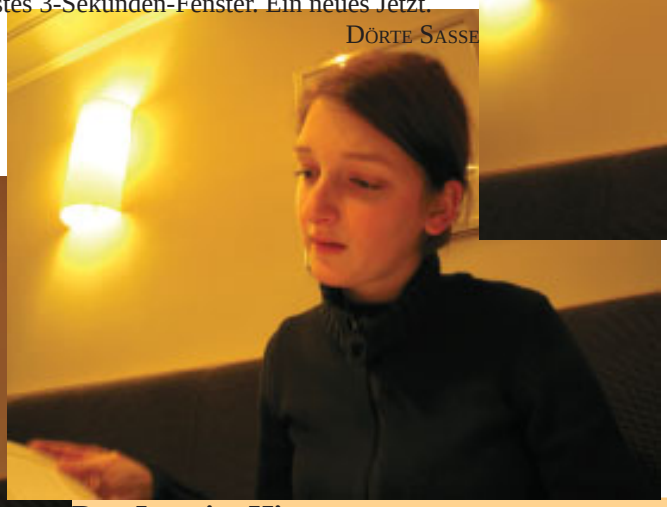
Was ist der Unterschied zu dem anderen grundlegenden Takt? Der 30-Millisekunden-Rhythmus lässt sich nur mit Hilfe von Elektroden am Kopf (also per EEG) messen und ist offenbar für die unbewusste Zeitgliederung zuständig. Dagegen bestimmt der 3-Sekunden-Rhythmus unser Bewusstsein. Er wird im Alltag sichtbar: Musikalische Motive dauern selten länger als drei Sekunden, ebenso gedichtete Verse. Kulturforscher stellten erstaunt fest, dass kurze Bewegungen wie Händeschütteln oder wütendes Stampfen weltweit und kultur-unabhängig immer rund drei Sekunden dauern.

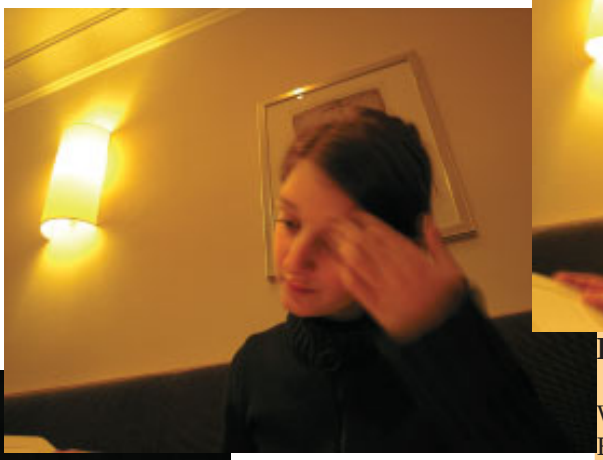
Auch die Aufmerksamkeit richtet sich nach diesem Rhythmus. Wie viele Einzelinformationen, wie viele Taktschläge kann ich zu einem Gesamteindruck zusammenfassen, zu einer so genannten Wahrnehmungsgestalt? Nun, wieviel auch immer auf mich einströmt, nach rund drei Sekunden ist Schluss; danach beginnt der nächste Wahrnehmungs-Block.

Selbst das Kurzzeitgedächtnis, das darauf beruht, dass „synchron feuernde Neuronen für einige Zeit biochemische und elektrische Spuren hinterlassen“ (so der kalifornische Neurobiologe Christof Koch), benutzt die „3-Sekunden-Fenster“. Verbietet man jemandem, eine neue Information nach drei Sekunden zu wiederholen, so verschwindet sie aus seinem Gedächtnis. Die Spuren auf den Nervenzellen verlieren sich; die Tafel ist gewischt und erwartet neue Inhalte: ein nächstes 3-Sekunden-Fenster. Ein neues Jetzt.

Dörte Sasse







Das Jetzt im Hirn messen

Wie funktionieren die Zeitfenster? Das wüssten die Neurologen auch gerne. Bislang fehlt ihnen die perfekte Technik. Aber Stück für Stück tasten sie sich näher an die Sache heran: Mit Verhaltenstests ermitteln sie Reaktionen. Mit dem EEG messen sie elektrische Potenziale von Nervenzellen. Und mit der funktionellen Magnetresonanztomografie (fMRT) erfahren sie, welche Hirnregionen erhöhten Energiebedarf haben, also aktiv sind – nur leider nicht in Echtzeit; die Messung hinkt immer ein paar Sekunden hinterher. Vielleicht werden die ganz neuen technischen Verfahren helfen: etwa die Magnetenzephalographie (MEG), die millisekundengenau sichtbar macht, wie sich Magnetfelder um elektrisch aktive Neuronengruppen herum ändern, die Multiple-Photonen-Mikroskopie, funktionelle Farbstoffe oder molekulargenetische Methoden. Im Laufe der kommenden zehn Jahre erwarten die Forscher wesentlich bessere Einblicke in die Natur des 3-Sekunden-Taktes. ds

Pfiiiiiiiiiiiiiifff
Die Uhr steht.
Noch 1:13 im 2. Viertel.

Auszeit

Kommt Leser, setzt euch auf die Bank. Auszeit! Und tief durchatmen. Nun: Das war ja schon ganz gut, wie ihr den Tillemans stehengelassen habt. Einfach dran vorbeigezogen. Der konnte ja gar nicht so schnell hinterhergucken. Aber von dem Simon habt ihr euch reinlegen lassen. Der hat euch mit Sonnenliege und Apfelbaum in Sicherheit gewiegt – ihr habt prompt eure Defense vernachlässigt – und schon war's passiert. Nach dem Dunking haben sie Auftrieb bekommen und mit der Ehlbeckschen Eule gleich noch einen nachgelegt. So einfach dürft ihr euch nicht ausspielen lassen. Bei dem Eusemann und der Saße wart ihr da zwar schon mehr auf Zack. Aber optimal war es nicht. Ihr könnt das noch besser. Lasst euch nicht die Taktik des Gegners aufzwingen. Bestimmt wechseln die jetzt komplett aus. Können die sich auch leisten bei ihrer tief besetzten Bank. Ihr beiden – ja ihr – passt bloß auf, wenn gleich die Schow und die Röthlein auflaufen, die haben ein heißes Händchen an der Dreipunktelinie. Und auf keinen Fall die Förster foulen. Sonst können wir ihr gleich die Punkte schenken – bei ihrer 100-%-Freiwurfquote. Darum: Wir stellen jetzt um auf Zonenverteidigung. Das wird auch wichtig, falls die ihre Joker aufs Feld schicken: den Buchholz und den Frick mit ihrem starken Zug zum Korb. Also: Geht raus aufs Parkett und gebt euer Bestes. Macht euer eigenes Spiel!

Pfiiiiiiiiiiiiiifff
Die Uhr läuft wieder.
Noch 1:13 im 2. Viertel.

Foto: Susanne Hübner

Glossar

Auszeit: Kurze Spielunterbrechung, während der die Spieluhr steht. Jede Mannschaft darf pro Halbzeit zwei Auszeiten nehmen. Vgl. außerhalb des Sports: Sabbatjahr (Sabbatical), Sonntag, Brachejahr, ...

Bank: Auf der Bank am Spielfeldrand sitzen Trainer und Auswechselspieler. „Tief besetzt" heißt eine Bank, wenn die Auswechselspieler die Spieler auf dem Feld ohne Qualitätsverlust ersetzen können.

Defense: Oberbegriff für verschiedene Verteidigungsvarianten. Vgl. Zonenverteidigung.

Dreipunktelinie: Jeder Korberfolg bei einem Wurf von jenseits dieser Linie (6,25 m vom Korb entfernt), wird mit drei Punkten gewertet.

Kurze Einschwörung – gleich geht's weiter. Auszeit bei einem internationalen Basketballspiel der Braunschweiger Mannschaft BS Energy in der Saison 2004/2005.

Dunking: Korberfolg, bei dem der Spieler den Ball mit seinen Händen von oben durch den Ring drückt.

Freiwurf: Bei einem Freiwurf erhält ein gefoulter Spieler die Chance auf einen oder mehrere ungehinderte Würfe auf den Korb.

Händchen, heißes: Basketballer-Slang. Bezeichnet ein erstaunliches Wurfglück bei einem Spieler.

Zone: Genau abgegrenzter Bereich unter dem Korb. Würfe und Fouls werden unterschiedlich gezählt bzw. geahndet, je nachdem ob sie inner- oder außerhalb der Zone stattfinden.

Zonenverteidigung: Bei dieser Art der Defense (s. o.) sind den Spielern keine festen Gegenspieler zugeordnet. Die verteidigende Mannschaft verteilt sich vielmehr um die Zone herum.

JENS SIMON

Eine Sekunde, Herr Newton

Ein Theaterstück

Personen:
Isaac Newton
Joseph Weizenbaum
Franco von Köln

1. Akt:

Newtons Studierzimmer: Schreibpult, Spiegel, Wanduhr, daneben ein golden gerahmter Spruch: „Die absolute, wahre und mathematische Zeit verfließt an sich und vermöge ihrer Natur gleichförmig und ohne Beziehung auf irgendeinen äußeren Gegenstand.“ (Sir Isaac Newton)

Newton (in eine Robe des 17. Jahrhunderts gekleidet) steht vor dem Spiegel, pudert sich die Perücke und übt eine Rede:
Liebe Kollegen, liebe Freunde. Dass ich hier als Präsident der ehrwürdigen Royal Society vor Ihnen stehe, erfüllt mich mit großem Stolz. Es ist dies eine wirkliche Zeitenwende: Zu Recht hat mein fundamentales Werk mir nicht nur Ruhm und Ehre, sondern auch diesen Posten verschafft: Die „Philosophiae naturalis principia mathematica“ sind nichts weniger als der Beginn einer neuen Epoche. Mit dem Jahr ihres Erscheinens, 1687, ist die Welt berechenbar geworden. Seitdem lassen sich all die großen Phänomene unserer Welt ewiggültigen mathematischen Prinzipien unterwerfen. Das Subjektive hat seine Dominanz verloren. Wichtig ist das Objektive, das Ewiggültige, das Messbare. Ja, selbst die Zeit ... *(Er wirft einen Blick auf den Spruch an der Wand)* ... habe ich entsubjektiviert.

Weizenbaum (in Jeans, in das ein Flanellhemd etwas unordentlich hineingestopft ist) steht hinter ihm; es ist nicht ganz klar, wie er hereingekommen ist:
Moment, Herr Newton, jetzt gehen Sie einen Schritt zu weit!

Newton, erschreckt: Wer sind Sie?

Weizenbaum: Mein Name ist Joseph Weizenbaum. Ich komme aus einer späteren Zeit zu Ihnen. Dass Zeitreisen theoretisch möglich sind, hat einer Ihrer Nachfolger, ein gewisser Albert Einstein, schon gesagt. Seit Einstein wissen wir auch, dass Sie leider ein bisschen danebenlagen, was die Zeit selbst angeht. *(Er wirft auch eine Blick auf den Spruch an der Wand.)* Es gibt keine absolute Zeit, die überall gleich ist.

Newton, beleidigt: Ich weiß, guter Mann. Es gibt eine relative Zeit, die unmittelbar sinnlich wahrnehmbar ist. Aber das ändert nichts an der Tatsache, dass man das Zeitintervall zwischen zwei Ereignissen eindeutig bestimmen kann und dass diese Zeit stets die gleiche bleibt, wer auch immer sie misst.

Weizenbaum: Das stimmt nur bei Dingen, die sich langsam bewegen, sagen wir bei Äpfeln – Sie haben ja eine Beziehung zu Äpfeln, seit Sie vom fallenden Apfel zu Ihrem Gravitationsgesetz inspiriert wurden. Aber für ein Objekt, das sich sehr viel schneller bewegt, oder für Beobachter, die sich selber unterschiedlich schnell bewegen und dasselbe Objekt betrachten, ist Zeit relativ.

Newton: Und woher nehmen Sie, bitte schön, das Recht, hier einzudringen und mir solchen Unsinn zu erzählen? Wer sind Sie überhaupt?

Weizenbaum: Ich habe, wie Sie, Mathematik studiert und mich dann auch mit einer Anwendung dieser Wissenschaft beschäftigt; allerdings nicht mit Physik. Mein Metier ist die Computerwissenschaft. Ich weiß, das sagt Ihnen nichts. Computer sind die Automaten meiner Zeit. Sie haben uns völlig im Griff; nichts ginge mehr ohne sie. Und sie sind für mich das Sinnbild unserer Epoche, die ich die mechanistische nenne. Daran sind Sie, ehrwürdiger Newton, nicht ganz unschuldig.

Newton, zufrieden: Nun, das sagte ich eben schon.

Weizenbaum: Darauf können Sie auch stolz sein. Dennoch ist es problematisch, dass meine Zeitgenossen nur noch an das Messbare, Berechenbare glauben. Aber bevor Sie sich jetzt Sorgen machen: Das mit dem objektiven Messen war ohnehin nicht Ihre Idee. Deswegen bin ich aufgetaucht. Ich möchte Ihnen etwas zeigen. Haben Sie eine Sekunde Zeit?

Er dreht sich um und hantiert mit etwas, was man nicht sieht. Explosion, viel Rauch. Die Bühne dreht sich.

2. Akt

Der Rauch verzieht sich. Newton und Weizenbaum stehen in einem deutlich kargeren Studierzimmer: weiße Wände, ein Stuhl, ein Tisch. An der Wand ein anderer Spruch: „Was also ist die Zeit? Wenn mich niemand danach fragt, weiß ich es. Wenn ich es aber einem, der mich fragt, erklären will, weiß ich es nicht.“ (Augustinus, Confessiones, XI 14). Die beiden lesen gerade das Zitat, als die Tür aufgerissen wird und Franco (gekleidet wie ein mittelalterlicher Mönch) hereinstürmt.

Franco, atemlos: Bin ich zu spät?

Weizenbaum: Keineswegs. Wir sind eben eingetroffen. Darf ich vorstellen: Isaac Newton, Franco von Köln. *(Zu Newton)* Franco war im 13. Jahrhundert ein hochangesehener Gelehrter. *(Zu Franco)* Ihnen habe ich ja schon von Herrn Newton erzählt.

Franco und Newton schütteln sich die Hände.

Franco, zu Newton: Freut mich, Sie kennenzulernen. Ist es richtig, dass Sie sich als Künstler in der Deutung der Naturphänomene, einschließlich der Zeit, sehen? Die Zeitkunst, sprich die Musik sowie ihre Theorie, das ist mein Thema.

Newton, blickt zu Weizenbaum: Meine Güte, und dafür schleppen Sie mich hierher? Was habe ich mit Musik zu tun?

Franco: Warten Sie. Mein Freund hier *(weist auf Weizenbaum)* hat mir beim letzen Besuch erzählt, Sie behaupten, das objektiv Messbare in die Welt gebracht zu haben. Da muss ich scharf protestieren. Die Idee ist nun wirklich schon älter. Ich muss doch sehr darum bitten, dass Sie uns Menschen des Spätmittelalters nicht immer vergessen.

Weizenbaum: Übrigens, lieber Franco, haben Sie den Kollegen von der Uhrmacherzunft gefunden?

Franco: Nein, meine Freunde suchen noch. Es ist sehr schwierig. Alle haben von der großartigen Erfindung der mechanischen Uhr gehört, einige haben schon eine gesehen, aber niemand weiß, wer der geheimnisvolle Entwickler war. Und dabei redet alle Welt darüber, dass die Zeit messbar ist und dass sie mit dieser Maschine in kleine Stücke zerhackt werden kann, die stets dieselbe Länge haben.

Newton, verächtlich: So, und das nennen Sie eine Erkenntnis Ihrer Zeit? Das hat schon Aristoteles gesagt: die Zeit sei eine Messzahl hinsichtlich des Davor und des Danach.

Franco: Dann wissen Sie ja, dass Aristoteles der erste objektiv Zeit-Messende war. Allerdings nur als Theoretiker. Danach kam Augustinus. Seine Meinung zur Zeit *(er weist auf den Spruch an der Wand)* kennt ja alle Welt. Aber wussten Sie auch, dass Augustinus sich schon im Jahr 388 n. Chr. damit beschäftigt hat, wie man die Musik metrisch unterteilt? Das ist für mich, der die Musik, diese Kunst in der Zeit, untersucht, natürlich sehr interessant. Augustinus hat ein enzyklopädisches Werk über Musiktheorie begonnen, darin allein sechs Bücher über die Metrik. Absolut innovativ.

Newton hebt eine Augenbraue: So? Ich frage Sie nochmal: Was interessiert das einen Naturwissenschaftler?

Franco: Das werden Sie gleich sehen. Augustinus konnte rein gar nichts verändern; die Zeit war noch nicht reif dafür. Da musste erst die mechanische Uhr kommen und die Zeit in gleiche Teile zerhacken. Diese Erfindung hat unser gesamtes Weltbild verändert. Und ich hatte das Glück, in diese Periode hineingeboren worden zu sein. Unglaublich spannend, sage ich Ihnen, bei uns herrschte echte Aufbruchsstimmung. Ich kann wirklich nicht verstehen, dass unsere Epoche bei Ihnen noch als dunkles Mittelalter gilt. Schuld daran hat sicher auch der geheimnisvolle Erbauer der ersten Uhr. Hätte er es verstanden, sich so in Pose zu setzen wie Sie, Herr Newton ...

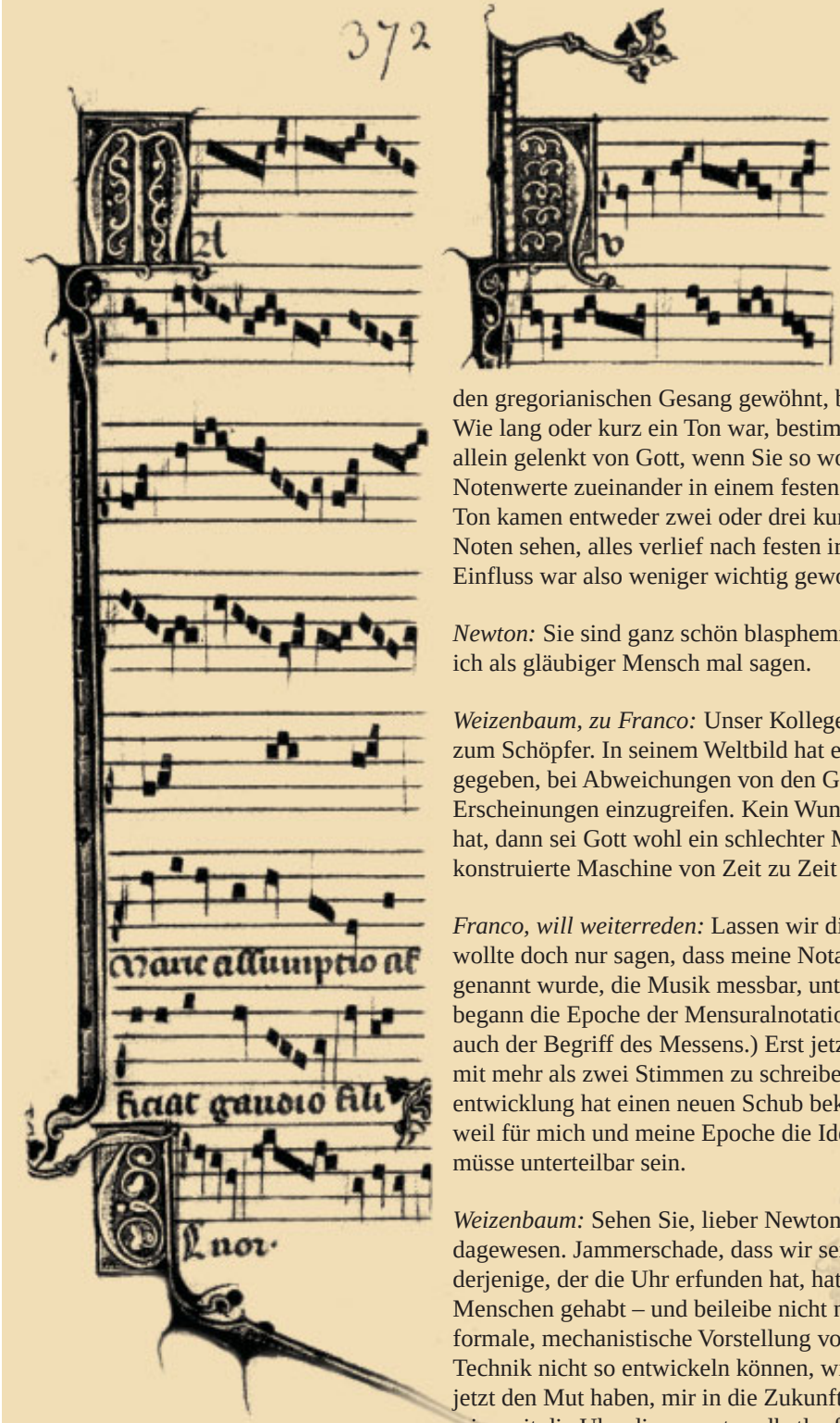
Newton: Aber dazu habe ich auch alles Recht, ich bitte Sie.

Franco: ... dann wäre die Wissenschaftsgeschichte anders geschrieben worden. Übrigens, meine Herren, bei der Suche nach dem Erfinder habe ich jetzt erfahren, dass die erste Uhr durchaus schon um 1270 gebaut worden sein kann. Interessant, was?

Newton: Ich verstehe nicht ...

Franco: Nun, das wusste ich doch nicht, als ich zur selben Zeit begann, an meinem Hauptwerk zu arbeiten. Immerhin, alle munkelten, nun ticke unser Leben anders, und das hat mich natürlich beeinflusst. Mein Buch erschien dann 1280: „Ars cantus mensurabilis“ – nie davon gehört? Ich sage nur, die Diskriminierung des Mittelalters ... Ich habe den Gedanken der Messbarkeit in die Musik gebracht. Um ehrlich zu sein, ich habe nur die hier und da vorhandenen Notationsformen zusammengefasst und in ein überschaubares System gebracht. Aber es gab einen Aufschrei in der Kirche, sage ich Ihnen. Bedenken Sie: Alle, die mit Kirchenmusik zu tun hatten, waren doch

Foto: Photoactive



Frankonische Notation

den gregorianischen Gesang gewöhnt, bei dem nichts festgelegt war. Wie lang oder kurz ein Ton war, bestimmte der Geistliche selbst – allein gelenkt von Gott, wenn Sie so wollen. Nun aber standen die Notenwerte zueinander in einem festen Verhältnis. Auf einen langen Ton kamen entweder zwei oder drei kurze. Das konnte man in den Noten sehen, alles verlief nach festen irdischen Regeln. Gottes Einfluss war also weniger wichtig geworden.

Newton: Sie sind ganz schön blasphemisch, mein Freund. Das muss ich als gläubiger Mensch mal sagen.

Weizenbaum, zu Franco: Unser Kollege Newton hat gute Beziehungen zum Schöpfer. In seinem Weltbild hat er Gott die wichtige Aufgabe gegeben, bei Abweichungen von den Gesetzen in den Ablauf der Erscheinungen einzugreifen. Kein Wunder, dass Leibniz dazu bemerkt hat, dann sei Gott wohl ein schlechter Mechaniker, der seine fehlerhaft konstruierte Maschine von Zeit zu Zeit reparieren müsse.

Franco, will weiterreden: Lassen wir die Theologie aus dem Spiel. Ich wollte doch nur sagen, dass meine Notation, die bald die frankonische genannt wurde, die Musik messbar, unterteilbar gemacht hat. Damit begann die Epoche der Mensuralnotation (in dem Namen steckt ja auch der Begriff des Messens.) Erst jetzt war es möglich, Musikstücke mit mehr als zwei Stimmen zu schreiben. Die gesamte Musikentwicklung hat einen neuen Schub bekommen. Und dies alles nur, weil für mich und meine Epoche die Idee einfach in der Luft lag, Zeit müsse unterteilbar sein.

Weizenbaum: Sehen Sie, lieber Newton, da ist schon jemand vor Ihnen dagewesen. Jammerschade, dass wir seinen Namen nicht kennen. Aber derjenige, der die Uhr erfunden hat, hat ungeheuren Einfluss auf die Menschen gehabt – und beileibe nicht nur in der Musik. Ohne die formale, mechanistische Vorstellung von Zeit hätten sich Physik und Technik nicht so entwickeln können, wie sie es getan haben. Wenn Sie jetzt den Mut haben, mir in die Zukunft zu folgen, können Sie erleben, wie weit die Uhr, dieser erste selbstlaufende Automat, die Menschheitsgeschichte geprägt hat. Ich sage sogar: Der Zeitpunkt der Uhr-Erschaffung war der Beginn der Unterordnung unter den Automaten. Und der Computer ist nur eine Konsequenz davon. Wollen Sie wissen, was ein Computer ist? Kommen Sie, wir gehen.

Wieder dreht er sich um, hantiert mit irgend etwas Verborgenem, wieder gibt es eine Explosion. Rauch steigt auf, in dem die drei verschwinden.

(Ende des zweiten Aktes)

Erika Schow

Wie Stunde, Minute und Sekunde in unseren Alltag kamen

Die Geburt

Seit eh und je liefert die Erde den Menschen ihren Rhythmus: Die Zeitspanne, die sie braucht, um sich einmal um sich selbst zu drehen, nennen wir Tag. Für kleinere Zeitintervalle liefert uns die Erde jedoch keine Hinweise. Die Menschen mussten eine willkürliche, aber möglichst praktische Unterteilung finden. Unser heutiges System geht vermutlich zurück auf das Sexagesimalsystem der Sumerer (ca. 3000 v. Chr.) mit der Zahl 60 als Basis:
1 Tag = 24 Stunden (2 · 12)
= 1440 Minuten (2 · 12 · 60)
= 86 400 Sekunden (2 · 12 · 60 · 60).
Das Zwölfersystem (auch 60 sind ja fünfmal zwölf) hat sich auch deswegen neben dem sonst üblichen Zehnersystem bei anderen Einheiten erhalten, weil die Zwölf sich besser unterteilen lässt.

Der Namenstag

Im Mittelalter grübelten die Menschen erneut darüber nach, wie man den Tag unterteilen kann, und machten diverse fantasievolle Vorschläge dazu. Beispielsweise schlug Beda vor, die Stunde in 4 punctos oder 10 minuta oder 15 partes oder 40 momenta zu unterteilen. Doch schließlich setzte sich die Idee der Sumerer wieder durch. Das System passte am besten zur neu entwickelten mechanischen Uhr. (Die Wissenschaftler wissen nicht exakt, wann sie entstand. Soweit sind sie aber einig: Es war nicht vor 1270 und nicht nach 1320.) Und vermutlich seit dem Jahr 1345 heißt es endgültig (und zwar auch unter diesen Namen): Eine Stunde sind 60 Minuten à 60 Sekunden. Wann genau die Namen entstanden sind, weiß man nicht. Aber man kennt ihre sprachliche Herkunft aus dem Altgermanischen und Mittelhochdeutschen (stunde, stunt: Zeitabschnitt) beziehungsweise aus dem Lateinischen (minutus: sehr klein, secundus: der Reihe nach folgend).

Die Realisierung

Wie macht man Stunden, Minuten und Sekunden? Natürlich mit Hilfsmitteln, denn die Zeit selber lässt sich nicht greifen oder herstellen. Zuerst (etwa ab 3500 v. Chr. im alten Ägypten) bauten die Menschen sich Sonnenuhren, die den Tag in stets 12 Stunden unterteilten. Die Stunden waren also im Sommer länger als im Winter. Gleich lang wurden sie erst mit der Erfindung der Wasseruhr etwa 1500 v. Chr., ebenfalls in Ägypten. Doch den entscheidenden Schritt zu einer gleichmäßigen, relativ störungsunanfälligen Realisierung der Stunde brachte erst die Erfindung der mechanischen Uhr. Im 14. Jahrhundert gab es öffentliche Turmuhren mit einem Stundenzeiger. Minutenzeiger mag es schon 1500 gegeben haben (zumindest existiert eine entsprechende Zeichnung von Leonardo da Vinci), ganz sicher aber seit Mitte des 16. Jahrhunderts. Und der Sekundenzeiger wird 1673 mit einer Konstruktionszeichnung von Christian Huygens geboren, wirklich populär aber erst im 18. Jahrhundert mit der beginnenden Industrialisierung.

Erika Schow

Foto: Melville, dpa

Big Ben mit seiner berühmten Schlagmelodie (tausendfach kopiert bei anderen öffentlichen Uhren, privaten Standuhren oder Weckern) ist geradezu ein Sinnbild für die Allgegenwart der Zeit in unserem Alltag. Weil auch an seinem Ziffernblatt der Zahn der Zeit nagt (oder einfach nur der Londoner Smog Spuren hinterlässt), muss es alle paar Jahre aufwendig gereinigt werden.

Immer genauer

Über mehr als 13 Zehnerpotenzen ist die Genauigkeit von Uhren in rund 1000 Jahren gestiegen. Zuerst tüftelten die Uhrmacher immer bessere mechanische Uhren aus. Dann kamen die Quarzuhren, bei denen auch ein mechanischer Körper schwingt, aber die Schwingungen werden elektrisch angeregt und ausgezählt. Zudem schwingt der Quarz viel schneller als ein Pendel oder eine Unruh. Als die Uhrenbauer die Welt der klassischen Physik verlassen und gewissermaßen in die Quantenwelt eintauchen, indem sie die noch viel schnelleren Vorgänge im Inneren von Atomen nutzen, schnellt die Kurve weiter in die Höhe. Die derzeit besten Atomuhren, die Cäsium-Fontänen, müssten 30 Millionen Jahre laufen, bis sich ein Gangfehler von einer Sekunde eingeschlichen hätte.

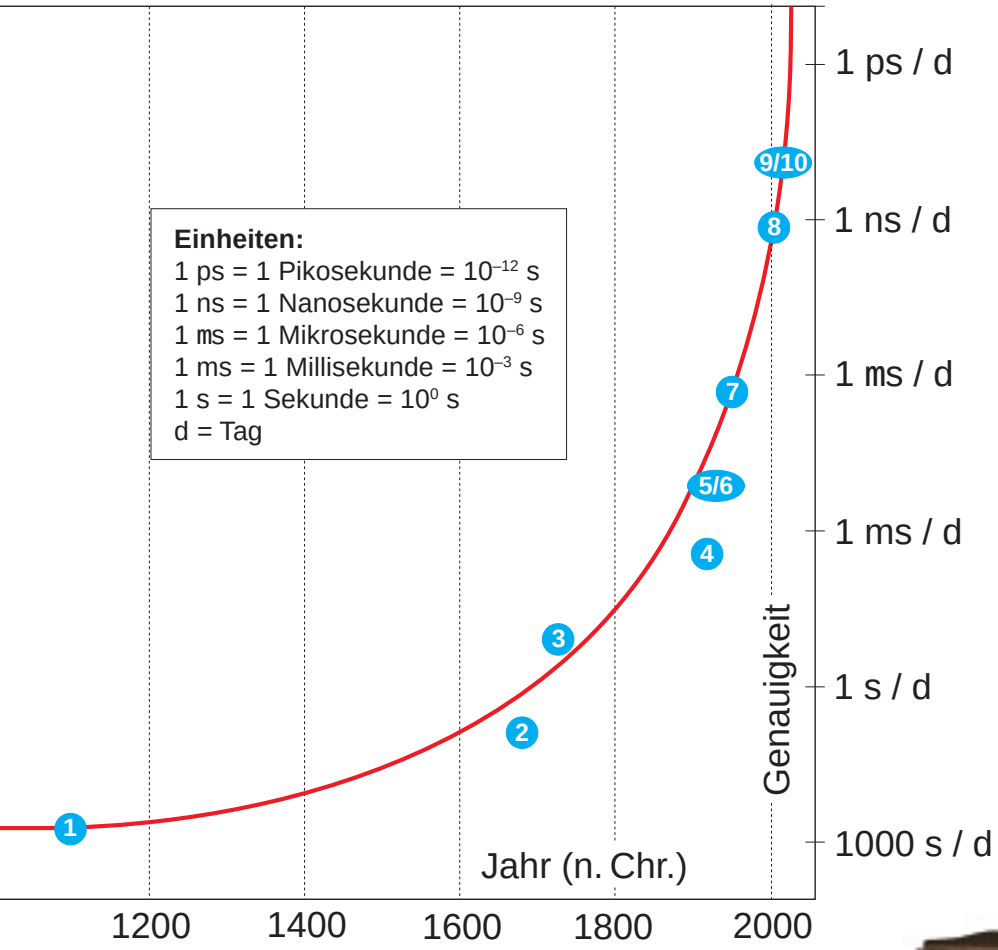


Foto: PTB

Foto: Observatoire de Paris

Foto: PTB

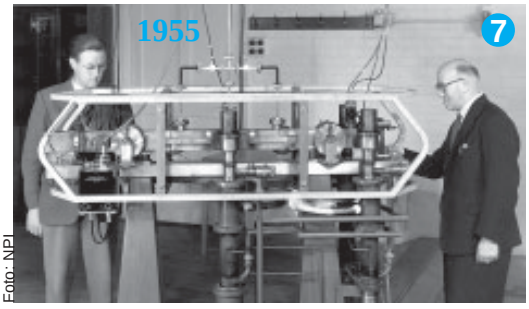
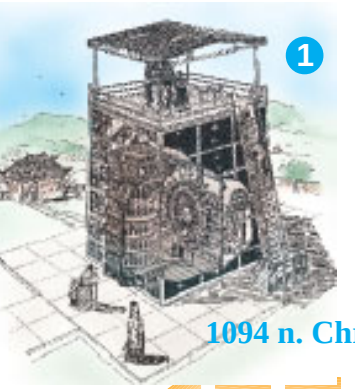


Foto: NPL



Grafik: Alberto Parra del Riego

Foto: Royal Observatory Greenwich

Foto: Uhrenmuseum Furtwangen

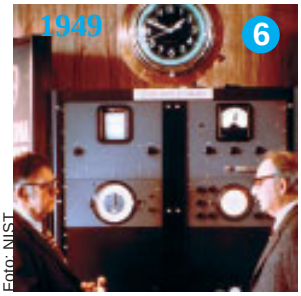


Foto: NIST

Foto: PTB

Was ist eigentlich eine Uhr? Etwas, das einen periodischen Vorgang zählt. Ein solcher periodischer Vorgang ist auch die Drehung der Erde um sich selbst, die, so glaubte man lange, absolut regelmäßig ist. Zwar gibt es außer Sonnenuhren (die eindeutige Nachteile haben, beispielsweise jenen, dass sie bei Wolken und in der Nacht nicht funktionieren) nur wenige einfache technische Hilfsmittel, um die Drehung der Erde direkt zu zählen. Dennoch legte sie die Tageslänge fest, woraus später – als Grundeinheit der Zeit – die Länge der Sekunde abgeleitet wurde: *Eine Sekunde ist (nach kultureller Absprache) der 86 400te Teil des Tages.* Die Entwicklung der Uhren lief gewissermaßen daneben ab: Man versuchte, die „irdische“ Sekundenlänge möglichst gut zu treffen, indem man andere, fassbarere periodische Abläufe zählte, zum Beispiel das Tropfen von Wasser aus einem Gefäß in ein anderes.

1 1094: Ab etwa 1500 v. Chr. gibt es Wasseruhren in den verschiedensten Formen – von ganz schlichten Wassergefäßen bis hin zu der riesigen chinesischen Wasseruhr, die im Jahr 1094 n. Chr. von Su Song gebaut wurde. Doch die Genauigkeit von Wasseruhren ist nicht allzu groß – sie gehen pro Tag etwa eine Viertelstunde falsch.

Dann kommt eine geniale Erfindung in die Welt: die Hemmung; ein trickreicher Mechanismus, um die gleichmäßige Drehung eines Rades, das kontinuierlich angetrieben wird, in regelmäßigen Abständen kurz zu stoppen und diese Perioden zu zählen. Die mechanische Räderuhr ist geboren.

2 1673: Christian Huygens konstruiert eine Pendeluhr auf der Grundlage einer Idee von Galileo Galilei, die er allerdings noch wesentlich verbessert. (Die Grafik basiert auf einer Zeichnung, die Galileos Sohn nach den Angaben seines damals schon blinden Vaters machte.)

Mit jeder neuen Idee eines pfiffigen Uhrmachers steigt die Genauigkeitskurve ein bisschen weiter an.

3 1759: Das Problem der Längengradbestimmung kann, so glauben Newton und andere Wissenschaftler, nur von einem Astronomen gelöst werden, weil Uhren nicht genau genug sind. Dies stimmt nicht, wie ein Tischler, der sich die Uhrmacherkunst selbst beigebracht hat, beweist: John Harrison baut die ersten Uhren, die an Bord eines Schiffes pro Tag um weniger als eine Sekunde falsch gehen. Sein Chronometer No. 4, 1759 gebaut, geht nach einer Jamaika-Reise nur fünf Sekunden falsch. Damit gewinnt Harrison letztlich den Preis der britischen Regierung.

4 1920: Die Präzisionspendeluhr von Clemens Riefler gehört mit einer Abweichung von wenigen tausendstel Sekunden pro Tag zu den besten mechanischen Uhren, die je gebaut wurden.

Nun ist das Prinzip der mechanischen Uhren ausgereizt. Wie auf anderen Gebieten der Technik auch bricht das elektrische Zeitalter an: die Quarzuhr wird geboren. Schwang das Pendel der Riefler-Uhr einmal pro Sekunde, schwingt nun ein Piezo-Kristall rund 33 000-mal pro Sekunde.

5 1932: Adolf Scheibe und Ulrich Adelsberger bauen in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (der Vorgängerin der PTB) Quarzuhren, die pro Tag nur etwa 200 Mikrosekunden falsch gehen. Mit diesen Uhren gelingt es erstmals, die Schwankungen der astronomischen Tageslänge nachzuweisen. Damit steht fest: Die Erdrotation liefert kein genügend festes Zeitmaß. Erste Überlegungen werden angestellt, ob man nicht die Definition der Sekunde verändern sollte.

Währenddessen planen Uhrenbauer ihren nächsten großen Coup: Warum eigentlich nicht noch schnellere periodische Vorgänge nutzen, um die Zeit zu „machen“? Zum Beispiel Vorgänge im Inneren von Molekülen oder Atomen.

6 1949: Harold Lyons am NBS, USA, baut die erste Atomuhr der Welt. Genau genommen ist es aber eine (Ammoniak-)Molekül-Uhr. Sie bringt zudem noch nicht den erhofften Genauigkeits-Gewinn, denn sie ist kaum besser als eine gute Quarzuhr.

7 1955: Louis Essen und John Parry vom englischen National Physical Laboratory (NPL) bauen die weltweit erste funktionierende Cäsium-Atomuhr.

Trotzdem wird die Sekunde paradoxerweise noch einmal nach astronomischen Gegebenheiten definiert (1956: Definition der Ephemeridensekunde als ein bestimmter Teil eines Jahres). 1967 aber passt man die Definition der Basiseinheit Sekunde der technischen Uhren-Entwicklung an: *Die Sekunde ist das 9 192 631 770fache der Periodendauer der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes von Atomen des Nuklids* ^{133}*Cs entsprechenden Strahlung.* (Diese Definition gilt bis heute.)

8 1969, 1986, 1988, 1992: 1969 nimmt die PTB ihre erste selbst entwickelte Atomuhr CS1 in Betrieb. Mit technischen Verfeinerungen ticken in den folgenden Jahren auch CS2 (1986), CS3 und CS4 (1988 bis 1992). Sie bekommen beim Vergleich der weltweit besten Uhren regelmäßig gute Noten und tragen daher entscheidend zur Internationalen Atomzeitskala TAI bei.

9 1994: Im Laboratoire Primaire du Temps et des Fréquences (LPTF) in Paris wird die erste Cäsium-Fontänenuhr der Welt (FO1) in Betrieb genommen.

10 1999: CSF1, die erste Cäsium-Fontänenuhr der PTB, geht in Betrieb. Im Moment (2005) bekommt sie gerade eine „Kollegin“.

Und die optischen Uhren – die Atomuhren der Zukunft – werden noch genauer werden.

Erika Schow

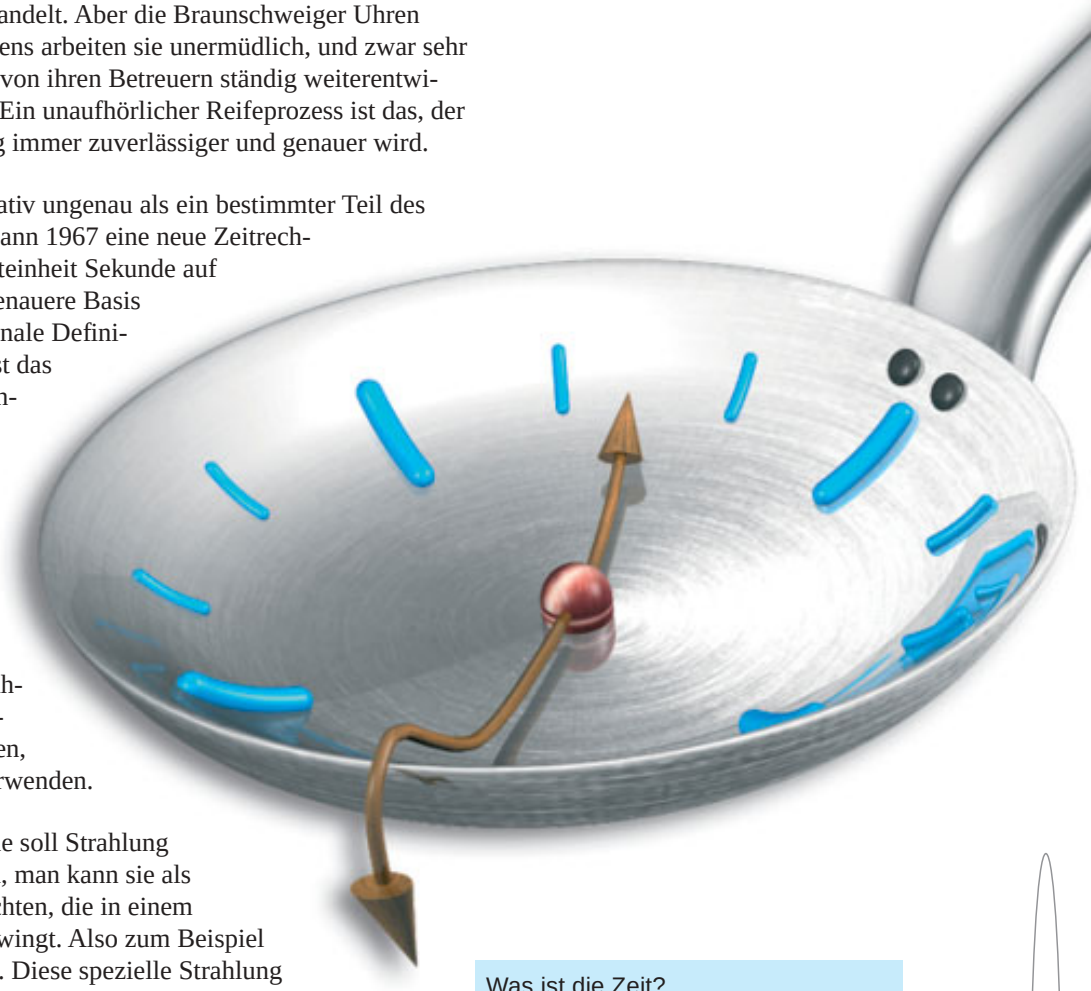
Die Sekunde ist die Maßeinheit, die heutzutage am genauesten realisiert wird. Trotzdem erforschen Physiker, wie man das noch exakter tun kann, beispielsweise mit Hilfe eines eingesperrten Ions.

Energieniveaus, Fontänen und Atomfallen

Uhren sind Statussymbole. Früher galt der Mann von Welt als wohlhabend, wenn er eine dicke französische Taschenuhr, eine Zwiebel, aus der Westentasche hervorzog, heute zeigt die edle Armbanduhr am Handgelenk, dass man zu denen gehört, die sich etwas leisten können. Und beispielsweise die Zytglogge am Berner Stadttor oder der Londoner Big Ben sind Touristenattraktionen und berühmte Zeitgeber für ihre Stadt.

Auch die Nationen haben ihre Vorzeige-Uhren. Sie sind ausschlaggebend dafür, welche Position das Land in der wissenschaftlichen Gemeinschaft der Metrologen einnimmt und welche Rolle es spielt bei der internationalen Festsetzung und Kontrolle der Zeit. Die deutschen Spitzenuhren findet man in Braunschweig, in der Bundesallee 100. Dort, in der sorgfältig von der Umwelt abgeschirmten Uhrenhalle der PTB, leben drei Generationen von Uhren unter einem Dach. „Leben“ ist hier das richtige Wort, obwohl es sich natürlich nur um Gegenstände handelt. Aber die Braunschweiger Uhren leben in zweierlei Hinsicht: Erstens arbeiten sie unermüdlich, und zwar sehr genau, und zweitens werden sie von ihren Betreuern ständig weiterentwickelt, verbessert und verfeinert. Ein unaufhörlicher Reifeprozess ist das, der dazu führt, dass die Zeitmessung immer zuverlässiger und genauer wird.

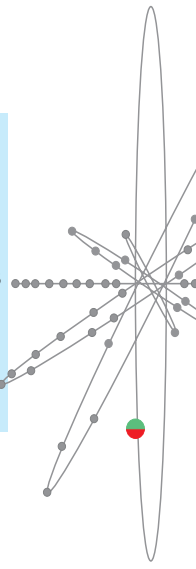
Während früher die Sekunde relativ ungenau als ein bestimmter Teil des Sonnentags definiert wurde, begann 1967 eine neue Zeitrechnung: Von nun an wurde die Zeiteinheit Sekunde auf eine völlig andere, wesentlich genauere Basis gestellt. Ihre offizielle internationale Definition lautet jetzt: „Die Sekunde ist das 9 192 631 770fache der Periodendauer der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes von Atomen des Nuklids ^{133}Cs entsprechenden Strahlung.“ Ein für den Laien völlig unverständlicher Satz, und doch steckt hinter ihm nicht viel mehr als die Vorschrift, Strahlung, die Cäsiumatome unter bestimmten Bedingungen aussenden, zur Messung der Sekunde zu verwenden.



Strahlung? Für die Sekunde? Wie soll Strahlung eine Zeiteinheit definieren? Nun, man kann sie als elektromagnetische Welle betrachten, die in einem ganz bestimmten Rhythmus schwingt. Also zum Beispiel 9 192 631 770-mal pro Sekunde. Diese spezielle Strahlung entsteht bei einem Naturvorgang: dann nämlich, wenn ein Cäsiumatom einen Quantensprung macht und von einem angeregten Energiezustand in einen nicht angeregten Zustand springt. Energie kann nicht verschwinden, deshalb gibt das Atom die Differenzenergie in diesem Fall als Mikrowellenstrahlung nach außen ab. Umgekehrt kann man das Atom auch auf den höheren Energiezustand heben, indem man ihm genau diese Mikrowellenstrahlung zuführt. Es gibt nichts Exakteres in der Natur als die Frequenz von solchen Quantensprüngen. Eine gute Idee also, sie zur Definition der Zeit zu benutzen.

Was ist die Zeit?
Wir wissen es auch nicht.
Aber wir wissen,
wie man sie macht.

Sie erfahren mehr über die Zeit in der PTB oder in der Daueraustellung der PTB im Braunschweigischen Landesmuseum, Burgplatz 1, 38100 Braunschweig
Di, Mi, Fr, Sa, So: 10.00 Uhr bis 17.00 Uhr
Do: 13.00 Uhr bis 20.00 Uhr



Grafik: Alberto Parra del Riego

Die praktische Umsetzung dieser Idee geschieht in der Atomuhr. „Aus einer Reihe von physikalischen Gründen hat man sich dazu entschieden, Atomuhren mit Cäsium zu betreiben“, sagt der PTB-Forscher Andreas Bauch, Leiter der Arbeitsgruppe Zeitübertragung. Die Uhr erzeugt also einen Strahl von Cäsiumatomen und sorgt dann dafür, dass diese beim Durchfliegen des Apparates mit Mikrowellen bestrahlt werden, die genau so beschaffen sind, dass sie die Atome dazu bringen, auf das höhere Energieniveau zu springen. Eine raffinierte Anordnung sortiert dann all diese aus, fängt sie auf und zählt sie. Je höher die Ausbeute ist, desto genauer entspricht die Mikrowellenstrahlung im Apparat dem atomaren Übergang. Eine Rückkopplung hält die Frequenz der Mikrowelle, die über eine elektronische Schaltung von einem Schwingquarz abgeleitet wird, immer genau auf diesem Wert. Von diesem Schwingquarz greift man gleichzeitig auch die Normalfrequenz ab (üblicherweise fünf Megahertz), die der Nutzer der Uhr entsprechend seiner Anwendung weiterverarbeiten kann. Ein Teiler sorgt zuletzt für ein Signal von einem Puls pro Sekunde – die Uhr „tickt“.

Foto: PTB

Die in Braunschweig gebauten Atomuhren liefern die Sekunde auf ein bis drei milliardstel Sekunden pro Tag genau. Zum Vergleich: Eine Quarzarmbanduhr irrt sich pro Monat um ein paar Sekunden, mechanische Armbanduhren – und seien sie noch so edel – vertun sich um ein Vielfaches mehr! Natürlich haben die Physiker beim Aufbau der Atomuhren eine Vielzahl experimenteller Feinheiten und Kniffe angewandt, die diese Genauigkeit und Zuverlässigkeit erst möglich machten. Sei es, den Ofen, der den Cäsiumdampf erzeugt, möglichst effizient zu gestalten, störende Einflüsse abzuschirmen oder die Magnete so zu formen, dass sie alle angeregten von den nicht angeregten Atomen trennen, oder sei es die Art, eine Rückkopplung so zu bauen, dass sie genau das Maximum trifft.

Eine der wichtigsten Eigenschaften jeder Atomuhr ist jedoch ihre Länge. Denn je länger sich ein Atom im Mikrowellenfeld aufhält, desto genauer wird die Messung seiner Übergangsfrequenz. Dies technisch herzustellen ist aber gar nicht so einfach. Deshalb wendet man heute einen Trick an, den der amerikanische Physiker Norman F. Ramsey erfand – er erhielt 1989 dafür den Nobelpreis. Es genügt, so fand Ramsey, dass das Atom nur am Anfang und am Ende seines Flugs mit Mikrowellen bestrahlt wird. Der Effekt ist dann ebenso groß, als flöge es ständig durch das Feld. „Ein entsprechendes Phänomen haben Sie auch, wenn Sie den Gang zweier Uhren vergleichen wollen“, erklärt Bauch, „Sie können sie beispielsweise fünf Minuten lang gleichzeitig beobachten. Dann sehen Sie, ob sie parallel laufen. Im Grunde genügt es aber, wenn Sie die beiden Uhren am Anfang und am Ende der Beobachtungszeit vergleichen. Sie erhalten dann dasselbe Ergebnis.“ Je mehr Zeit zwischen den beiden Vergleichen verstreicht, desto genauer wird die Messung. Deshalb macht man das luftleer gepumpte Rohr, in dem die Atome entlang fliegen, möglichst lang und bestrahlt sie nur am Anfang und Ende mit der Mikrowelle.

Die ältesten beiden PTB-Atomuhren, CS1, die seit 1969 ununterbrochen läuft, und ihre Schwester CS2, die 1985 in Dienst gestellt wurde, waren viele Jahre lang die genauesten der Welt. Sie haben eine Länge von je etwa einem Meter. Noch längere Uhren zu bauen würde zwar die Flugzeit der Atome verlängern, es bringt jedoch so viele technische Probleme, dass man diesen Weg nicht weiter verfolgte. Um die Genauigkeit der Atomuhren weiter zu steigern, musste man sich also ein ganz neues Design ausdenken. So entstanden in den 90er Jahren die Cäsium-Fontänen nach einer Idee von Jerrold Zacharias, Forscher am Massachusetts Institute of Technology.

Wie ihr Name schon sagt, arbeiten sie wie ein Springbrunnen, allerdings nicht mit Wasser, sondern mit Cäsiumatomen. „Die Fontäne wirft sie nach oben, dort kehren sie am Scheitelpunkt um und fallen unter dem Einfluss der Schwerkraft wieder zurück zum Boden“, erklärt Robert Wynands, Leiter der Arbeitsgruppe Zeitnormale, das Grundprinzip. Die Zeit, die sie für diesen Weg benötigen, ist wesentlich länger als die kurze Flugzeit durch eine normale Atomuhr. So kann man auf geschickte Weise das Intervall zwischen den beiden Messungen verlängern, ohne dass man meterlange Rohre benötigt.

Was so einfach klingt, erfordert in der Praxis höchste Experimentierkunst. Denn normalerweise fliegen Atome schnell und wild durcheinander und benehmen sich keineswegs so gesittet, wie man es für eine Messung gerne hätte. In den 80er Jahren gelang es jedoch einigen Forschern in verschiedenen Labors auf der Welt, feinst kontrollierte Laserstrahlen zu erzeugen und mit ihnen Atome so zu manipulieren, dass man sie sogar auf tiefste Temperaturen abkühlen konnte. Bald war das Verfahren so weit ausgereift, dass man es auch für Präzisionsmessungen anwenden konnte, etwa in der Cäsium-Fontäne.

Dort werden etwa einmal pro Sekunde ein paar Millionen Atome aus einem Cäsiumdampf herausgefangen und abgekühlt, bis sie wie ein Schwarm winzigster Hummeln mit nur wenigen Zentimetern pro Sekunde umherschwirren. Dieser kleinen, superkalten Atomwolke gibt nun der Laser einen „Schubs“ nach oben. Auf ihrem Weg durchfliegt sie das Mikrowellenfeld, und auf dem Rückweg nach knapp einer Sekunde wieder. Die Flugzeit ist damit wesentlich länger als bei konventionellen Atomuhren, und damit auch die Genauigkeit: Mit ihrer ersten Cäsium-Fontäne haben die Braunschweiger Wissenschaftler eine extrem geringe Gangunsicherheit – nämlich $1 \cdot 10^{-15}$ – erreicht. Sie konnten auch nachweisen, dass sich die Sekunden ihrer Fontäne von denjenigen des amerikanischen National Institute of Standards and Technology NIST in Boulder, Colorado, um höchstens $1 \cdot 10^{-15}$ Sekunden unterscheiden.

Sieht eine normale Atomuhr schon sehr knifflig aus, so wird sie von der Komplexität einer Fontäne noch bei weitem übertroffen. Hunderte von Linsen, Blenden, Strahlteilern und Relais sind auf einer optischen Bank millimetergenau montiert. Sie müssen exakt funktionieren, damit die Laserstrahlen all das tun, was sie sollen, und zwar immer im genau richtigen Augenblick. Im luftleer gepumpten Hauptgefäß laufen sie schließlich zusammen und steuern, kühlen und messen die Cäsiumatome. Hinzu kommen Magnetspulen, Pumpen, Mikrowellenleiter und eine Unzahl elektronischer Elemente. Kein Wunder, dass es nur sieben dieser Wunderwerke auf der Welt gibt.

Weltzeit

Was die Zeit betrifft, ist Paris der Nabel der Welt: Seit 1988 ist die Sektion Zeit des BIPM (Bureau International des Poids et Mesures) für die Berechnung und Verbreitung einer weltweit gültigen Zeitreferenz zuständig, zuvor war es das Internationale Büro für die Zeit BIH (Bureau International de l’Heure). Im Prinzip würde natürlich eine einzige, hinreichend genaue, stabile und zuverlässige Uhr genügen, um die Zeit anzugeben. Da aber eine solche Uhr nirgendwo zur Verfügung steht, stützt man sich auf etwa 250 Uhren in ca. 50 Zeitinstituten, die auf der ganzen Welt verteilt sind. Dabei handelt es sich in erster Linie um Cäsium-Atomuhren und Wasserstoffmaser. Aus deren Zusammenarbeit entsteht zunächst die Internationale Atomzeit TAI (Temps Atomique International) und daraus die Koordinierte Weltzeit UTC (Universal Time Coordinated). Sie ist die Basis unseres heutigen Weltzeitsystems mit seinen 24 Zeitzonen.

Ursprünglich hatte man sich bei der Angabe der Weltzeit an der Erdrotation orientiert. Sie ist jedoch nie ganz gleichmäßig: Einerseits wird sie mit der Zeit abgebremst durch die Gezeitenreibung, andererseits „eiert“ die Erde oft ein wenig, weil sich in ihrem Inneren große Massen verschieben können. Das hat zur Folge, dass die Erdrotation als Zeitnormal nicht genau genug ist, und das war gerade der entscheidende Antrieb, Atomzeit einzuführen und zu verwenden. Eine der Anwendungen ist die Aussendung von Zeitzeichen für die Bedürfnisse der Schifffahrt: Navigation, speziell die Bestimmung der geographischen Länge, erfordert die Kenntnis der Zeit, und zwar der UT1 (Mittlere Sonnenzeit am nullten Längengrad). Hätte man die Zeitzeichenaussendungen direkt von der Zeitskala TAI abgeleitet, so wäre die Schifffahrt in Schwierigkeiten geraten. Denn wegen der festgelegten Dauer der Atomsekunde hätten sich die Zeitzeichen nach und nach gegenüber UT1 verschoben.

Da die astronomische Navigation in den 1960er Jahren noch von größerer Bedeutung war als heute, entschied man sich zur Einführung von UTC als Kompromisszeitskala: UTC und TAI haben das gleiche Skalenmaß (die SI-Sekunde), die Differenz zwischen UTC und UT1 wird aber durch Schaltsekunden auf unter 0,9 Sekunden begrenzt.

rö

Die Atomuhren-Mannschaft der PTB, vorn von rechts: Andreas Bauch, Jürgen Becker, Thomas Polewka; Mitte von rechts: Rolf Augustin, Christof Richter, Thomas Leder, Christian Tamm, Roland Schröder, hintere Gruppe von rechts: Dieter Griebsch, Ekkehard Peik (ganz hinten), Dirk Piester, Tobias Schneider, Stefan Weyers, Robert Wynands

Foto: PTB

Noch komplizierter ist aber die Uhr der Zukunft, die jüngste Generation, die gleich nebenan in der Uhrenhalle aufgebaut wird: Um noch genauer messen zu können, wollen die Physiker hier nicht einen Quantensprung im Mikrowellenbereich ausnutzen, sondern einen, dessen Strahlung noch 10 000-mal schneller schwingt, nämlich einen mit Licht. Deshalb heißen diese Zeitmesser auch „optische Uhren“. Um sie zu realisieren, bewegen sich die PTB-Forscher wieder an der vordersten Front der Wissenschaft.

„Denn erst seit wenigen Jahren kann man Lasersysteme mit den speziellen geforderten Eigenschaften bauen“, erzählt Christian Tamm, Spezialist für optische Uhren. Da ist zunächst einmal ein Laser mit extrem hoher Kurzzeitstabilität, mit dem die PTB-Forscher ein Ytterbium-Ion anregen, das sie vorher in einer Ionenfalle gespeichert und fast auf den absoluten Nullpunkt heruntergekühlt haben. Analog zum Prinzip der Atomuhr versuchen sie dann, die Frequenz dieses Lasers in einem Regelkreis zu stabilisieren. Anschließend wird sie mit Hilfe eines so genannten Frequenzkamm-Generators in Mikrowellen übersetzt, und hierfür braucht man als zentrale Komponente einen Femtosekunden-Laser.

Gegenwärtig ist die optische Uhr schon so genau wie eine Cäsium-Fontänenuhr, erheblich besser in der Stabilität bei kurzen Messzeiten, nur noch nicht ganz so einfach zu bedienen. Die Braunschweiger Physiker arbeiten daran, die Genauigkeit noch erheblich zu steigern und letztlich 1000fach genauer zu werden, als es mit der Cäsium-Fontänenuhr heute möglich ist. Dass das gelingen wird, daran haben sie keinen Zweifel. Und dann werden die Braunschweiger Metrologen weiterhin zur Weltelite ihrer Zunft und ihre Uhren zu den deutschen Statussymbolen gehören.

Brigitte Röthlein

Wie kommt die Zeit in mein Schlafzimmer?

„Tickst du noch ganz richtig?“ Ungläubig blicke ich aufs Zifferblatt meines Weckers. Statt mich – wie am Vorabend auf Knopfdruck vereinbart – um 6 Uhr zu wecken, hat er seinen Dienst kurz nach zwei eingestellt. Die Zeit war stehen geblieben. Aber nur in meinem Schlafzimmer. Draußen ist es taghell, und mir dämmert es: Ich habe verschlafen.

Auf meine innere Uhr ist offensichtlich auch kein Verlass. Woher wussten die Menschen in Zeiten, als noch keine Wecker auf den Nachttischen tickten, wann sie aus den Federn mussten? Die sind einfach mit den Hühnern aufgestanden! Sprich: Sie passten sich dem natürlichen Rhythmus von Sonnenauf- bis Sonnenuntergang an. Auf die Minute kam es dabei nicht an. Aber wann erwacht so ein Huhn, und wie würde ich merken, dass es aufgestanden ist? Wir leben ja nicht mehr mit dem Kleinvieh unter einem Dach.

Außerdem will ich genau wissen, was die Stunde geschlagen hat. Leider verstummt die Glocke unserer Kirchturmuhr zwischen 23 Uhr und 6 Uhr. Die Glockenschläge zu jeder Viertelstunde raubten zu vielen Anwohnern den Schlaf. Dabei regelten Uhren mit Glockenschlag einst das öffentliche Leben. Als im späten Mittelalter das Stadt- und Marktleben boomte, gaben mechanische Uhren an Kirchtürmen und repräsentativen Gebäuden für Bürger und Landvolk die Einheitszeit vor. Und damit ein jeder wusste, wann es Zeit war, die Schlafhaube aufzusetzen, verkündete der Nachtwächter allabendlich lauthals den aktuellen Glockenschlag.

Besonders wichtig war es den Mönchen in den Klöstern, die genaue Zeit zu erfahren, damit sie die strikten Gebetszeiten einhalten konnten. Vor der Erfindung der mechanischen Uhr nutzten sie Wasseruhren, die es bereits seit der Antike gab – genauso wie die Sonnenuhren, deren Erfindung den Ägyptern zugeschrieben wird. Kein Wunder, am Nil zeigt sich die Sonne gern und viel. Bei uns in Deutschland bleibt es bekanntlich oft schattig, was bereits Napoleon erkannte: „Überwiegend Winter, und den Rest auch keinen Sommer.“ Auf Sonnenschein allein haben die Franzosen bei Messung und Verbreitung der Zeit aber auch nicht gesetzt. Ende des 19. Jahrhunderts kamen in Paris pneumatisch koordinierte Uhren zum Einsatz. Durch unterirdische Rohre schickte man Luftstöße, die von einer „Mutteruhr“ ausgelöst wurden. Auf diese Weise versuchte man, am anderen Ende der Leitungen die Uhren in den einzelnen Stadtteilen im gleichen Takt zu halten. Mit der Einführung des elektrischen Stroms segnete diese Variante der Zeitübertragung aber das Zeitliche.

Das alles ist Geschichte. Für mein Schlafzimmer, so viel steht fest, muss eine zeitgemäße Alternative her: eine Funkuhr mit Weckfunktion. Funkuhren haben die Zeichen der Zeit erkannt. Sie empfangen kodierte Zeitsignale, die auf der Trägerfrequenz 77,5 kHz des Langwellensenders DCF77 ausgesendet werden. Die Zeitinformation kommt also wie ein Radioprogramm daher. Das klingt altmodisch, ist aber vor allem einfach im Aufbau und zuverlässig. Denn die Langwelle dringt ungehindert in jedes Gebäude ein. Auch Bäume oder Hochhäuser weiß sie zu überwinden. Und anders als Signale des Navigationssystems GPS können Langwellen ohne eine Außenantenne empfangen werden.

Die Sendestation von DCF77 liegt in Mainflingen, rund 25 Kilometer südöstlich von Frankfurt am Main. Dort wird das Zeitsignal mit einer von der PTB in Braunschweig entwickelten Steuereinrichtung erzeugt. Drei Atomuhren, die sich wechselseitig kontrollieren, stehen hierfür zur Verfügung. Von Braunschweig aus überprüfen die Zeitexperten der PTB, ob die Stände der Uhren in Mainflingen mit den Werten der primären Atomuhren in Braunschweig übereinstimmen. Im Falle einer Abweichung können sie mit Hilfe einer Fernwirkanlage via Telefonnetz eingreifen und korrigieren.

Läuft alles störungsfrei – und das ist der Normalfall – funktioniert die Zeitübertragung so: Zu Beginn jeder Sekunde wird die Trägeramplitude für die Dauer von 0,1 oder 0,2 Sekunden auf rund 25 Prozent abgesenkt. Der Beginn dieser Trägerabsenkung ist der genaue Sekundenbeginn, die sogenannte Sekundenmarke. Jede Sekundenmarke entspricht einem Bit. Die unterschiedliche Dauer der Sekundenmarken dient zur binären Kodierung von Uhrzeit und Datum. Die Sekundenmarken mit einer Dauer von 0,1 Sekunden entsprechen der binären Null, solche von 0,2 Sekunden Dauer der binären Eins. So lassen sich während jeder Minute die Nummern von Minute, Stunde, Wochentag, Monat und Jahr übertragen. Der Funkwecker im heimischen Schlafzimmer empfängt das kodierte Zeittelegramm und übersetzt es in die aktuelle Zeit.

So geht das rund um die Uhr. DCF77 sendet im 24-Stunden-Dauerbetrieb und kann in einem Umkreis von 2000 Kilometern empfangen werden. Selbst kurze Unterbrechungen, wenn etwa im Störungsfall auf eine Reserveantenne umgeschaltet werden muss, sind kein Problem. Die meisten Funkuhren gehen nur einmal pro Tag auf Empfang, um einen Abgleich mit dem ausgestrahlten Zeitsignal zu machen.

Auf einen Weckruf zur richtigen Zeit ist mit einer Funkuhr am Bett also Verlass. Es sei denn, ich habe versäumt, die Batterie rechtzeitig zu wechseln.

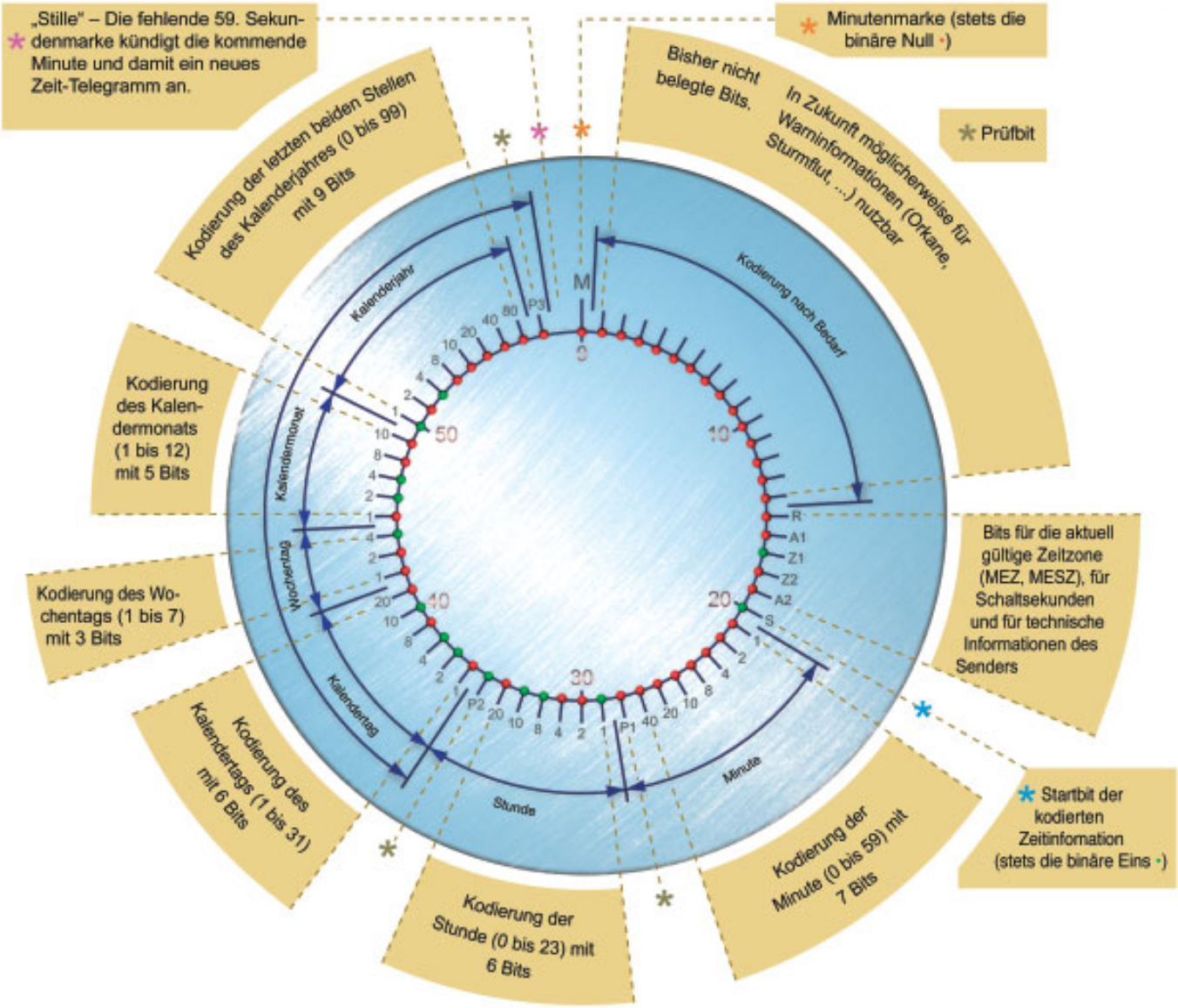
Nicole Geffert

Foto: Illuscope

DER KODE

ZEITZEICHEN ÜBER LANGWELLE

Die gesetzliche Zeit ist überall und jederzeit verfügbar: Eine Funkuhr mit einer einfachen Ferrit-Antenne genügt, um die aktuelle Zeit sekundengenau bei sich zu haben. Mit dem Signal des Senders DCF77 kommt sie zerlegt in Bits daher: Kurze und lange Sekundenmarken stehen für binäre Nullen und Einsen. Während jeder Minute werden so die Nummern von Minute, Stunde, Tag, Wochentag, Monat und Jahr gesendet. Ein Zeit-Telegramm besteht aus 60 Sekundenmarken und gilt für die kommende Minute.



Modulationsdauer	0,1 Sekunden	0,2 Sekunden
entspricht dem Wert	binäre Null	binäre Eins
symbolisch als	roter Punkt (•)	grüner Punkt (•)

Eine Sekundenmarke im Zeit-Telegramm entsteht, indem die Amplitude der Trägerschwingung (Langwelle 77,5 kHz) auf 25 % abgesenkt wird. Das Zeit-Telegramm arbeitet mit einem speziellen Binärkode: Jede Ziffer einer Zahl wird separat im System der 2er-Potenzen kodiert; der Kode heißt daher BCD: „binary coded decimal". Der elfte Tag eines Monats lautet z. B.:

••••• (0 x 20 + 1 x 10 + 0 x 8 + 0 x 4 + 0 x 2 + 1 x 1 = 11)

Im Schema dargestellt: Donnerstag, 16.6.05, 19.00 Uhr (Eröffnung der Ausstellung im Braunschweigischen Landesmuseum; s. auch Seite 30)

Grafik: Alberto Parra del Riego

Zeit ist Ort

Bild: Science Museum/ Science & Society Library

Mit 250 Stundenkilometern rast der ICE durch die Nacht. Ich bin irgendwo auf der Strecke zwischen Frankfurt und Köln. Und jetzt wüsste ich gerne, zu welchem Ort die Lichter da draußen gehören. Nun, für den geübten Dreisatzrechner ist das kein Problem: Ein Blick auf die Uhr (wie lange sind wir schon unterwegs?), ein Blick in den Fahrplan (wann ist der Zug wo zu erwarten?), ein wenig Kopfrechnen – und die Sache ist klar: Es muss Limburg sein. Mit Hilfe der Zeit den Ort zu ermitteln hat schon vielen Reisenden geholfen – von den Seefahrern des achtzehnten Jahrhunderts bis zu denjenigen, die heutzutage einen GPS-Empfänger im Auto haben.

Foto: www.okerland-archiv.de

Das Problem begann, wenn ein Seefahrer das Land nicht mehr sehen konnte. Dann musste er sich an den Längen- und Breitengraden orientieren. Den Breitengrad zu bestimmen, auf dem sich das Schiff gerade befand, war ja noch einfach. Schon im 15. Jahrhundert schafften portugiesische Seefahrer dies anhand der Höhe des Polarsterns über dem Horizont. Oder sie maßen zur Mittagszeit die Höhe der Sonne und schauten dann den Breitengrad in einer Tabelle nach. Heute kann man auf diese Weise die Nord-Süd-Position eines Schiffes auf einige hundert Meter genau ermitteln.

Schwieriger war lange Zeit die exakte Bestimmung des Längengrads, also der Ost-West-Position. Zu diesem Zweck mussten die Seeleute eine sehr genaue Uhr mit sich führen, die die Ortszeit am Nullmeridian anzeigte, also an jenem Längengrad, der durch Greenwich verläuft. Aus dem Unterschied zwischen dieser Greenwicher Zeit und der Ortszeit an der Position des Schiffes konnten sie den Längengrad berechnen. Ein Zeitunterschied von plus (oder minus) einer Stunde entspricht 15 Grad östlicher (oder westlicher) Länge.

Foto: Royal Observatory Greenwich

Ortsbestimmung früher (Bilder auf dieser Seite ganz oben und unten): Die „natürliche Uhr“ Mond und ein mechanisches Wunderwerk des 18. Jahrhunderts: das Harrison-Chronometer No. 4.

Ortsbestimmung heute (alle übrigen Bilder): Aus den Zeitsignalen von mindestens drei verschiedenen Satelliten errechnet der GPS-Empfänger im Auto seinen augenblicklichen Standort.

Damit diese Art der Längengradbestimmung ein brauchbares Ergebnis lieferte, durfte eine Uhr, die man zu Beginn der Reise auf Greenwicher Zeit gestellt hatte, auch nach Monaten nur um etwa eine Minute davon abweichen. Jede Minute Ungenauigkeit bedeutete etwa am Äquator einen Fehler von knapp 30 Kilometern. Der geniale britische Uhrmacher John Harrison (1693 bis 1776) hat die ersten Uhren gebaut, die pro Tag weniger als eine Sekunde ungenau waren. Sein Chronometer No. 4 zeigte 1762 nach einer 81-tägigen Jamaika-Fahrt eine Abweichung von nur fünf Sekunden! Harrison gewann den Preis, den die britische Regierung, geschockt durch die große Zahl an Seeleuten, die wegen ungenauer Positionsbestimmung ihr Leben verloren, für eine praktikable Methode der Längengradbestimmung ausgesetzt hatte. Allerdings musste er einige Jahre darauf warten, unter anderem, weil Widersacher aus dem „Astronomen-Lager“, die sich nur eine astronomische Lösung des Problems vorstellen konnten, opponierten.

Der Mond: ein großer Uhrzeiger

Die astronomische Lösung erforderte aber einen klaren Himmel. War das der Fall, dann konnten die Seeleute auch eine natürliche Uhr von großer Ganggenauigkeit benutzen: den Mond, der sich wie ein großer Uhrzeiger um die Erde bewegt. Mit einem Sextanten bestimmten sie die Stellung des Mondes zur Sonne oder zu einem Fixstern und konnten anschließend mit Hilfe eines „Almanachs“ die Himmelsuhr ablesen. Ein Vergleich dieser „Himmelszeit“ mit der Ortszeit lieferte die geographische Länge.

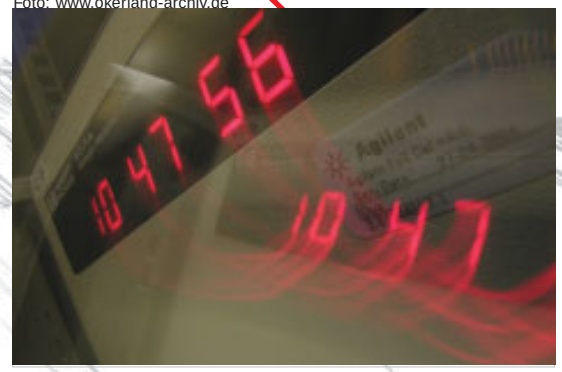
Heute benutzen wir stattdessen künstliche Monde und Atomuhren. Gut zwei Dutzend Satelliten des Global Positioning System (GPS), betrieben vom amerikanischen Militär, kreisen in einer Höhe von 20 200 Kilometern um die Erde. Sie sind so am Himmel verteilt, dass man an den meisten Punkten der Erde die Signale von mindestens vier Satelliten empfangen kann (und das sogar durch den dicksten Nebel hindurch!). Jeder Satellit sendet pausenlos Informationen darüber aus, wo er sich gerade befindet und zu welchem Zeitpunkt er sein Signal losgeschickt hat. Die vier Atomuhren an Bord eines Satelliten laufen so exakt, dass sie in 300 000 Jahren weniger als eine Sekunde falsch gehen. Sie werden überwacht und nötigenfalls korrigiert von mehreren Kontrollstationen auf der Erde, die auch die Umlaufbahnen verfolgen und ihnen die aktuellen Bahndaten senden, so dass jeder Satellit stets seine momentane Position kennt.

Foto: www.okerland-archiv.de

Die Signale der Satelliten, mit Lichtgeschwindigkeit unterwegs, kommen mit einer Zeitverzögerung von etwa einer zehntausendstel Sekunde auf der Erde an. Diese Zeitverzögerung lässt sich mit einer Atomuhr so präzise messen, dass man aus ihr die Entfernung des Satelliten auf einige Meter genau bestimmen kann. Aus den Signalen von drei Satelliten, die man an einem Ort empfängt, lassen sich die Koordinaten des jeweiligen Ortes berechnen. Weil ein GPS-Empfänger jedoch keine Atomuhr, sondern nur eine normale Quarzuhr enthält, braucht er das Zeitsignal eines vierten GPS-Satelliten. Mit dessen Atomuhren synchronisiert er seine Quarzuhr, um die erforderliche Genauigkeit bei der Zeitmessung zu erreichen. Wenn wir unsere Position mit GPS auf einen Meter genau bestimmen wollen, dann dürfen die Uhren der GPS-Satelliten nicht mehr als 3 milliardstel Sekunden voneinander abweichen. So lange braucht ein GPS-Signal für einen Meter Wegstrecke. Obwohl die Atomuhren eigentlich genau genug gehen, kommt es sehr schnell zu erheblich größeren Abweichungen, die sich mit Hilfe von Einsteins Spezieller und Allgemeiner Relativitätstheorie erklären lassen. Nur wenn man diese relativistischen Effekte bei der Zeitmessung berücksichtigt, kann die GPS-Navigation überhaupt funktionieren.

Foto: PTB

Das GPS sendet zwei verschiedene Signale: ein unverschlüsseltes für zivile Empfänger und ein verschlüsseltes für das US-Militär. Bis zum 2. Mai 2000 wurde das zivile GPS-Signal von den USA absichtlich verfälscht, so dass der Fehler bei einer Positionsbestimmung etwa 100 Meter betrug. Nachdem diese Störung abgeschaltet war, stieg die Genauigkeit auf etwa 10 Meter. Für Wanderer oder Segler reicht eine Positionsgenauigkeit von 10 Metern völlig aus. Doch GPS-Navigationssysteme in Autos brauchen genauere Positionsangaben, die man mit dem „differentiellen“ GPS erhält. Dazu überprüft ein ortfester GPS-Empfänger, dessen tatsächliche Position auf etwa einen Meter genau bekannt ist, seinen vom GPS angegebenen Positionswert und korrigiert ihn. Die Korrektur wird dann per Funk zu anderen GPS-Empfängern übertragen, die damit ihre Positionsgenauigkeit verbessern.

Foto: www.okerland-archiv.de


GPS entdeckt, wie die Erde schwankt

Benutzt man statt eines einzigen ein ganzes Netz von GPS-Empfängern, die an festen Positionen über ein Gebiet verteilt sind, so kann man noch Bewegungen der Erdoberfläche registrieren, die im Millimeterbereich liegen. Auf diese Weise lässt sich beobachten, wie sich unter der Gezeitenwirkung des Mondes die Erdoberfläche zweimal am Tag um etwa 10 Zentimeter hebt und senkt. Geologen setzen GPS ein, um Erdkrustenbewegungen zu messen. So haben sie herausgefunden, dass sich bei dem verheerenden Erdbeben vor Sumatra am 26. Dezember 2004 (der Ursache für die Tsunami-Katastrophe) der Meeresboden entlang einer etwa 1600 Kilometer langen Bruchzone um mehr als 5 Meter bewegt hatte. Durch GPS-Überwachung solcher Bruchzonen können verdächtige Erdkrustenbewegungen schon frühzeitig bemerkt werden.

Im Laufe der Zeit hat das zivile GPS eine Vielzahl von Anwendungen gefunden, die oft lebenswichtig sind, etwa in der Luftfahrt. Das hat dazu geführt, dass das US-Militär diesen Teil des GPS nicht mehr generell stören oder sogar abschalten kann. Allerdings erlauben es die neuen GPS-Satelliten, das zivile GPS-Signal gezielt in bestimmten Regionen der Erde zu stören, etwa in einem Krisenfall. Um unabhängig vom US-amerikanischen Militär zu sein, hat die Europäische Gemeinschaft zusammen mit der European Space Agency (ESA) den Aufbau des Satellitennavigationssystems „Galileo“ beschlossen, das speziell für zivile Anwendungen entwickelt wird. Galileo soll effizienter und zuverlässiger sein als der nicht-militärische Teil des GPS. Bis Ende 2007 will man die ersten vier von insgesamt 30 Satelliten in die Umlaufbahn gebracht haben. Parallel dazu läuft der Aufbau von Kontrollstationen auf der Erde. Ab 2010, so hofft man, wird Galileo weltweit nutzbar sein.

Mit Hilfe der Signale, die die Galileo-Satelliten aussenden, wird ein Empfänger seine Position auf etwa zwei bis drei Meter genau bestimmen können. Innerhalb von zehn Sekunden wird der Empfänger über mögliche Fehler bei der Positionsbestimmung informiert. Außerdem kann Galileo zusätzliche Informationen senden, etwa Unwetterwarnungen oder Verkehrshinweise. Angesichts der Konkurrenz durch Galileo soll auch das nicht-militärische GPS verbessert werden. Tatsächlich wird Galileo mit GPS kompatibel sein, so dass den Empfängern zwei Systeme gleichzeitig zur Verfügung stehen, wodurch die Positionsbestimmung noch genauer wird.

Foto: Galileo Industries

Wo es um extrem genaue Zeitmessungen geht, ist die PTB nicht weit. Die Braunschweiger Wissenschaftler haben dabei geholfen, dass Galileo eine „Systemzeit“ erhält, auf die die Atomuhren in den Galileo-Satelliten abgestimmt werden. Diese Systemzeit will man in sehr guter Übereinstimmung mit der „Koordinierten Weltzeit“ (UTC) halten, der globalen Referenzzeit. Kennt man die Position eines Satelliten, so kann man aus seinem Signal die Koordinierte Weltzeit ermitteln. Mit Galileo wird also an jedem Ort der Welt die exakte Zeit zur Verfügung stehen. Dadurch lassen sich viele technische Prozesse ohne großen Aufwand weltweit synchronisieren oder aufeinander abstimmen. Beim Aufbau dieses zusätzlichen Service von Galileo wirkt die PTB ebenfalls mit.

Mit Galileos Hilfe wird man also zu jeder Zeit den exakten Ort und an jedem Ort die exakte Zeit kennen – nach dem Motto: Zeit ist Ort!

Rainer Scharf

Meine Zeitreise mit C9

Teil eins: Wie alles begann

Wann die Reise anfing, völlig irrwitzig zu werden – daran erinnere ich mich genau. Es war kurz nach dem Start in Frankfurt, als die Anschnallzeichen erloschen. Aber eigentlich hatte es schon früher begonnen. Allein die Anzeige: „Reisebegleitung gesucht; mit C9 nach Südamerika …“ Als sich herausstellte, dass C9 eine seriöse Uhr ist, also keine bösen Überraschungen zu erwarten waren wie sonst bei Reisezweckgemeinschaften, hatte ich zugesagt. C9 wurde von ihren Betreuern von der PTB mit Reisestromversorgung ausgestattet, mir gab man die Flugtickets. Erste Etappe: Frankfurt – Dallas.

„Würden Sie mich bitte auch abschnallen“, sagte C9 leise, aber unüberhörbar. Wie lange ich mit offenem Mund und ohne einen einzigen Gedanken im Hirn auf die Kiste neben mir starrte, weiß ich nicht mehr. C9 hätte es auf die Nanosekunde genau gewusst, aber ich habe versäumt, sie zu fragen. Ich schaute mich einige Male unauffällig um. War die Versteckte Kamera in der Nähe? War ich Teil eines psychologischen Experiments?

Ich traute mich auch nicht, sie ohne Gurt bequem auf ihren Sitz zu packen. In erster Linie war sie – damals zumindest – für mich die perfekteste Uhr, die ich je gesehen hatte, und es schien mir ein zu großes Risiko, sie einfach unbefestigt fliegen zu lassen. „Die Erschütterungen …“, flüsterte ich unauffällig, so dass es niemand sonst hörte. „Wenn es Turbulenzen gibt, könnten die Erschütterungen die“ – wie soll man eine Uhr ansprechen? – „deine Zeitmessung beeinträchtigen.“

Rückblick

März 1984. Die PTB hebt ab. Peter Hetzel und Lothar Rohbeck, zwei Zeit-Experten der PTB, sind unterwegs, um „ihre“ Zeit – UTC(PTB) – mit den Zeitskalen mehrerer Institute in Südamerika und Portugal zu vergleichen und Abweichungen festzustellen. Mit zwei transportablen Atomuhren fliegen sie über Dallas und Mexiko City nach Bogotá, Santiago, Buenos Aires, São Paulo, Rio de Janeiro und Recife. Ihr Rückweg führt sie über Lissabon.

Dieser aufwendige Vergleich der Zeitskalen ist sinnvoll, weil die internationalen Zeitvergleiche auf der Nordhalbkugel der Erde über ein Navigationssystem namens Loran-C (Long Range Navigation) durchgeführt werden, Loran-C aber auf der Südhalbkugel und damit auch in Südamerika nicht zu empfangen ist.

Die Uhren reisen jeweils in der Passagierkabine mit und hängen während des Fluges am bordeigenen Stromnetz. Die Flüge verlaufen ohne nennenswerten Zwischenfall, nur in Rio de Janeiro müssen sich die PTB-Begleiter bei einem Überfall von einigen Wertsachen trennen. Die Uhren werden dabei nicht aus dem Takt gebracht, denn sie befinden sich währenddessen im Observatorio Nacional und stellen dort die größte Zeitskalen-Abweichung ihrer Reise fest: immerhin 0,5 Millisekunden!

Obwohl die Mission erfolgreich verläuft, wird es die letzte ihrer Art. Loran-C wird in den folgenden Jahren abgelöst durch das überall auf der Welt zu empfangende Navigationssystem GPS – die Uhren für den Zeitvergleich umrunden die Erde dann auf Satellitenbahnen und nicht mehr mit der DC-8 ...

fö

Fotos (2): PTB

Ankunft in Südamerika mit der DC-8: C9 (vorne), Peter Hetzel (ganz links) und Lothar Rohbeck (hinten Mitte)

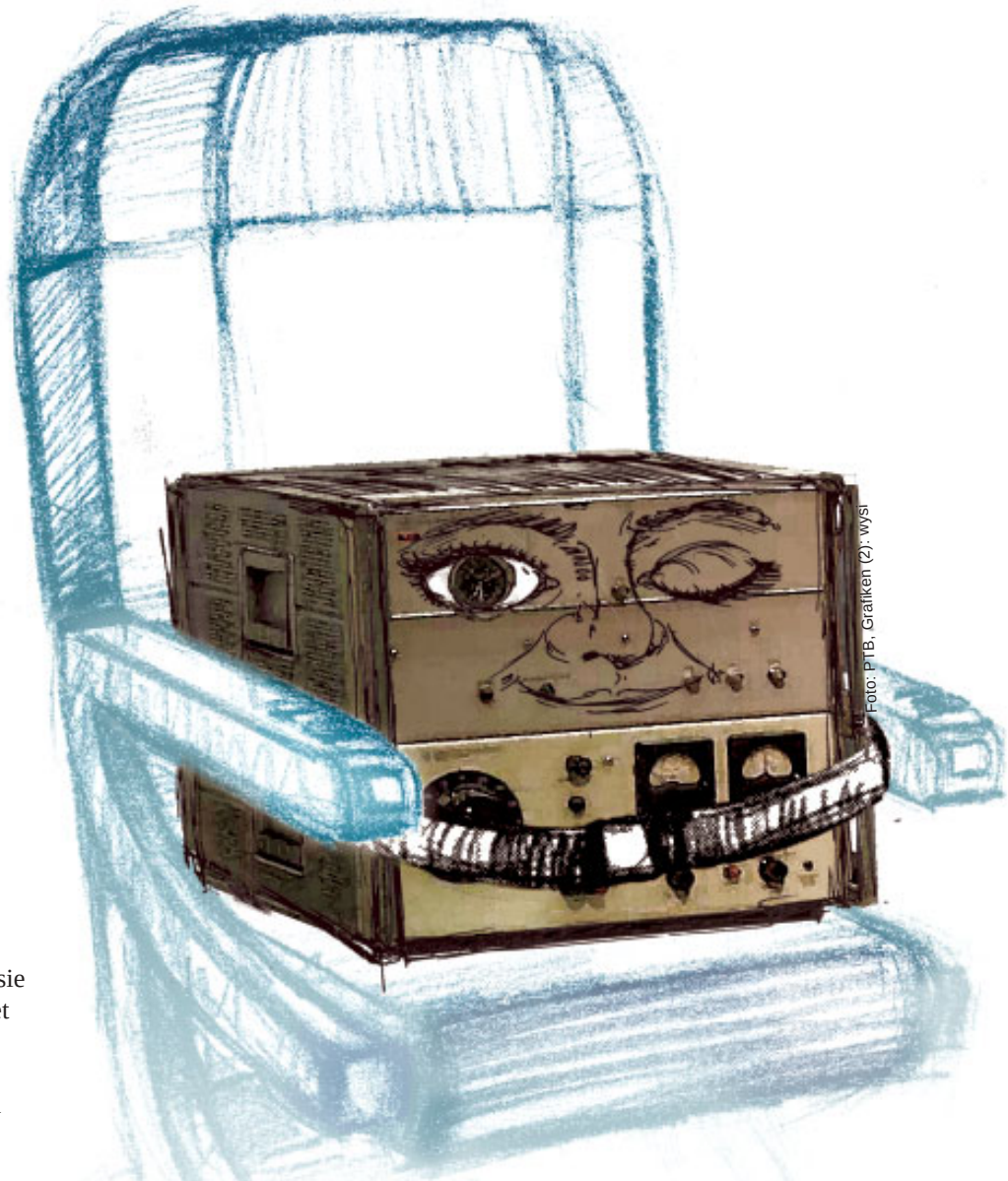


Foto: PTB, Grafiken (2): wysi

C9 war nur kurze Zeit still (ungefähr 200 Mikrosekunden). Dann flüsterte sie mit heiserer Stimme, sie habe schließlich viel Geld gekostet und sei extra für solche Zwecke angeschafft worden. Wind, Wetter und ein paar Turbulenzen seien da inklusive. „Hast du dich mal gefragt, wie die Uhren in die GPS-Satelliten kommen? Die fliegen mit Raketen ins All und funktionieren immer noch.“ Ich hörte einen bitteren Ton in ihrer Stimme und erfuhr, warum.

C9 erzählte mir, nachdem wir uns nun kennengelernt hatten und sie ohne Gurt auf ihrem Sitz hockte, dass sie diese Reise vor 21 Jahren schon einmal gemacht hatte. Über Dallas und Mexiko City war sie damals für die PTB in die Zeitlaboratorien von südamerikanischen Ländern geflogen und hatte sich die Zeit der dortigen genauesten Uhren angeschaut. Danach ist nie wieder eine Uhr der PTB auf große wissenschaftliche Reise gegangen: Der Uhrenvergleich funktioniert bei großen Strecken inzwischen besser und vor allem einfacher per GPS. Doch weil C9 so sehr unter Fernweh litt, hatte man ihr zum Dienstjubiläum diesen Trip geschenkt.

„Ich werde meine Reiseerlebnisse auffrischen“, flüsterte C9 verschwörerisch, „und ohne Tabus ein Buch darüber schreiben.“ Eine erstaunliche Idee, dachte ich anfangs. Was kann eine Uhr auf Reisen schon Nennenswertes erleben? „Ich habe all die relativistischen Einflüsse erlebt, ich habe sie genauestens vermessen! Und fast verstanden!“, rief C9. „Das hat sonst fast keiner!“ Und mich hatte sie auserkoren, ihr Ghostwriter zu sein.

Nach dem Essen fragte ich sie also, welche relativistischen Einflüsse sie nun spüre. „Welche spürst du denn?“, fragte sie entrüstet. Meine Beine waren etwas schwer, aber ich wusste nicht, ob das ein relativistischer Effekt war. C9 sah mich an, als ob sie nicht glauben wollte, dass man so blöd sein kann.

Zeitskalen abzugleichen, indem man eine Uhr in ein fremdes Land fliegt und sie mit der dortigen Uhr vergleicht – erklärte sie dann doch sehr geduldig –, ist nicht so einfach. Zumindest, wenn dieser Vergleich auf einige milliardstel Sekunden genau sein soll. Denn die Theorien von Einstein erklären Zeit als etwas, das nicht überall gleich ist, und die Probleme, die eine Uhr deshalb auf Reisen bekommt, heißen „relativistische Einflüsse“. C9 erklärte mir zuerst den Einfluss der Höhe: „Hier oben auf Flughöhe gehe ich während dieses Fluges insgesamt 42 milliardstel Sekunden schneller, als wenn wir direkt über der Erdoberfläche fliegen würden“. Die Zeit, sagte sie, vergehe schneller, wenn man weiter weg ist von großen Massen wie der Erde. Natürlich möchte man aber Zeitangaben vergleichen, die sich auf die Erdoberfläche beziehen.

Das war aber nur die eine Seite. Denn gleichzeitig vergeht die Zeit in bewegten Systemen laut C9 und Einstein langsamer, und so ein Flugzeug ist ja ziemlich bewegt. 11 milliardstel Sekunden kamen bei unserem Flug zusammen. Das fand ich bizarr. Ich stellte mir das etwa so vor: Der eine relativistische Einfluss zieht an den Zeigern einer Uhr, der andere bremst sie. Natürlich wusste ich, dass C9 keine mechanische Uhr mit Zeigern ist, sondern eine mit angeregten Atomen und Schwingungen. Im Prinzip, dachte ich, muss es aber so sein: Einer zieht, einer bremst das Uhrwerk.

Stimmt aber nicht. C9 blinkte vorwurfsvoll. „Nichts in mir wird gebremst oder gezogen – die Zeit selbst ist anders.“ Deshalb kann C9 eigentlich gar nicht spüren, wie die relativistischen Korrekturen wirken. Auch sie sieht den Unterschied erst, wenn sie wieder nach Hause gekommen ist. „Das war damals spannend!“, rief sie. „Als ich von der Reise zurück kam und der Zeitunterschied zu meiner Vergleichsuhr in der PTB sichtbar wurde, da waren alle neidisch auf meine relativistischen Abweichungen!“

Sie müsse wohl 42 milliardstel Sekunden minus 11 milliardstel Sekunden gleich 31 milliardstel Sekunden vorgegangen sein, wandte ich etwas vorschnell ein und hatte einen empörten Redeschwall am Hals: Dass die Reise in Dallas ja nicht zu Ende gewesen wäre, sondern anschließend noch die Etappen zu den südamerikanischen Stationen einberechnet werden müssten, dass ich vergessen hätte, den Rückweg mitzuzählen und dass es außerdem noch einen dritten relativistischen Einfluss gebe, den so genannten Sagnac-Effekt, der damit zusammenhängt, welchen Weg über der rotierenden Erde man nimmt. Bis zur ersten Landung in Dallas würde dieser dritte Effekt die Zeit um weitere 21 milliardstel Sekunden ver„schnellen“ – auf insgesamt 52 milliardstel Sekunden.

Vor lauter Zeitabgleichen fielen mir, als wir schon fast am Ziel waren, die Augen zu. Plötzlich schwamm ich durch einen Raumzeitbrei, der dünn und transparent wurde, wenn ich nach oben schwamm, und der cremiger und undurchdringlicher wurde, je schneller ich mich bewegte. Leider kam der Sagnac-Effekt im Traum nicht vor, ich hätte ihn gern mal in einem einfachen Bild erlebt …

Ich muss unbedingt C9 fragen, ob sie auch manchmal relativistische Zeitträume hat! Gerade ist sie nicht hier, denn inzwischen sind wir in Rio de Janeiro, und sie besucht ihre alte Bekannte, die Cäsiumuhr im Observatório Nacional, um über die alten Zeiten zu plaudern. Ich warte draußen und vertreibe mir die Zeit mit meinem Laptop und dem Anfang der Zeitreise-Chronik. Es gefällt mir ziemlich gut hier. Und das Beste überhaupt: Wir sind euch in Deutschland mächtig in der Zeit voraus – C9 sagt: ziemlich genau um 176 milliardstel Sekunden.

Euer Zeitchronist (Julia Förster)

Foto: Julia Förster

Die Radio-Uhr

Wenn Archäologen, Geologen oder Kosmologen streiten, dreht es sich häufig um das Alter von Fundstücken. Radioaktive Bestandteile helfen bei der Datierung.

Elfenbeinskulpturen aus der Vogelherdhöhle (von links: Mammut, Löwe, Pferd)

Zunächst dachte Pieter Grootes, Professor am Leibniz-Labor für Altersbestimmung und Isotopenforschung der Universität Kiel, er hätte sich geirrt. Auf höchstens 5000 Jahre brachte es seinen Messungen zufolge der Menschenschädel, der aus der Vogelherdhöhle auf der Schwäbischen Alb stammte. Doch Kontrollmessungen bestätigten den Befund. Ein Schock für viele Archäologen. Jahrzehntelang waren sie davon ausgegangen, der zum Schädel gehörende Mensch hätte zig Jahrtausende früher gelebt. Schließlich lagen seine Gebeine neben filigranen Skulpturen aus Mammut-Elfenbein, die aus der jüngeren Altsteinzeit stammen und demnach rund 35 000 Jahre alt sind. Als das Skelett auftauchte, hatte man vermutet, jetzt den dazugehörigen Künstler gefunden zu haben – und damit einen Beweis dafür, dass anatomisch moderne Menschen die ersten Kunstschaffenden Europas waren. Nun, da klar ist, dass dieser Mensch in einer viel späteren Zeit dort begraben wurde, ist die Frage wieder offen: Waren die ersten Künstler etwa doch Neandertaler? Zwar gelten sie gemeinhin als etwas tumb, waren aber doch zweifelsfrei zur richtigen Zeit im Schwabenländle.

Je weniger C-14, desto älter

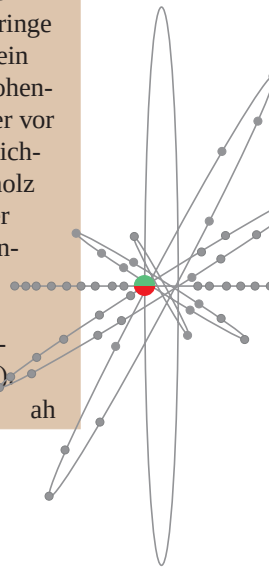
Um das Alter von Gebeinen oder Holzfunden zu bestimmen, benutzen die Wissenschaftler wie Grootes die Radiocarbon-Methode. Dabei schauen sie quasi auf eine naturgegebene Uhr, die in allen organischen Materialien tickt. Sie beruht auf dem Zerfall natürlicher radioaktiver Kohlenstoffatome. Diese C-14-Isotope haben eine etwas umständliche Entstehungsgeschichte. Es beginnt mit Stickstoff-Atomen (N-14, also sieben Protonen und sieben Neutronen im Kern) in der Erdatmosphäre. Kollidiert ein solches Stickstoff-Atom mit einem freien Neutron aus dem All, dann schleudert das Neutron aus dem Stickstoff-Kern ein Proton heraus und setzt sich an dessen Stelle. Das Ergebnis ist ein Atom, das ein Proton weniger und ein Neutron mehr besitzt. Da aber die Zahl der Protonen dafür verantwortlich ist, um welches Element es sich handelt, haben wir nun plötzlich Kohlenstoff vor uns (C-14, mit sechs Protonen und acht Neutronen im Kern). Es ist ein „wackeliges“ Atomkonstrukt, das früher oder später wieder zu Stickstoff zerfällt.

Statistisch gesehen kommt ein C-14-Atom auf ungefähr 1000 Milliarden „normale“, nicht-radioaktive C-12-Atome (sechs Protonen und sechs Neutronen im Kern). Beide Kohlenstoffsorten gelangen über Atmung, Nahrung oder Photosynthese ständig in alle lebenden Organismen. Dabei bleibt der C-14-Anteil ein Leben lang gleich, denn Zerfall und Nachschub halten sich die Waage. Erst wenn nach dem Tod der Kohlenstoff-Nachschub versiegt, verringert sich der C-14-Gehalt im Organismus stetig. So beginnt die Kohlenstoff-Uhr just in dem Moment zu ticken, in dem ihr Träger das Zeitliche segnet. Nach 5730 Jahren, der Halbwertszeit von C-14, ist nur noch die Hälfte der strahlenden Atome übrig.

Eichen mit Eichen

In den letzten Jahrtausenden hat sich der Anteil radioaktiven Kohlenstoffs in der Atmosphäre mehrfach leicht geändert. Diese Änderungen müssen bei Altersbestimmungen mit der Kohlenstoff-Uhr berücksichtigt, also die Uhr quasi nachgestellt werden. Schließlich bestimmt der C-14-Gehalt der Atmosphäre, wieviel radioaktiver Kohlenstoff über den Stoffwechsel in alle Lebewesen gelangt. Wissenschaftler ermitteln den atmosphärischen C-14-Anteil vergangener Zeiten, indem sie den Kohlenstoffgehalt von Holzfunden bekannten Alters analysieren. Dafür steht ihnen eine Menge Holz zur Verfügung, denn viele Funde lassen sich anhand der Zahl der Baumringe exakt datieren: jeder Ring ein Jahr. An der Universität Hohenheim haben Wissenschaftler vor allem Eichen-, aber auch Fichten-, Kiefern- und Tannenholz datiert. Das Ergebnis ist der Hohenheimer Jahrringkalender. Er erfasst die letzten 12 500 Jahre und ist damit der „älteste“ Jahrringkalender der Welt (s. Bild rechts).

ah



Fotos: Jensen, Universität Tübingen

Die Kieler Wissenschaftler um Grootes können genau feststellen, wie viele C-14-Atome in totem Material vorhanden sind. Als Messinstrument dient ihnen ein Beschleuniger-Massenspektrometer. In dessen zwölf Meter langem Metalltunnel werden die in der Probe enthaltenen Kohlenstoffatome elektrisch aufgeladen und in einem Spannungsfeld von zweieinhalb Millionen Volt durch den Tunnel torpediert. Dort wirken mehrere Magnetfelder auf die Teilchen ein und sortieren sie: Sie lenken alle Teilchen ab, jedoch die leichteren C-12-Atome stärker als die schwereren C-14-Atome. Die Forscher kennen die Flugbahnen der Teilchen genau und können sie an den passenden Stellen mit Teilchenzählern abfangen. Aus Messergebnis und Halbwertszeit errechnen sie schließlich das Alter der Probe. „Mit der Radiocarbon-Methode erreichen wir eine Genauigkeit bis zu 25 Jahren, je nach Alter der Probe“, sagt Grootes. „Und wir können bis zu 50 000 Jahre alte Fundstücke datieren.“ Der Blick in die Vergangenheit reicht damit rund 10 Halbwertszeiten weit.

Uhren aus Sand und Asche

Wollen Forscher das Alter von noch älteren Materialien wie Meteoriten und irdischen Gesteinen wissen, bleibt ihnen in der Regel nichts anderes übrig, als Isotope mit langen Halbwertszeiten zu nutzen. Zum Beispiel Kalium-40: Nach über einer Milliarde Jahren ist noch die Hälfte der radioaktiven Kalium-Teilchen vorhanden. Als Stunde Null gilt der Moment, in dem flüssiges Gestein oder Lava erstarren. Danach ist das gasförmige Zerfallsprodukt Argon im Gestein gefangen. Das Mengenverhältnis der beiden Substanzen lässt sich wie bei der Kohlenstoff-Uhr massenspektroskopisch ermitteln.

Ein Teil des Hohenheimer Jahrringkalenders

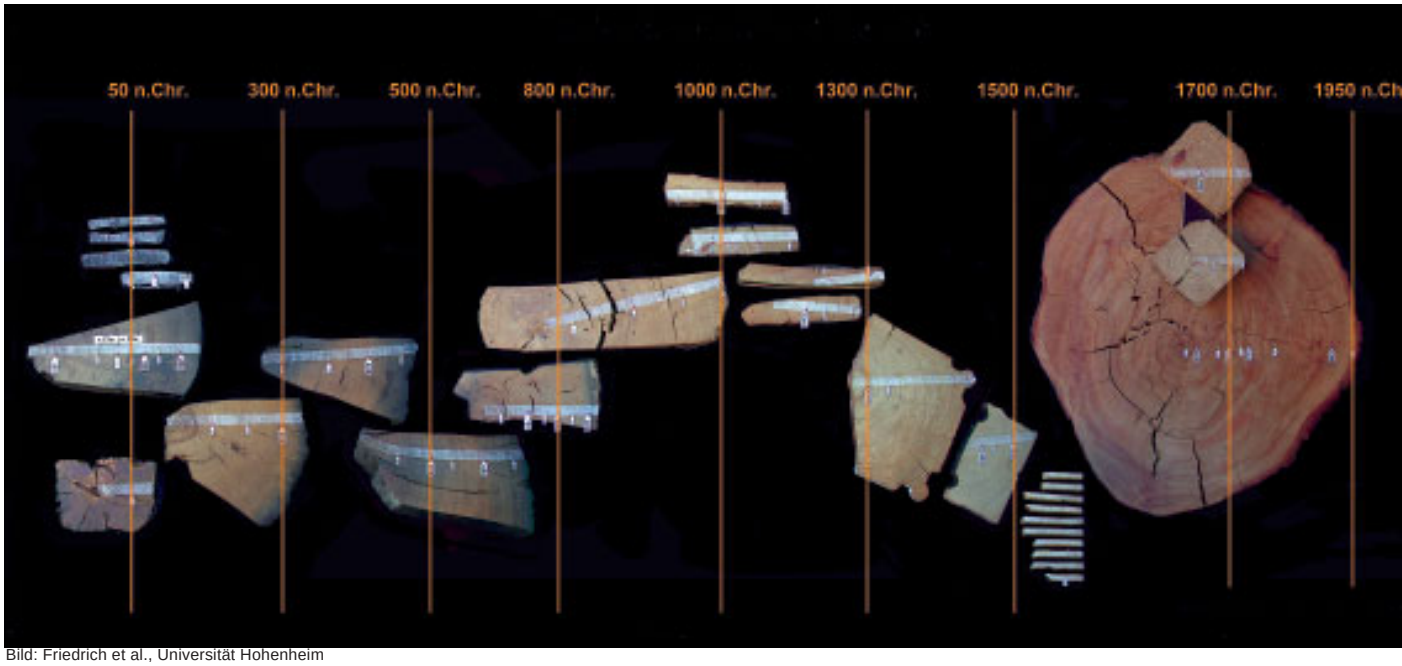


Bild: Friedrich et al., Universität Hohenheim

Die Natur hält etwa ein Dutzend solcher Radio-Uhren für Altersbestimmungen vor. Selbst das Alter des Universums lässt sich über den Zerfall sehr langlebiger Radio-Nuklide (etwa Thorium-232 oder Uran-238) abschätzen. Es ist danach etwa 12,5 Milliarden Jahre alt. Allerdings könnten es auch drei Milliarden Jahre mehr oder weniger sein.

„Wir stellen die Uhren“

Mangelnde Genauigkeit ist zweifelsohne eine große Schwäche vieler Radio-Uhren. Das liegt nicht zuletzt an ungesicherten Halbwertszeiten. Ein Fall für die Physiker der PTB in Braunschweig. „Wir stellen hier die Uhren“, sagt Herbert Janßen, der den Fachbereich Radioaktivität leitet. Sein Mitarbeiter Karsten Kossert hat sich gerade die Kalium-Uhr vorgenommen. Die Literaturangaben für die Halbwertszeiten von Kalium-40 schwanken um unglaubliche 200 Millionen Jahre. Die PTB-Methoden bringen etwas mehr Klarheit:

Foto: www.okerland-archiv.de

Sie können die Halbwertszeit zumindest bis auf 3 Millionen Jahre eingrenzen – womit die Unsicherheit unter drei Promille liegt. Um ein solch genaues Ergebnis zu bekommen, löst Kossert Kaliumsalze in einer Flüssigkeit auf und stellt die Lösung dann in einen koffergroßen grauen Kasten, den Flüssig-Szintillationszähler. Die Elektronen, die beim Zerfall des radioaktiven Kaliums emittiert werden, bringen die Moleküle in der umgebenden Flüssigkeit zum Leuchten. Der Lichtblitz ist nur sehr schwach und muss daher im Szintillationszähler über eine Art Verstärker in ein messbares elektrisches Signal übersetzt werden. Aus der Menge der eingebrachten radioaktiven Atome und der Zahl der gemessenen Zerfälle kann Kossert die Halbwertszeit ermitteln. Kann er sicher sein, dass gerade er zum richtigen Ergebnis kommt? „Genau weiß das natürlich niemand“, räumt Kossert ein, „es gibt aber Forschergruppen, die das Ergebnis bestätigen.“ Der PTB-Physiker nutzt bei seinen Experimenten ein neues Verfahren, mit dem er berechnen kann, wie viele Ereignisse tatsächlich nachgewiesen werden. Denn nicht alle Zerfälle führen zu einem ausreichenden Lichtblitz. Andere verstecken sich im toten Winkel der Anlage.

Trotz immer genauerer Datierungsmethoden dürfte noch genug Unklarheit für inspirierende Spekulationen bleiben. Nur selten liegen die Dinge so einfach wie bei dem Skelett eines Menschen, das die Polizei in Pieter Grootes Labor nach Kiel brachte. Offenbar war der Mensch mit einem Beil-ähnlichen Gegenstand erschlagen worden. Die Frage war nur: Wann? Grootes konnte schnell klären: „Dieser Mord findet keinen Kläger mehr“, sagt er. Das Opfer starb etwa 400 nach Christus.

Andrea Hoferichter

Herbert Janßen vor einer Radionuklid-Karte, auf der alle Elemente mit ihren verschiedenen Isotopen verzeichnet sind

Wettlauf der Flops

In der Welt der Computerfachleute bedeuten Flops nichts Negatives – ganz im Gegenteil: Sie sind das Maß aller Dinge, wenn es um die Schnelligkeit der Informationsverarbeitung geht.

Wieviel Information passt in eine Sekunde? Zurzeit: 136 800 Milliarden Rechenschritte eines ganz bestimmten Typs, genannt Fließkommazahlen-Operationen, kurz: Flops. Mit seinen etwa 137 Teraflops ist BlueGene/L in Kalifornien der schnellste Rechner der Welt. Stand: Sommer 2005. Aber der nächste Konkurrent steht schon in den Startlöchern. Denn die Superrechner (oder vielmehr deren Konstrukteure) liefern sich einen atemlosen Wettlauf. Alle sechs Monate wechselt die Spitzenposition in der Top-500-Liste der Supercomputer.

Der schnellste Rechner der Welt

BlueGene/L wurde am Lawrence Livermore National Laboratory in Zusammenarbeit mit IBM gebaut. Er dient unter anderem dazu, die Abläufe bei der Protein-Faltung zu simulieren und so bei der Suche nach neuen Medikamenten zu helfen. Simulationen sind die Hauptaufgabe der Supercomputer. Als vor rund 30 Jahren der erste von ihnen auf den Markt kam – die legendäre Cray 1–, stürzten sich vor allem Meteorologen und Klimaforscher darauf, um ihre Wettervorhersagen zu verbessern oder die Auswirkungen des Treibhauseffekts abzuschätzen. Heute erobern Simulationen immer neue Disziplinen. Supercomputer imitieren Crash-Tests oder Strömungen um Flugzeugflügel und machen damit aufwendige Messreihen oder teure Prototypen überflüssig. Sie liefern Informationen über die Elektronenbewegungen in neuen Quantenmaterialien oder über die molekularen Abläufe bei chemischen und biologischen Reaktionen und helfen den Wissenschaftlern abzuschätzen, ob sich weitere, zeitintensive Experimente überhaupt lohnen.

Der schnellste Rechner Europas

Das MareNostrum in Barcelona schafft 27,9 Teraflops. Im nächsten Jahr wird ein Rechner des Leibniz-Rechenzentrums in München vermutlich noch schneller sein. Mit 33 Teraflops simuliert er die verschiedensten Probleme in Physik, Materialforschung, Strömungsdynamik, Astrophysik, Chemie, Geo- und Biowissenschaften.

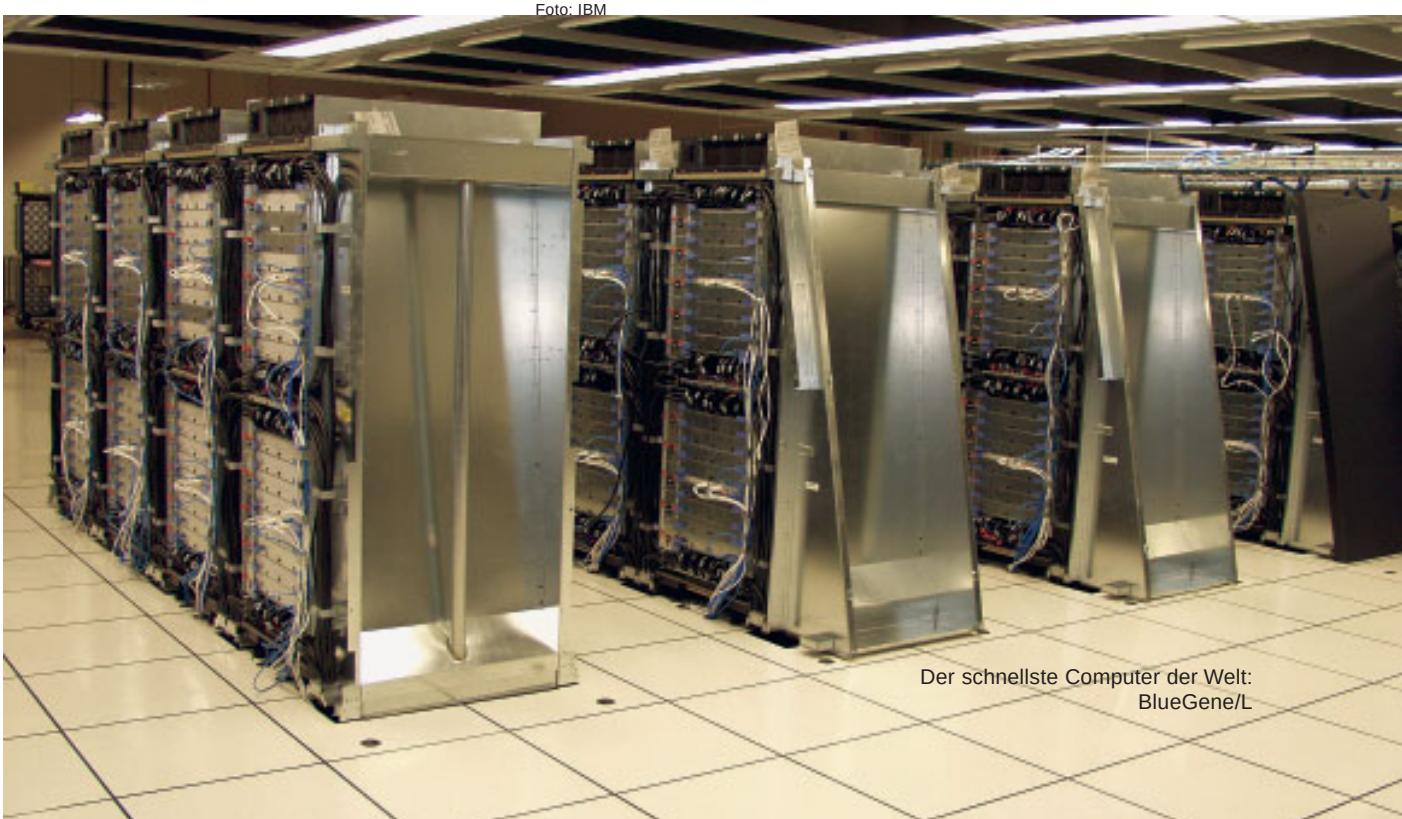
Die meisten Großrechner in einem europäischen Land

Da ist Deutschland Spitze: „In der neuen Top-500-Liste gibt es allein 40 deutsche Rechner. Das ist, was die Anzahl der großen Rechner betrifft, die Spitzenposition in Europa. Auch Japan folgt erst danach“, sagt Hans Werner Meuer, Informatiker an der Universität Mannheim. „Es gibt hierzulande auf diesem Gebiet gute Bedingungen für Nanoforscher, Genom-Wissenschaftler oder Autokonstrukteure.“ Meuer hat zusammen mit amerikanischen Kollegen den Linpack-Algorithmus entwickelt, ein riesiges Gleichungssystem, über dessen Lösung sich alle Computer in ihrer Leistung vergleichen lassen. Und er ist auch Mitglied im Bewertungsteam, das kürzlich BlueGene/L an die Spitze der Top-500-Liste gehoben hat.

Der größte deutsche Supercomputer

Im Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart (HLRS) steht ein Elektronengehirn des japanischen Konzerns NEC, das 12,6 Teraflops schafft. Er ist ein so genannter Vektorrechner, der mit insgesamt 576 Prozessoren speziell auf die Anforderungen der Ingenieurwissenschaften zugeschneidert ist. Michael Resch ist mit seinem Team erst vor wenigen Wochen in das neue, glänzende Rechenzentrum aus Stahl und Glas umgezogen. Vom gut gekühlten Rechnerraum – fast so groß wie ein Fußballfeld und Lagerhallen-hoch – führt eine doppelte Klimaschleuse in lange Gänge, die in einem futuristischen Farbenmix aus rosa, grau und gold gehalten sind. Sie enden in Büros voller Monitore, von denen aus der NEC-Rechner gesteuert wird. Hier bedient Resch seine Kunden, die aus der Industrie und aus

Foto: IBM



Der schnellste Computer der Welt: BlueGene/L

Foto: HLRS, Stuttgart

Er gebietet über den schnellsten Rechner Deutschlands: Michael Resch

Der „gesplittete“ Supercomputer

Auch ohne millionenteure Rechner lassen sich komplexe Rechenaufgaben lösen: mit der so genannten Grid-Technologie. Über Datenleitungen, weltweit über das Internet oder innerhalb einer Firma per Intranet, werden kleine Teilaufgaben an Tausende von PCs an normalen Arbeitsplätzen geschickt. Wird dieser Rechner gerade nicht genutzt, startet kein Bildschirmschoner, sondern die kleine Aufgabe kann gelöst werden. Gerade außerhalb der Bürozeiten kann so die vorhandene Rechnerkapazität optimal ausgenutzt werden. Das berühmteste Beispiel eines Grids ist das Projekt SETI@home (SETI: Search for Extraterrestrial Intelligence). Weltweit beteiligen sich über fünf Millionen PC-Besitzer aktiv an der Suche nach Außerirdischen. SETI durchforstet die Daten, die Radioteleskope aus den Weiten des Alls empfangen, nach Spuren von außerirdischer Intelligenz. Das Projekt wurde 1999 gestartet. Derzeit beträgt die gesamte Rechenleistung knapp über 200 Teraflops. Das entspricht fast der doppelten Kapazität von BlueGene/L. Obwohl das Projekt keinen definitiven Beweis für außerirdische Intelligenz lieferte, hat es doch einige Punkte am Himmel ermittelt, die näher analysiert werden müssen.

Viele Firmen, besonders in der Pharma-Branche, nutzen die Grid-Technologie und durchforsten mit Hilfe ihrer zahlreichen Bürorechner Datensätze aus der Forschung, um zum Beispiel Hinweise für neue Medikamente zu bekommen.

Grid-Lösungen sind eine kostengünstige und elegante Alternative zum klassischen Supercomputing. Innerhalb des Grid-Forums (http://www.gridforum.org/) werden regelmäßig neue Projekte, Softwarelösungen zur Aufgabenverteilung und Erfolge diskutiert.

jol

Flops

Computer scheinen viel zu können, aber eigentlich können sie nur eines: Rechnen. Ein Maß für das Rechentempo sind die „Floating-point operations per second“, kurz: Flops (oder auch Flop/s). Gemeint ist das Addieren und Multiplizieren von rationalen (also nicht-ganzen) Zahlen, wie 3,14 oder 1/4 oder $-7{,}1 \cdot 10^{-3}$. Der Begriff „Fließkommazahloperation“ meint dabei, dass die Anzahl der Ziffern vor und nach dem Dezimalkomma nicht festgelegt ist – das Komma „gleitet“ also bei der Rechnung. Mit solchen Zahlen zu operieren ist für einen Computer deutlich zeit-intensiver als das Rechnen mit ganzen Zahlen. Um die Flops eines Computers mit denen eines anderen vergleichen zu können, sind Standard-Programme (wie der Linpack-Algorithmus) mit festgelegten „Rechenaufgaben“ entwickelt worden.

jes

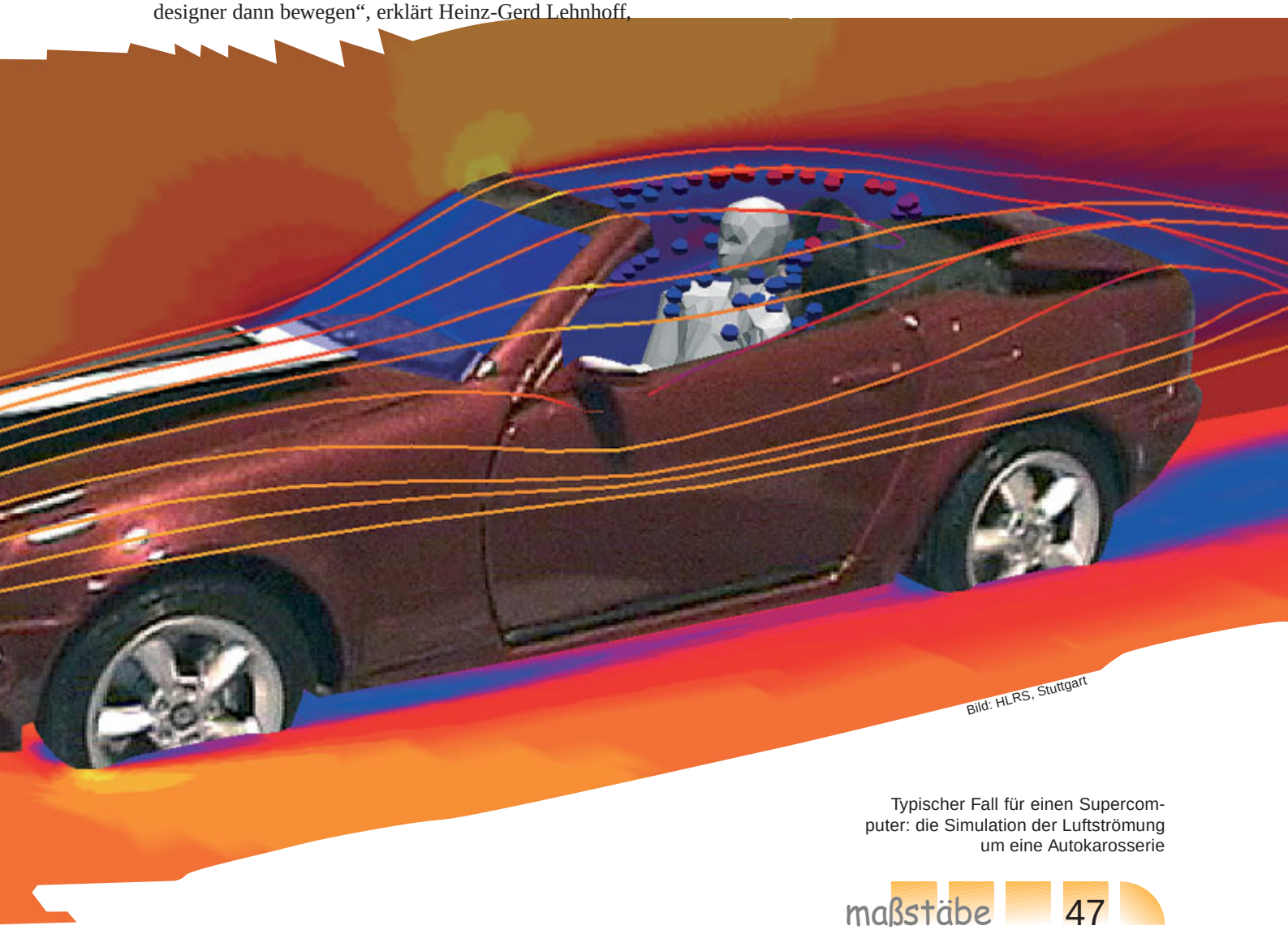
der öffentlichen Forschung kommen. Durch eine Beteiligung an dem 35 Millionen Euro teuren Rechenzentrum haben sich die Autohersteller DaimlerChrysler und Porsche bereits einen Zugriff auf die Rechenleistung gesichert. Doch auch andere Industrieforscher können hier ihre Simulationen laufen lassen. Gegen Bezahlung: Eine Stunde Rechenzeit kostet rund 3000 Euro. „Der Anteil der Industrie an der Auslastung unseres Rechners liegt bei etwa fünf Prozent“, sagt Resch. Die meisten Simulationen werden von Universitätsforschern gebucht, in erster Linie aus Baden-Württemberg, aber auch aus ganz Deutschland: Aerodynamiker, Physiker oder Materialforscher aus Stuttgart, Aachen, Erlangen oder Mainz. Um die Leistung des NEC-Rechners optimal zu nutzen, setzen sich die Rechnerexperten aus Reschs Team vorher mit den Wissenschaftlern zusammen. Denn um eine Simulation in wenigen Stunden abzuschließen, muss der Computer auch mit den richtigen Problemen „gefüttert“ werden. Dazu zieht Resch gerne den Vergleich mit einem Formel-1-Rennwagen heran: „Ein ungeübter Nutzer bleibt immer im ersten Gang.“

Der schnellste reine Industrierechner Deutschlands
Bei der Adam Opel AG simuliert ein IBM-Rechner mit mehr als drei Teraflops unter anderem Luftströmungen rund um die Karosserie. „Die Ergebnisse liefern die Randbedingungen, innerhalb derer sich unsere Autodesigner dann bewegen“, erklärt Heinz-Gerd Lehnhoff, Leiter des Opel-Rechenzentrums in Rüsselsheim. So spart man Kosten für Vorstudien und Prototypen. Auch DaimlerChrysler, Bosch, Airbus, AMD und MTU sind mit kleineren Systemen unter den Top 500 vertreten.

Die preiswertesten Supercomputer
Spezialanfertigungen wie der Rechner am HLRS in Stuttgart werden heute mehr und mehr durch so genannte Cluster-Systeme abgelöst. Sie haben in den letzten Jahrzehnten für einen enormen Preisverfall gesorgt. In diesen Supercomputern schalten und walten Standardprozessoren, wie man sie auch in PCs verwendet. Die Zahl der Cluster-basierten Systeme in der Top-500-Liste ist in den letzten Jahren geradezu explosionsartig in die Höhe geschnellt. Immer mehr Firmen, allen voran Banken und Autohersteller, interessieren sich dafür und können sich die Systeme inzwischen auch leisten: Für eine gute Million Euro ist eine vernünftige Rechenleistung zu haben.

Der zukünftig schnellste Superrechner
Japan, das mit dem Earth Simulator in Yokohama (35,8 Teraflops) zwei Jahre lang die Top-500 anführte, gibt sich nicht geschlagen. So plant die Regierung in Tokio, bis 2011 als erste die magische Petaflop-Mauer mit 1000 Billionen Rechenschritten pro Sekunde zu durchbrechen.

Jan Oliver Löfken



Typischer Fall für einen Supercomputer: die Simulation der Luftströmung um eine Autokarosserie

The Long Now Foundation

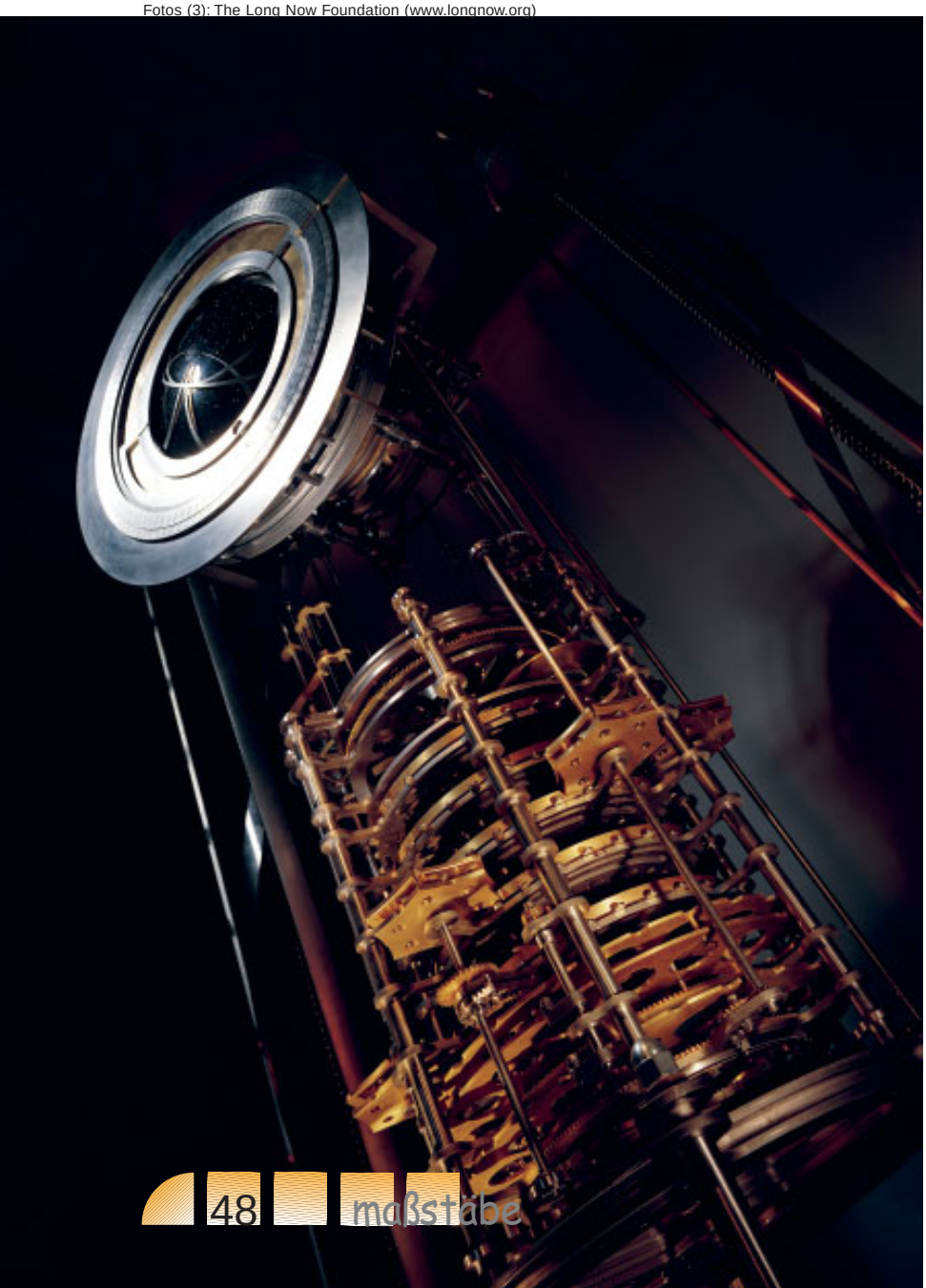
Die Long Now Foundation ist eine Stiftung, die sich 1996 in San Francisco gegründet hat. Sie arbeitet für langfristige Perspektiven in unserem Denken und Handeln. Eines ihrer Projekte ist eine Uhr, die – wie es ihr Konstrukteur formuliert – einmal im Jahr tickt, einmal in hundert Jahren schlägt und deren Kuckuck einmal im Millenium herauskommt.

Nevada. Wüste. Fünf Autostunden nördlich von Las Vegas. Die Geschäftigkeit der Metropole ist einer bizarren Berg- und Wüstenlandschaft gewichen. Die kargen Kalksteinklippen des Great Basin National Park erheben sich 3200 Meter über den Meeresspiegel. Die Bäume – Langlebige Kiefern (lat. Pinus longaeva) –, die sich hier in die Bergrücken krallen, sind die ältesten lebenden Organismen der Welt. Ein idealer Ort für ein Denken in langen Zeiträumen.

Vielleicht sind es Vater und Sohn, die sich auf Pilgerreise begeben haben, nachdem der Sohn alt genug geworden ist, über die Mysterien der Zeit und Zeitlichkeit nachzusinnen.

Sie stellen das Auto in beträchtlicher Entfernung ab, es ist zu schnell. Ein Besuch der Uhr sollte langsam erfolgen. Akklimatisierung im Tempo. Slow down. Sie gehen lange über eine weite Geröllfläche, vorbei an seltsam geformten, vertrockneten Holzstrünken. Am Fuß des Berges erreichen sie eine Treppe im Felsen. Jede Steinstufe symbolisiert 10 000 Jahre geologischer Zeit. Sie steigen etwa eine Million Jahre hinauf und kommen zum Eingang einer alten Silbermine.

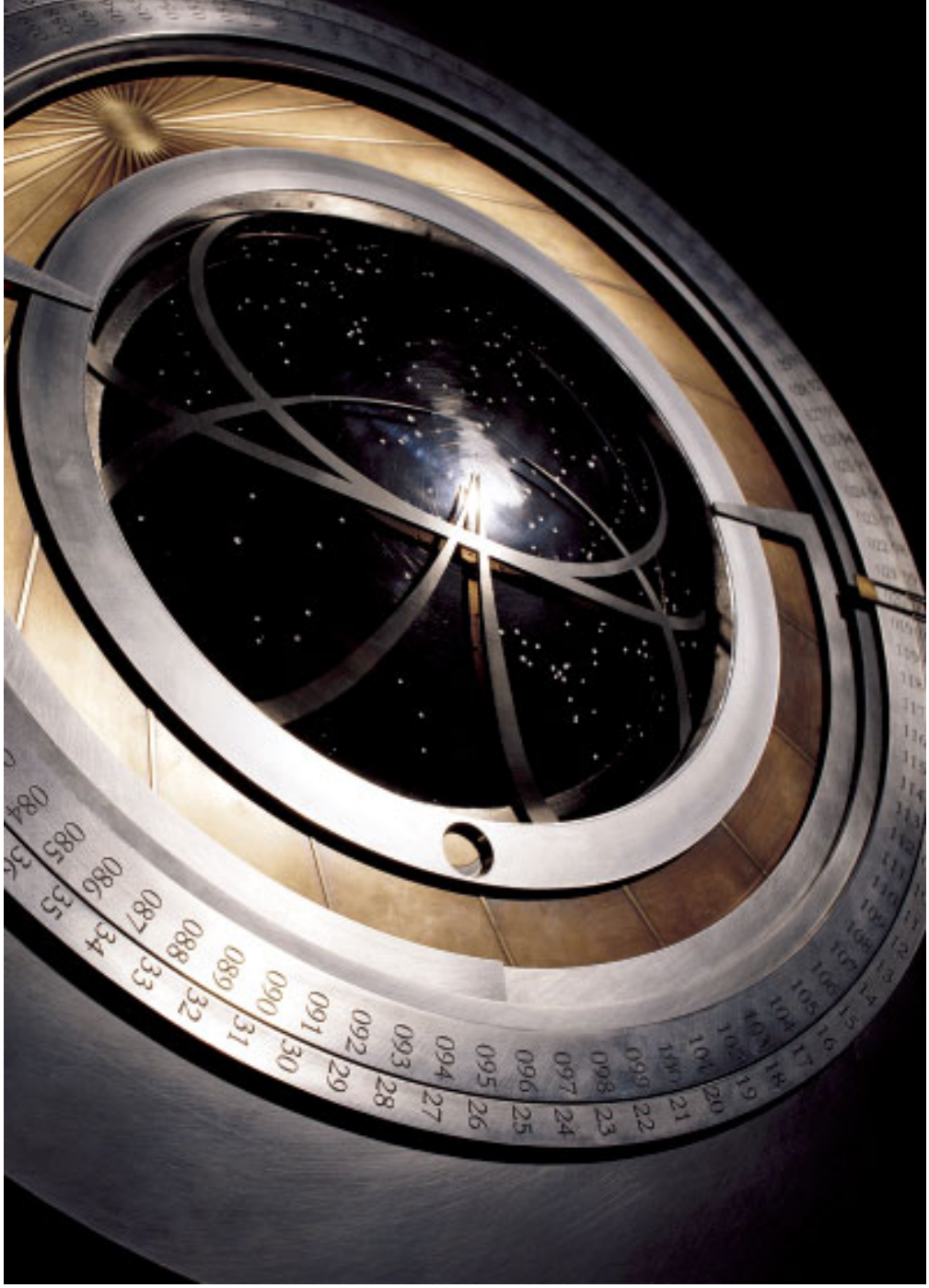
Fotos (3): The Long Now Foundation (www.longnow.org)



Die beiden verschnaufen eine Weile, bevor sie sich in den Stollen hinein wagen. Es ist kein gewöhnlicher Stollen, es ist eine in Stein geschlagene Kathedrale, in der die Uhr steht. Es ist auch keine gewöhnliche Uhr. Es ist ein Wallfahrtsort. Die Dimensionen sind kolossal. Vielleicht 15 Meter in der Höhe, in der Breite raumfüllend. Diese Uhr ist für die unvorstellbare Zeitspanne von 10 000 Jahren ausgelegt. Mit der Höhle betreten sie das Uhrwerk selbst. Alle Teile sind sichtbar. Nirgendwo verbirgt ein Gehäuse die Mechanik. Ihre Augen wandern über die Fülle von metallischen Gestängen, Hebeln und Ringen.

An den beiden Seiten ragen schlanke, runde Metallkonstruktionen in die Höhe. In jeder der Röhren hängt weit oben ein tonnenschweres Gewicht, das durch seine nicht wahrnehmbare Abwärtsbewegung die Uhr antreibt. Sie haben vorher darüber gelesen, dass der Konstrukteur der Uhr, Danny Hillis, das jährliche Aufziehen durch Menschenhand allen anderen Antriebsformen vorgezogen hatte, weil es das Prinzip Verantwortung fordert und fördert. Ein zukunftweisender Gedanke.

Vor ihnen auf Augenhöhe bewegt sich ein waagerechtes Torsions- bzw.



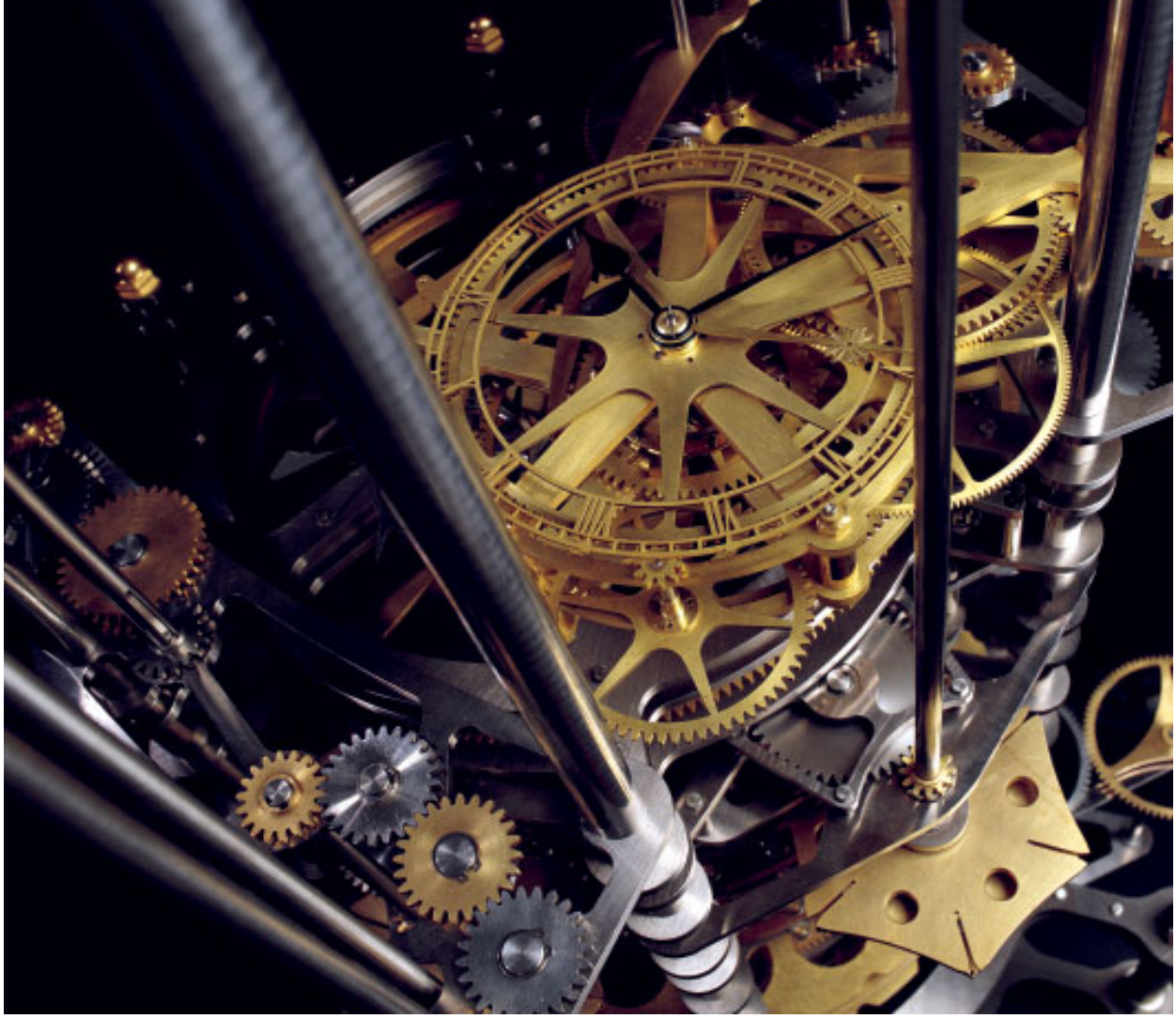
Fotos: Der erste drei Meter hohe Prototyp der Long-Now-Uhr steht im Londoner Science Museum. Die Stiftung arbeitet zurzeit an einem zweiten Prototypen von doppelt so großen Ausmaßen.

Drehpendel, das aus drei Kugeln besteht – der Gangregler der Uhr. Das Pendel schwingt langsam. Zehn Sekunden in die eine, zehn Sekunden in die andere Richtung. Diese Pendelbewegung ist die einzige Bewegung, die Vater und Sohn ausmachen können. Dass die Uhr nicht steht, würde wohl erst der Zeitraffer beweisen. Der Vater erklärt seinem Sohn, dass ein Pendel nicht besonders akkurat sei. Daher verfüge die Uhr über ein Korrektiv bzw. einen Synchronisationsmechanismus. Durch einen Spalt in der Höhlendecke könne einmal am Tag ein Sonnenstrahl eindringen. Das reiche, um die Uhr zu justieren. Selbst wenn die Sonne längere Zeit ausbleibe, funktioniere das Prinzip: Ein nicht verlässlicher Sonnenstrahl justiert einen nicht genauen Frequenzgeber – beide zusammen ergeben über einen langen Zeitraum die genaue Zeit.

Unsere Besucher erklimmen eine Stahltreppe, die über zwei Ebenen bis zur Anzeige hinaufführt. Die erste Plattform befindet sich auf Höhe des Rechenwerks. Trotz der Größe vermittelt der Koloss den Eindruck von Leichtigkeit und Eleganz. Das Rechenwerk ähnelt zwar dem Räderwerk alter mechanischer Uhren: sichtbar sind eine Vielzahl von metallischen Ringen, die übereinander angeordnet sind. Tatsächlich handele es sich aber um einen mechanischen 32-Bit-Computer, sagt der Vater. Berechnungen gelingen damit bis auf ein Viermilliardstel (2 hoch 32 = 4 294 967 296), woraus sich eine extreme Ganggenauigkeit der Uhr ergibt.

Danny Hillis hatte zu seiner Zeit am schnellsten Rechner der Welt gearbeitet. Dann ersann er den langsamsten. Das Patent dafür lautet auf den Namen „Seriel Bit Adder“. Dahinter verbirgt sich ein drehbarer Ring, auf dem Stifte befestigt sind. Ein Stift steht für eine feste zeitliche Bezugsgröße, etwa die 29,53 Tage des Mondzyklus. Durch Umlegen eines einfachen Hebels zählt der Ring diese Einheiten in seriell angeordneten Bits aufwärts. Ein Zähler dreht dann zum richtigen Zeitpunkt den Anzeigering weiter. Alle Anzeigeelemente haben eigene Ringaddierer. Sie übertragen ihre Bewegung nur zweimal am Tag. Dadurch unterbleibt übermäßiger Verschleiß.

Ganz oben stehen Vater und Sohn schließlich einer großen Scheibe gegenüber, die an die Himmelsscheibe von Nebra erinnert. Sie sehen keine Zeiger, sondern eine nachgebildete Himmelsmechanik. Es gibt Ringe für den Stand der Sonne und des Mondes, eine Anzeige für den Horizont sowie in der Mitte eine Darstellung des Sternenhimmels. Und es gibt eine Anzeige für die aktuelle Jahreszahl, anno 02954, in der Darstellung, die üblich war, als die Uhr konstruiert wurde ...



Hier endet die kleine Geschichte*. Aber wie in guter Science-Fiction beruht die Erzählung auf Tatsachen. Es gibt die Silbermine in Nevada, es gibt die Uhr und es gibt das Projekt. Hinter all dem steht eine amerikanische Stiftung – die Long Now Foundation. Das ist eine Gruppe namhafter amerikanischer Computerspezialisten, die sich 01996 in und um San Francisco zusammengefunden haben, um gegen den Trend ihrer Branche das langfristige Denken und Handeln zu fördern. Schon im Jahr 01999 hat die Foundation mit Geldern aus der amerikanischen Computerindustrie das Land in der Wüste von Nevada erworben. Dereinst sollen dort die Uhr und eine Bibliothek zu besuchen sein. Bislang gibt es die Uhr nur als drei Meter hohen Prototypen im Londoner Science Museum. Zurzeit arbeitet Hillis an Prototyp Nummer 2.

Bei dem Projekt Bibliothek geht es um die Paradoxie, dass ausgerechnet unsere technologisch rückständigen Vorfahren uns Botschaften hinterlassen haben, die nunmehr über Jahrtausende Bestand haben. Felsmalereien bzw. Hieroglyphen auf Stein oder auch Bücher aus säurefreiem Papier nutzen Informationsträger, die der Zeit trotzen. Wohingegen das digitalisierte Weltwissen unserer Hightech-Gegenwart keine 20 Jahre haltbar sein dürfte, zumindest wenn es auf gängigen digitalen Speichermedien abgelegt ist. Die Foundation arbeitet daran, auf einer sogenannten Rosetta-Disk Informationen so abzuspeichern, dass sie so lange halten, wie die Uhr tickt, nämlich die nächsten 10 000 Jahre.

Darüber, dass wir in unserer globalisierten Welt dringend langfristige Perspektiven brauchen, dürfte theoretisch Einigkeit bestehen. Es war der amerikanische Philosoph deutscher Abstammung Hans Jonas, der das Prinzip Verantwortung für unsere Umwelt und vor allem für unsere Nachkommen eingefordert hat. Noch zeigen unsere Müll- und Schuldenberge, wie sehr wir unsere Nachkommen belasten. Aber immerhin ist die Nachhaltigkeit auf dem Weg in unsere Köpfe. In den Redemanuskripten unserer Politiker ist sie schon angekommen. Fehlt noch die Praxis. Vielleicht hilft hier ja der amerikanische Pragmatismus der Long Now Foundation, der keine Ideologiekritik liefert, sondern uns einen anderen Zeithorizont anbietet. Ganz im Sinne unseres Außenministers, der in einer seiner Reden ein modernes Analogon zur mittelalterlichen Dombau-Mentalität gefordert hat. Am Kölner Dom wurde über 600 Jahre (1248 bis 1880) gearbeitet. Manche unserer brennenden Gegenwartsprobleme schienen gar nicht so unlösbar, wenn man sie in einem Zeitrahmen von fünfzig oder hundert Jahren anginge.

ROLF BUCHHOLZ

* Die Idee einer fiktiven Reise zur Uhr entstammt einem Bericht von Alexander Rose, dem Executive Director der Long Now Foundation, den dieser dem Finanzamt zusandte, um den Status der Gemeinnützigkeit zu erlangen. (siehe: Stewart Brand, Das Ticken des langen Jetzt. Frankfurt am Main 2000, S. 53).

Zeit für die Masse

Prolog

„Die Zeit flieht. Sie ist nicht greifbar, sie zerrinnt uns zwischen den Fingern. Und doch ist das Tempo, in dem sie sich davonmacht, so exakt definiert wie sonst nichts auf der Welt“, begann 1992 ein Artikel im Magazin der Süddeutschen Zeitung. Zwei Absätze weiter: „Die Masse ruht. Das Kilogramm ist eine sehr behäbige, aber ... ziemlich unberechenbare Größe. Wer genau wissen will, wie schwer ein Kilogramm ist, dem bleibt nichts anderes übrig, als nach Paris zu reisen.“ Diese Sätze über den Unterschied zwischen Zeit und Masse führen mitten hinein in die Arbeit eines exklusiven Zirkels von Experten: Für ein paar Dutzend Forscher weltweit, die ein neues Maß für die Masse suchen, ist die überall mögliche genaue Zeitmessung – Stichwort: Atomuhren – Vorbild und Ansporn.

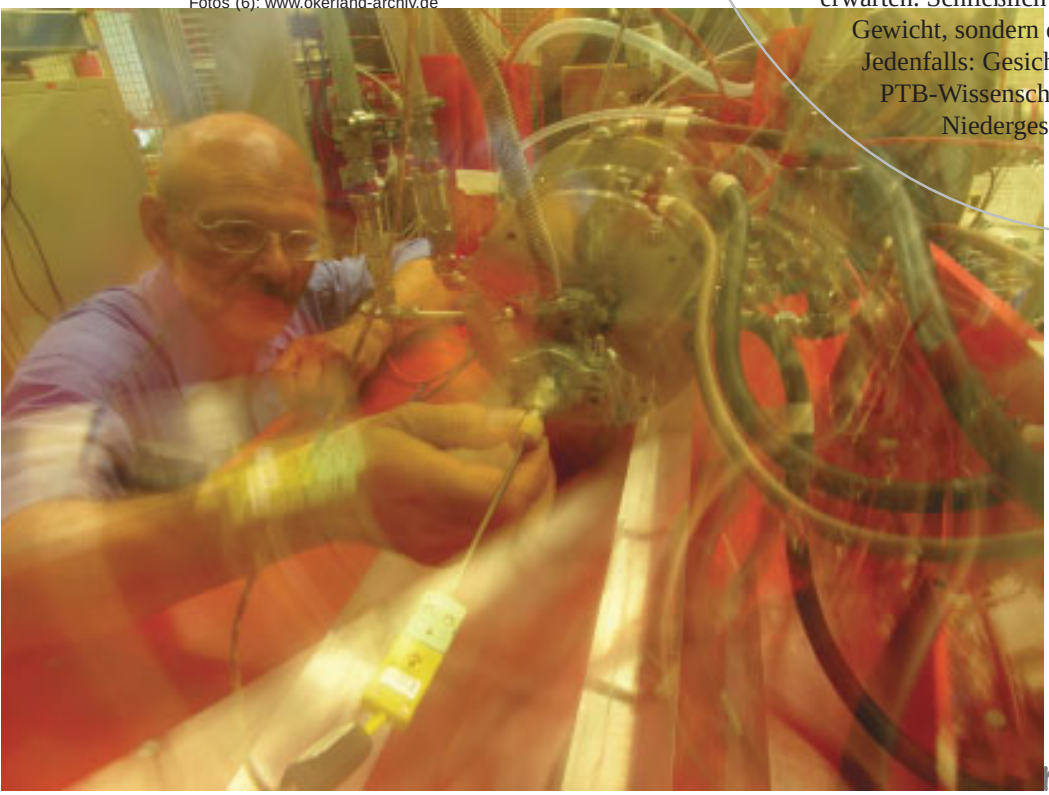
So ergibt sich eine Verbindung zwischen der Zeit – dem Thema dieser *maßstäbe*-Ausgabe – und der Suche nach einer Neudefinition des Ur-Kilogramms. Doch eigentlich steht dieser Artikel aus einem anderen Grund hier: Er handelt von Forschung, die Zeit braucht. Und von einem Wissenschaftler, der seit mehr als 15 Jahren an einem weltweit einzigartigen Experiment arbeitet. Und davon, wie er damit umgeht, dass möglicherweise andere Forscher auf anderem Weg in kürzerer Zeit zum Ziel kommen.

Sie finden die erste Erklärung dafür, warum hier über „Masseforschung“ berichtet wird, überzeugender? Auch gut. Ach ja: Falls Ihnen die Frage auf der Zunge liegt, warum man nur in Paris ermitteln kann, wie schwer ein Kilogramm ist – der Artikel liefert die Antwort.

Braunschweiger Forscher und Pariser Klotz

Dem freundlichen Herrn gegenüber sieht man nicht an, dass er seit fast 20 Jahren mit einem Gewichtsproblem kämpft. Zugegeben – in dem Sinne, der sich einem zunächst aufdrängt, ist dies auch nicht zu erwarten. Schließlich macht Michael Gläser nicht das eigene Gewicht, sondern das des Ur-Kilogramms zu schaffen. Jedenfalls: Gesicht und Haltung des Braunschweiger PTB-Wissenschaftlers liefern keinen Hinweis auf Niedergeschlagenheit darüber, dass er trotz . . .

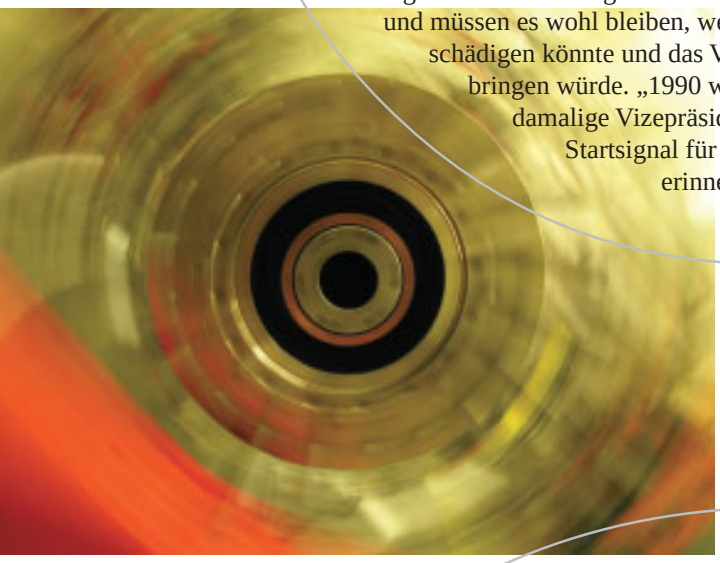
Fotos (6): www.okerland-archiv.de



. . .
jahrelanger intensiver Forschung dieses spezielle Gewichtsproblem noch nicht gelöst hat. Gläser wirkt mit sich im Reinen und begleitet seine bedächtigen Worte oft mit einem Schmunzeln.

„Das Kilogramm beruht im Gegensatz zu den sechs anderen Basiseinheiten des Internationalen Systems nicht auf einer Naturkonstante“, erläutert Gläser den Ausgangspunkt seiner Bemühungen. Das Kilogramm ist gleich der Masse des Internationalen Kilogrammprototyps, lautet die genaue Definition. Dieser Prototyp ist ein Klotz – genauer gesagt: ein Zylinder – aus einer Platin-Iridium-Legierung, der 1885 hergestellt wurde. Seine Masse entspricht der eines Würfels, zehn Zentimeter Kantenlänge, gefüllt mit Wasser. Aufbewahrt wird er in einem Gewölbe eines Pariser Jagdschlösschens – dem Sitz des „Bureau International des Poids et Mesures“ (BIPM) – hinter den Türen eines Panzerschranks. Kaum auszudenken, was passieren würde, wenn er gestohlen oder beschädigt würde. Der Verlust wäre eine Katastrophe für den Zusammenhalt des internationalen Einheitensystems und für die Eichämter in aller Welt – und das gilt trotz der Duplikate, die 1889 angefertigt wurden und von denen viele in den jeweiligen Staatsinstituten als nationale Prototypen dienen.

1990 durchgeführte Vergleichsmessungen zwischen Original und Duplikaten zeigten, dass alle nationalen Prototypen in den hundert Jahren zuvor schwerer geworden sind – im Mittel um 50 Mikrogramm –, was umgekehrt vermuten lässt: Das Pariser Ur-Kilogramm ist leichter geworden. Erklärungen dafür sind reine Spekulation – und müssen es wohl bleiben, weil jede Untersuchung die Metallzylinder schädigen könnte und das Vergleichssystem weiter aus dem Lot bringen würde. „1990 war auch das Jahr, in dem mir der damalige Vizepräsident der PTB telefonisch das Startsignal für mein Experiment gab“, erinnert sich Gläser.



„Das recht beunruhigende Ergebnis der internationalen Vergleichsmessungen lieferte ein Argument mehr, das Experiment durchzuführen – doch der Startschuss fiel unabhängig davon.“

Schon mehr als zwei Jahre zuvor – 1987 – hatte Gläser als Leiter des Labors „Masse“ ein Rezept aufgestellt, wie das Kilogramm mit einer unveränderlichen Größe zu verknüpfen ist, die man nicht verlieren kann. Man sammele eine wägbare Masse – beispielsweise zehn Gramm – Goldatome und vergleiche sie mit einem geeichten Gewichtsstück. Über die Zahl der Atome im Goldklumpen rechne man aus, wieviel ein Atom wiegt. Ein Kilogramm wäre dann definitionsgemäß das Soundsovielfache eines Goldatoms. Doch Gläser war klar, dass es auch mit den besten Apparaturen Millionen von Jahre dauern würde, zehn Gramm Gold Atom für Atom zu zählen. Deshalb, so seine Idee, muss man mit einem Ionenstrahl arbeiten. Denn die Zahl der eingesammelten Ionen lässt sich sehr genau über eine Strommessung bestimmen.

Da er selber keine Erfahrungen mit Ionenstrahlen und ihrer Erzeugung hatte, besuchte er eine ganze Reihe von deutschen und internationalen Instituten, an denen mit dieser Technologie gearbeitet wurde. Er diskutierte seine Ideen mit den dortigen Experten: „Niemand hat mir dabei gesagt: Ihr Experiment funktioniert nicht. Andererseits habe ich immer herausgehört, dass es alle für schwierig hielten“, so Gläser.

Gläsers Konzept, die Masseeinheit exakt festzulegen, ist auch für Laien leicht verständlich – anders als bei anderen Methoden. „Diese Verfahren, an denen schon seit Mitte der 70er-Jahre gearbeitet wurde, hatte ich natürlich im Blick, als ich meine Ideen zum Ionenakkumulationsexperiment entwickelte. Ich sah, dass sie trotz intensiver Forschungsarbeit noch nicht am Ziel waren“, sagt Gläser. Der Physiker räumt ein, dass ihn – vor allem anfänglich – der Gedanke gereizt hat, die etablierten Verfahren zu überholen.

Michael Gläser lässt nicht locker

Inzwischen ist das kleine Team um Gläser von Gold- auf Wismutatome umgestiegen, hat die Ionenquellen verbessert sowie die Kollektoren verändert, in denen das Wismut gesammelt wird – und ist trotzdem noch um viele Größenordnungen von der angestrebten Messunsicherheit von besser als 10^{-8} entfernt. Diese Genauigkeit entspricht einer Abweichung von 1 zu 100 Millionen – so präzise lassen sich die Gewichte von Kilogramm-Prototypen vergleichen. Die konkurrierenden Methoden sind zwar deutlich näher an dieser Marke, haben sie aber auch noch nicht erreicht, trotz zeitlichen Vorsprungs und obwohl jeweils viel mehr Forscher aus unterschiedlichen Institutionen daran arbeiten. Gläsers Experiment ist dagegen einzigartig geblieben. „Heimlich“, sagt er leise lächelnd, „habe ich die Hoffnung noch nicht aufgegeben, dass wir die anderen Experimente noch ein- oder überholen können.“ Ernst werdend, fügt er sofort eine längere Erläuterung hinzu. „Ich habe inzwischen etwas gelernt: Selbst wenn unser Ionenakkumulationsverfahren nicht das ist, auf dessen Grundlage eine Neudefinition des Kilogramms formuliert wird – es kann zumindest eine alternative Realisierung des Kilogramms sein.“ Die Tendenz gehe dahin, die künftige Definition so abzufassen, dass sie mit mehreren Konzepten umgesetzt werden kann.

Hat der Wissenschaftler sich zu Beginn seines Experimentes vor rund 15 Jahren vorstellen können, dass es so lange dauert? Und hätte er es auch gestartet, wenn er die Dauer vorausgeahnt hätte? Die Fragen rufen diesmal sogar ein deutliches Lachen hervor, schon bevor sie zu Ende gestellt sind. „Antwort 1: Nein, das habe ich mir in der Tat nicht vorgestellt. Antwort 2: Ich weiß es nicht. Wahrscheinlich wäre ich eher nicht zurückgeschreckt, denn von der Wichtigkeit dieser Forschung war und bin ich überzeugt“, so Gläser. Immer noch spürt er die Herausforderung und sieht bis heute keine grundsätzlich unüberwindlichen Schwierigkeiten.

Auf die Vergangenheit blickt Gläser bereitwillig zurück – über die kommenden Jahre spricht er lieber. Detailliert legt er dar, warum er nicht daran glaubt, dass die Neudefinition des Kilogramms vor 2015 erfolgen wird. Ausführlich erläutert er, welche Messungen sein Team plant, wie sich das Experiment noch verbessern lässt und wann welche Wegmarken hin zur notwendigen Genauigkeit erreicht sein müssen. Wer den Wissenschaftler so reden hört, vermag sich kaum vorzustellen, dass dieser sich von seinem Experiment trennen könnte. Und doch wird dies im Oktober 2007, wenn Gläser das 65. Lebensjahr vollendet, geschehen. „Natürlich würde ich gerne weiterarbeiten“, sagt er. Doch die Situation ist ihm zusätzlicher Ansporn: „Je weiter wir bis dahin kommen, umso größer ist die Chance, dass dann das Experiment nicht gestoppt wird, sondern von einem Nachfolger weitergeführt werden kann.“

Frank Frick

Wider die Zeit-Diktate

Interview mit Joachim Koch, Philosoph

Menschen, die sich in unserer heutigen, beschleunigten Gegenwart zum „Verein zur Verzögerung der Zeit“ (gegr. 1990, www.zeitverein.de) zusammengeschlossen haben und die mit Elias Canettis Ausspruch „Wenn das Telefon nicht klingelt – ist es für mich“ sympathisieren, sind natürlich per se interessant. Noch interessanter ist es, mit einem Mitglied dieses Vereins zu sprechen. Für die *maßstäbe* besuchten Rolf Buchholz und Jens Simon daher am 23. März 2005 den Philosophen Joachim Koch, der nach den beruflichen Stationen „Leiter einer philosophischen Praxis“ und „Berater für Markenphilosophie“ nun als selbstständiger Philosophie-Unternehmer (www.philosophers-today.com) und Autor in Regensburg lebt und arbeitet.

***maßstäbe**: Herr Koch, wieviel Zeit haben Sie sich heute für Ihr Frühstück genommen?*
Koch: Ich habe in aller Ruhe im Bett einen Kaffee getrunken.

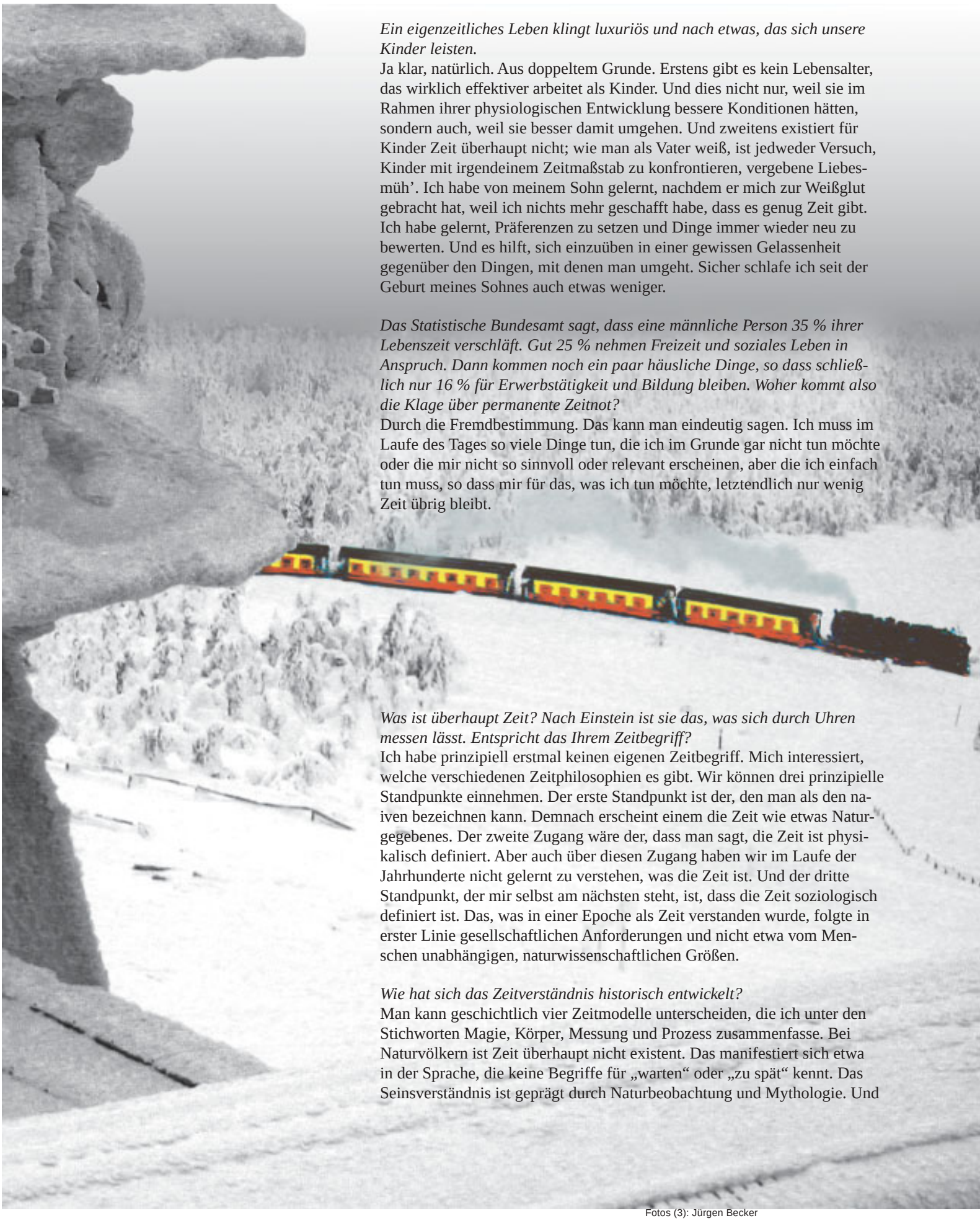
Das klingt nach wenig Zeit.
Nein, ganz im Gegenteil. Ich habe mir mindestens eine Viertelstunde Zeit genommen.

Wir hatten natürlich ein endloses Kaffeetrinken vermutet, schließlich sind Sie Mitglied im Verein zur Verzögerung der Zeit. Was verbirgt sich hinter diesem Verein?
Man kann den Titel des Vereins durchaus programmatisch nehmen. Es geht um die Verlangsamung unseres Lebenstempos. Dahinter steht die Annahme, dass unsere Zeit gar nicht mal so sehr physikalisch als vielmehr soziologisch definiert ist. Denn die Sicht der Zeit ist immer abhängig von der jeweiligen gesellschaftlichen Situation. Und unsere Jetztzeit ist eine, die vielen fremdbestimmten Anliegen unterworfen ist. Die Vereinsarbeit zielt darauf, diese Bedingungen unseres Zeitverständnisses transparent zu machen und gegebenenfalls das Tempo zu drosseln.

Langsamkeit als Problem-Lösung?
Bei manchen Problemen, nehmen wir die Ökokatastrophe, die uns droht, ist Langsamkeit eher nicht die Lösung. Für andere Probleme ist Langsamkeit besser.

Können Sie ein Beispiel geben, wie Sie persönlich Zeit verzögern?
Simpel gesprochen, indem ich immer wieder versuche, meiner Eigenzeit gerecht zu werden.

Was meinen Sie mit Eigenzeit?
Denken Sie an den Spruch: „Der Morgen ist klüger als der Abend.“ Will sagen: Wir befinden uns im Laufe eines Tages oder auch im Laufe des Lebens nicht immer in denselben Zuständen. Eigenzeit heißt erstmal nichts anderes, als dass wir versuchen unseren eigenen Rhythmus zu erkennen und ihm gemäß zu leben und uns eben nicht unkritisch fremden Zeit-Diktaten unterwerfen. Nicht mehr nur funktionieren, sondern selbstgestaltend in unseren Tag und unser Leben eingreifen. Das meint Eigenzeit. Dazu ist zunächst eine gewisse Aufmerksamkeit gegenüber der eigenen inneren Uhr zu entwickeln. Meine innere Uhr sagt mir z. B., dass ich lieber den Morgen als den Abend zum Schreiben nutzen sollte. Morgens sind die Stunden, in denen ich ziemlich klar denken kann.



Ein eigenzeitliches Leben klingt luxuriös und nach etwas, das sich unsere Kinder leisten.
Ja klar, natürlich. Aus doppeltem Grunde. Erstens gibt es kein Lebensalter, das wirklich effektiver arbeitet als Kinder. Und dies nicht nur, weil sie im Rahmen ihrer physiologischen Entwicklung bessere Konditionen hätten, sondern auch, weil sie besser damit umgehen. Und zweitens existiert für Kinder Zeit überhaupt nicht; wie man als Vater weiß, ist jedweder Versuch, Kinder mit irgendeinem Zeitmaßstab zu konfrontieren, vergebene Liebesmüh'. Ich habe von meinem Sohn gelernt, nachdem er mich zur Weißglut gebracht hat, weil ich nichts mehr geschafft habe, dass es genug Zeit gibt. Ich habe gelernt, Präferenzen zu setzen und Dinge immer wieder neu zu bewerten. Und es hilft, sich einzuüben in einer gewissen Gelassenheit gegenüber den Dingen, mit denen man umgeht. Sicher schlafe ich seit der Geburt meines Sohnes auch etwas weniger.

Das Statistische Bundesamt sagt, dass eine männliche Person 35 % ihrer Lebenszeit verschläft. Gut 25 % nehmen Freizeit und soziales Leben in Anspruch. Dann kommen noch ein paar häusliche Dinge, so dass schließlich nur 16 % für Erwerbstätigkeit und Bildung bleiben. Woher kommt also die Klage über permanente Zeitnot?
Durch die Fremdbestimmung. Das kann man eindeutig sagen. Ich muss im Laufe des Tages so viele Dinge tun, die ich im Grunde gar nicht tun möchte oder die mir nicht so sinnvoll oder relevant erscheinen, aber die ich einfach tun muss, so dass mir für das, was ich tun möchte, letztendlich nur wenig Zeit übrig bleibt.

Was ist überhaupt Zeit? Nach Einstein ist sie das, was sich durch Uhren messen lässt. Entspricht das Ihrem Zeitbegriff?
Ich habe prinzipiell erstmal keinen eigenen Zeitbegriff. Mich interessiert, welche verschiedenen Zeitphilosophien es gibt. Wir können drei prinzipielle Standpunkte einnehmen. Der erste Standpunkt ist der, den man als den naiven bezeichnen kann. Demnach erscheint einem die Zeit wie etwas Naturgegebenes. Der zweite Zugang wäre der, dass man sagt, die Zeit ist physikalisch definiert. Aber auch über diesen Zugang haben wir im Laufe der Jahrhunderte nicht gelernt zu verstehen, was die Zeit ist. Und der dritte Standpunkt, der mir selbst am nächsten steht, ist, dass die Zeit soziologisch definiert ist. Das, was in einer Epoche als Zeit verstanden wurde, folgte in erster Linie gesellschaftlichen Anforderungen und nicht etwa vom Menschen unabhängigen, naturwissenschaftlichen Größen.

Wie hat sich das Zeitverständnis historisch entwickelt?
Man kann geschichtlich vier Zeitmodelle unterscheiden, die ich unter den Stichworten Magie, Körper, Messung und Prozess zusammenfasse. Bei Naturvölkern ist Zeit überhaupt nicht existent. Das manifestiert sich etwa in der Sprache, die keine Begriffe für „warten" oder „zu spät" kennt. Das Seinsverständnis ist geprägt durch Naturbeobachtung und Mythologie. Und

Fotos (3): Jürgen Becker

dieses Sein war zeitunabhängig. Hier können wir einfach sagen, das Sein war im Wesentlichen bestimmt durch das, was die Anwesenheit Gottes oder das Eingreifen der Götter bewirkte. Und diese Götter waren immer unberechenbar, insofern gab es da auch nichts zu rechnen im Hinblick auf Zeitfragen. Das Zeitmodell „Körper“ verweist darauf, dass im Anfang ein Zeitverständnis aufkommt, das sich am Lauf der Gestirne orientiert. Die Bewegungen der Planeten um die Sonne geben hier den Takt vor. Mit dem „Maß“ ist die Präzisierung dieser anfänglichen Zeiteinheiten gemeint, also die Zeitspanne von den Römern bis ins Hochmittelalter. Es ging darum, die noch nicht bereinigten Aspekte des Zeitsystems auf die Reihe zu kriegen. Stichwort: Mondjahr und Sonnenjahr divergieren und dergleichen. Also die Zeit der Kalenderreformen und die Zeit der Präzisierungen der jeweiligen Zeiteinheiten. Seit der Aufklärung, aber im besonderen Maße seit dem 20. Jahrhundert, können wir sagen, dass der Prozessgedanke im Vordergrund steht.

Für den Prozessgedanken ist es in erster Linie relevant, nicht mehr die verschiedenen Zeitsysteme miteinander zu koordinieren, sondern die verschiedenen Lebensaspekte, die in Bezug auf die Zeit eine Rolle spielen, in Relation zueinander zu setzen.

Welche Rolle spielt die Technik für den modernen Zeitbegriff? Unsere Lebenswelt, unsere Transportsysteme, unsere Kommunikationsmittel werden immer schneller. Gleichzeitig messen unsere Uhren immer kleinere Zeiteinheiten. Wie hängen die gemessene und die erlebte Zeit zusammen?

Hier können wir grundsätzlich sagen, dass die Technik die Lebenswelt überhaupt erst vorbereitet. Also solange wir nicht in der Lage sind, Uhren zu bauen, die Minuten oder Sekunden angeben können – die Stunde wird erst im 14. Jahrhundert relevant und die Sekunde erst im 18. Jahrhundert –, können wir sie natürlich auch nicht handhaben. Im frühen 19. bzw. 20. Jahrhundert hatten gesellschaftlich-reformierende Kräfte immer die Hoffnung, dass durch die Technik ein Instrument an die Hand gegeben sei, das die Sache zum Positiven wende. Heute können wir eher gegenteilig sagen, die Technik ist im Grunde genommen der Steigbügel für den Fortschritt und der Fortschritt war noch nie für das Sinnfällige unterwegs, sondern für das Profitable.

Stichwort Arbeitswelt. Ist unsere erlebte Zeit, unser Zeitverständnis, durch die Stechuhr am Fabriktor bestimmt?
Wir wissen natürlich, dass es einen engen Zusammenhang gibt. Die Zeit ist mit der Industrialisierung zu einem Wirtschaftsfaktor geworden. Das steckt schon in der einfachen Formel „Zeit ist Geld“. Die Effizienzsteigerung, um die es im Kern geht, spiegelt sich in unserem Arbeitsleben. Denken Sie etwa an extrem operationalisierbare Arbeitsprozesse. Viele Arbeitnehmer können schon gar nicht mehr irgendwie trödeln oder den Arbeitsprozess verschleppen, weil von vornherein klar ist, wie schnell man maximal das, was getan werden muss, tun kann. Entsprechend ist die Zeit schon darauf ausgelegt. Das kann man zwar nicht bei allen Berufen, aber grundsätzlich geht die Bestrebung immer dahin, die Zeit schon vorzugeben und in dieser Verdichtung auch eine Gewinnmaximierung anzustreben.

Wir sprechen vom globalen Dorf. Inwiefern ist die Beschleunigung moderner Lebensverhältnisse eine Überwindung von Raum und Zeit? Und wohin führt uns dieser Weg?
Das gilt, wenn überhaupt, nur für die industriellen Gesellschaften. Die reichen nördlichen Länder haben ganz andere ökonomische, gesellschaftliche und technische Voraussetzungen als die armen südlichen. Die Hektik und Aufgeregtheit folgen ja nur den Maßstäben der reichen industrialisierten Welt. So gesehen haben wir hier zeitbezogene Klassenunterschiede. Die Rede vom globalen Dorf ist eher ein gewaltiger Mythos.

Ist Zeitmanagement eine Hilfe im Kampf gegen die moderne Zeitnot?
In pragmatischer Hinsicht sicherlich. Rückblickend kann man sagen, dass ein Kalender vormals ein Almanach gewesen ist. Da gab es überhaupt nichts, was man hineinschreiben musste. Dieser Almanach war beschrieben. Alles wiederholte sich innerhalb des zirkulären Zeitverständnisses. Erst mit dem 18. Jahrhundert fangen wir an, einen Kalender zu entwickeln, der leer ist. Von dem Augenblick an muss man etwas hineinschreiben, um zu wissen, was an dem und dem Tag zu tun ist. Heutzutage hilft der Timemanager vielbeschäftigten Leuten, nicht den Überblick zu verlieren. Das endet dann darin, dass sie auch den Geburtstag ihrer Geliebten aufschreiben, den sie sowieso im Kopf haben.

Nach Nietzsches Postulat „Gott ist tot“ verbleibt uns nurmehr eine Lebensspanne von ca. 75 Jahren. Gleichzeitig stehen uns unvergleichliche Möglichkeiten offen: Reisen, Bildung, Kultur. Ist unsere Zeitnot ein Stück weit das Missverhältnis von endlicher Lebensdauer und unendlichen Möglichkeiten?
Naja. Auch hier ist eine gewisse Aufgeregtheit zu konstatieren. Man kann ja durchaus auch gegen Ende seines Lebens die Haltung einnehmen, langsam ist’s genug. Als das Leben noch im wesentlichen Mühsal war, war das auch Gang und Gäbe.

Geraten eigentlich auch Philosophen in Zeitnot?
(lacht) Im Allgemeinen nicht, weil sie meistens arbeitslos sind.

Sie schreiben in Ihrem Buch „Megaphilosophie“, dass Figuren wie Robinson Crusoe und Ben Cartwright (Bonanza) keine Freizeit kennen. Wie meinen Sie das?
Freizeit und Urlaub machen erst Sinn, wenn man in einen Arbeitsprozess integriert ist, weil diese Freizeitbegriffe von der Arbeitswelt abhängige Variablen sind. Arbeit ist ein Muss, Freizeit ist ein Wollen. Insofern sind diese beiden Seiten mit anderen Inhalten gefüllt. Und eben das ist für einen Robinson Crusoe und einen Ben Cartwright nicht gegeben. Beide Figuren erfahren keine Entfremdung. Beide müssen sich nicht zurücklehnen und sagen, endlich habe ich jetzt frei, weil beide schon die ganze Zeit über eigenbestimmt und eigenzeitlich organisiert tätig sind.

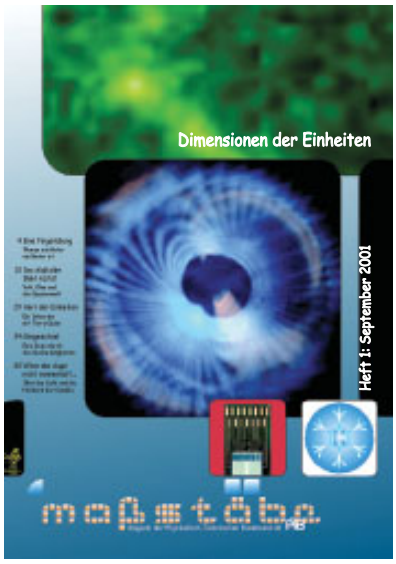
Gibt es Erfahrungen außerhalb der Zeit?
Spontan gesagt: Ja, auf jeden Fall. Zeitlos sind vielleicht die Erfahrungen, nach denen man sich wundert, wieviel Zeit vergangen ist. Was? Sechs Stunden weg? Habe ich gar nicht gemerkt! Und das sind immer so die Punkte, wo es kein Außen und kein Anderes mehr gibt. Da ist man das und nur das.

Herr Koch, leider ist unsere Zeit um. Vielen Dank für dieses Gespräch.

(Das Gespräch führten Rolf Buchholz und Jens Simon)

Leserbriefe

Ab jetzt wollen wir Ihnen die nettesten, kuriosesten, aber durchaus auch kritischsten Lesermeinungen zeigen. Es geht los mit einem Überblick: Leserbriefe zu allen bisher erschienenen fünf Ausgaben der „maßstäbe“.



Nach den ersten Blicken in die Eröffnungsnummer: Glückwunsch für das spannende und anregende Heft! Und zwar uneingeschränkt für Stil, Form, Aufmachung und Themenwahl. Darf ich – zum Spaß – ein Kuriosum anführen? Mir kam bei der Zahl Sieben (als eine Art morphologischer Dimensionszahl der Basiseinheiten) die mystische Bewandtnis mit der Sieben in den Sinn, und dabei fiel mir ein, dass es bei Pauli eine Stelle gibt, in der über eine Herleitung der Zahl 137 für die Feinstrukturkostante aus der Kabbala berichtet wird. (Nur damit Sie sehen, was Sie mit einer so interessanten Titelwahl anrichten können.)
Heinz Lübbig, Berlin, 12.10.2001

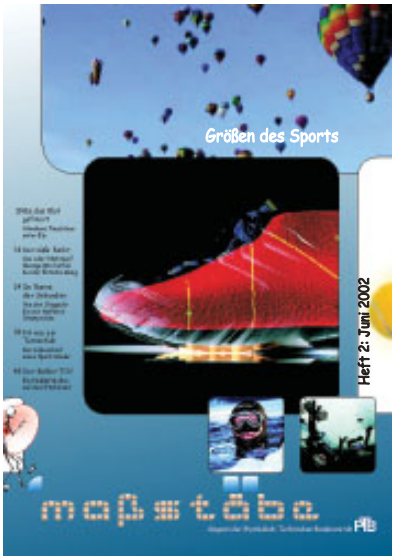
Ich finde die Ausführungsform in diesem ersten Heft 100-prozentig gelungen.
Werner Martienssen, Frankfurt, 16.10.2001

Das Titelbild ist gut, erinnert mich allerdings an die alten Physikbücher von Westermann. Innen hat die Zeitschrift aber keine klare Linie und bricht in (zu) vielen Punkten mit gängigen und aktuellen Gefälligkeitskriterien. Die Texte sind alle gut, teilweise sogar exzellent, ab und an aber zu lang.
Matthias Matzen, Hannover, 8.11.2001

Das Interview zum Urkilogramm habe ich spontan für meine 8. Klasse kopiert. Sie war sehr überrascht zu lesen, dass dieses nicht etwa den Charakter eines Museumsstücks hat, sondern tatsächlich noch heute Messvergleiche damit stattfinden und wie dabei damit umgegangen wird. So hat sich in dieser Klasse ein überaus fruchtbares Gespräch über Messungen im Allgemeinen, über Sinnfälligkeit oder Willkürlichkeit von Einheiten, den Zwang zur internationalen Einheitlichkeit usw. ergeben.
Wolfgang Schwörer, 27.11.2001

Ihr Fachblatt war die erste physikalische Zeitschrift, die meine Frau ohne äußerliche Zwänge (Schule bzw. Studium) gelesen hat. Herzlichen Glückwunsch!
Florian Seidl, Wörth, 31.1.2002

Die Themenauswahl ist hochinteressant, der Umfang der Beiträge angemessen. Die Gestaltung der Seiten hingegen orientiert sich leider völlig überflüssig an den kommerziellen pseudowissenschaftlichen Magazinen. Die Überlagerung von Bild und Text bringt keinerlei zusätzliche Information. Überlassen Sie den Firlefanz den kommerziellen Magazinen, damit müssen Sie nicht konkurrieren.
Johann Holzner, Wörth, 16.02.2002

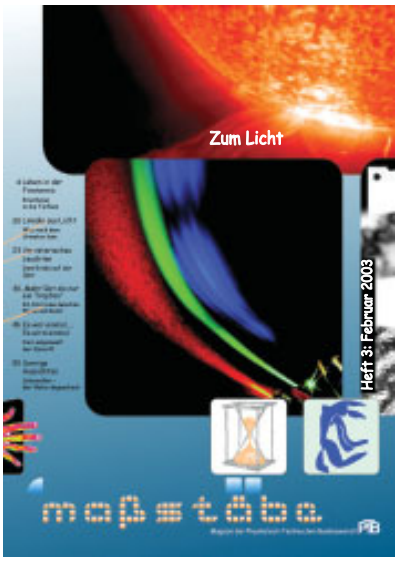


Habe die Hefte hier in der Redaktion in Umlauf gegeben. Respekt, das Heft ist toll, gute Optik, verstehbare Artikel. Schönes Beispiel, wie ein Unternehmen Technologie popularisieren kann.
Wolfgang C. Goede, München, 14.6.2002

Ein ganz dickes Lob. Ihr Magazin ist genau das, was Menschen brauchen, um Interesse an Naturwissenschaften zu finden.
Beatrix Dumsky, Würzburg, 18.6.2002

Eine höchst gelungene Symbiose zwischen Text und Gestaltung. Anregend, anschaulich, angenehm. Dieses Heft (2) der *maßstäbe* setzt Maßstäbe.
Renate Hoffmann, Berlin

Ich hätte nie gedacht, dass die Messtechnik so viele interessante Facetten zu bieten hat, und wünsche euch viele spannende Ideen für die Zukunft. Letztlich leben wir als Physiklehrer von aktuellen und interessanten, motivierenden Themen für die Schüler.
Gerald Hell, Grafenau, 19.7.2002



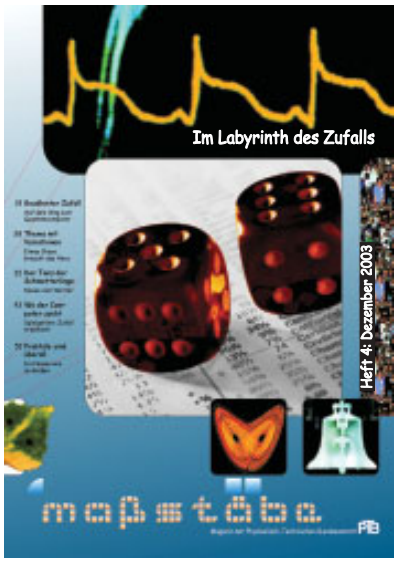
Die Bilder sind wirklich fantastisch – und nach der fünften Seite ungefähr habe ich die Sache mit dem „historischen Ei rechts unten“ auch verstanden. *Doris Engel, Örebro/Schweden, 7.3.2003*

Ich habe die Texte und Fotos quasi „verschlungen“ und bin sehr angetan von Inhalt und Präsentation. Das Heft unterscheidet sich durch hohes Niveau sehr angenehm von den vielen Veröffentlichungen ähnlichen Erscheinungsbildes, die man durchblättert, da und dort mal liest (dabei oft enttäuscht wird) und dann weglegt oder dem Altpapier zuführt. Das Heft über Licht werde ich, nachdem es auch mein Sohn (13. Klasse) gelesen hat, im Bücherregal in die Rubrik „Physik“ einordnen. *Eberhard Riech, Langelsheim, 17.3.2003*

Hochglanz-Umschlag nicht erforderlich. Layout unruhig. Seiten überladen. Überlagerung von Text und Abbildungen störend. Erläuterung der Abbildungen durch Bildunterschriften erforderlich. Besser gut durchgearbeitete Schwarzweiß-Grafiken statt großformatiger Farbfotos von Alltäglichkeiten.
Konrad Murr, Rheinbach, 23.3.2003

Das Konzept dieser Schrift, das auf die Behandlung jeweils eines Themas abstellt und dieses von verschiedenen Seiten her „beleuchtet“, gefällt mir außerordentlich gut. Die Darstellung des Themas ist für mich sehr verständlich und anregend, zudem vom Layout her sehr ansprechend und verlockend. Ich würde mich freuen, wenn Sie diese Linie beibehalten würden.
Peter Becker, Berlin, 15.4.2003

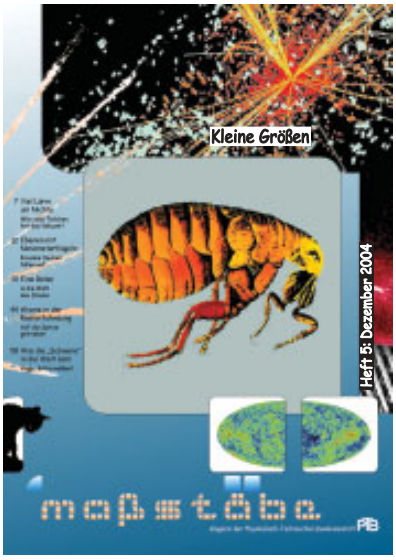
Als Fotograf war ich von der jüngsten Ausgabe „Zum Licht“ angetan, obwohl die fotografische Interpretation der Lichtphänomene oft anders als die physikalische ist. Als Fotografen nennen wir uns Maler mit Licht, anstatt mit Pinsel, Bürste, Stift und Leinwand. Ein Studium der physikalisch-technischen Eigenschaften hat mir neue Aspekte über Licht vermittelt, und ich bin schon darauf gespannt, welcher Thematik das nächste Heft gewidmet sein wird.
Ralf G. Will, Kapstadt/Südafrika, 8.5.2003



Ihre Ausführungen zur Quota-Stichprobe veranlassen mich zu folgender Überlegung: Ein Meinungsforschungsinstitut will wissen, wie viele Kannibalen in Deutschland leben, und befragt entsprechend dem repräsentativen Mikrozensus 1000 Personen. Zufällig befindet sich unter den Befragten ein Kannibale (und gibt dieses menschenverachtende Verhalten auch zu). Dann müsste doch das Institut zu dem Schluss kommen, dass in Deutschland insgesamt 82 000 Kannibalen leben (1 : 1000 · 82 Mio. Einwohner). Eine schreckliche Vorstellung. Oder gibt es bei mir da einen Denkfehler?
Lothar Schulz, Wuppertal, 9.1.2004

Als getreuer Leser Ihrer Zeitschrift *maßstäbe* bin ich auch von Ihrer neuesten Ausgabe „Im Labyrinth des Zufalls“ sehr begeistert. Die Art, wie hier Physik präsentiert wird, die Wahl der Themen und nicht zuletzt das Layout – Ihre *maßstäbe* sind eine runde Sache!
Oliver-Sven Steuck, 10.1.2004

Ganz lieben Dank für den Schatz der *maßstäbe*, in denen ich oft lesen werde – so informativ und so witzig – dann lernt man viel intensiver.
Carin Steinkemper, Frankfurt/Main, 2.2.2004



Die Zeichentrickfigur „Lucky Luke“ gibt sich mit der Beschreibung „der Mann, der schneller schießt als sein Schatten“ bereits als Nano-Techniker zu erkennen. Geht man von einem Abstand zwischen Arm/Hand und dem Schatten von beiden von etwa einem Meter aus, so muss unser Cowboy wohl den Colt in 3 Nanosekunden gezogen haben, bevor der Schatten diese Bewegung weitergibt.
A. Bayer, Oberschleißheim, 17.12.2004

Die *maßstäbe* sind für mich ein Highlight an Anschaulichkeit modernster Forschung, Entwicklung und Fertigung. Ich möchte Ihnen und Ihrem Team großen Respekt und hohe Anerkennung zollen zu solch einer informativen und kurzweiligen Publikation, die unter dem freien (oftmals teuer zu bezahlenden) Wissenschaftsjounalismus ihresgleichen sucht!
Peter Zoffinger, 17.12.2004

(zum Artikel *Manchmal esse ich mein Würstchen ohne Senf – die 21 Gramm der Seele*):
Seit einigen Wochen wiege ich meine Frühstückseier aus. Vor und nach dem Kochen. Und überraschenderweise wogen bisher alle nach dem Kochen und „Abschrecken“ in kaltem Wasser deutlich weniger – jeweils zwischen 250 mg und 350 mg – als vorher. War das nun die Seele der noch ungeborenen Küken? Und wäre das etwa der Nachweis zu der fast religionsphilosophischen Frage, ob Tiere überhaupt eine Seele haben (können)?
Helmut Mügge, 18.12.2004

Ich habe 30 Jahre in der Forschung und in der Lehre auf dem Gebiet der Strömungsmechanik gearbeitet und war eigentlich der Meinung, dass man Physik ohne solide mathematische Kenntnisse nicht erklären oder verstehen kann. Ihre Reihe zeigt mir aber, dass man die meisten physikalischen Zusammenhänge auch ohne Benutzung mathematischer Formeln erklären kann. *Karl-Heinz Baade, Lingen/Ems, 27.12.2004*

Hiermit möchte ich Ihnen für das ausgezeichnete inhaltliche und gestalterische Erscheinungsbild der *maßstäbe*-Hefte danken und Sie dazu beglückwünschen, dass „bild der wissenschaft“ dazu die Jahresempfehlung 2005 ausgesprochen hat.
Rainer Jäkel, Berlin, 12.1.2005

Das Letzte

Eine Sekunde ist eine Sekunde, eine Sekunde . . . eine Sekunde . . .

Meint man. Besonders in der PTB. 9 192 631 770 Schwingungen einer Strahlung, die der Energie-Niveau-Änderung eines Cäsiumatoms entspricht. Physik für Gleichschritt. Enorm!

Mein Körper jedoch empfindet anders: Wie oft tropften die Sekunden gemächlich mit großer Zähigkeit, wenn ich in sehnsüchtiger, freudiger oder auch trauriger Erwartung war? Wie oft hatte ich Mühe, mich am vorbeihuschenden Zeitstrahl festzuklammern, um dran zu bleiben?

Alle diese Zustände unterschiedlichster Zeitwahrnehmung, sie alle wurden x-mal auch von uns „*maßstäbe*-Machern“ erlebt. Manchmal ging’s flott von der Hand (besser vom Kopf), machmal wiederum stritten wir tagelang und nichts schien zu gelingen. Letztendlich gelang es dann doch fast immer, wenn auch anders als vom Einzelkämpfer geplant.

Symbole

Stundenglas

Glas, ständig zeigst wie Zeit zerbröselt.
Zustände werden zerpflückt
in der Enge von Gepflogen-
und Gegebenheiten.
Lebens-Uhr-Sand
unhaltsam fließt
ins Loch der
Illusionen,
sich
sam-
melnd
zum
Berg von
Un- und Erkenntnis,
der rutschend doch sich festigt.
Korn um Korn drängt gegen den
Widerstand uns’rer luftigen Träume,
sich einzureih’n in taumelnd Lebens-Strom.
Beliebig gedreht und gewendet, so stets
ganz unten endet – aller Lebens-Stoff.

Und dann spielt da noch etwas mit: Die Zeitwahrnehmung verschiebt sich mit den Jahren. Obwohl die Sekunden . . . Sekunden PTB-genau gleichmäßig an uns vorübereilen, scheinen sie von Jahr zu Jahr schneller werden zu wollen. Das wähnt der Rückblick, doch der täuscht: Zum einen erlebt ein älterer Zeitgenosse immer wieder Fakten und Abläufe, die man in jüngeren Jahren schon so (oder ähnlich) öfter durchlebt hat. Neuigkeiten für das kognitive System werden rarer. Das Abspeichern lohnt nicht mehr in jedem Fall. Zum anderen unternimmt der Ältere tatsächlich immer weniger, sodass markante Eckpunkte des bewussten oder unbewussten Erlebens seltener werden. Der Rückblick liefert somit Zwischenräume zwischen den abgespeicherten Fixpunktdaten. Diese Räume werden rückwirkend nicht mehr wahrgenommen und täuschen einen beschleunigten Zeitablauf vor.

Der Rückblick in die Geschichte der *maßstäbe* lässt Verzögerungen zu: Ich erinnere mich genau an erste Pläne, eine PTB-Zeitschrift herauszugeben, die nicht nur von eingefleischten Sachkennern wahrgenommen wird. Ich denke an erste Versuche der inhaltlichen und gestalterischen Darstellung, bei denen wir schnell feststellen mussten, dass ohne Kreativität in jeglicher Richtung nicht viel lief. Ich nehme rückblickend wahr, dass eine glückliche Fügung (von geschickter Hand gestützt!) verschieden geartete Talente zusammengeführt hatte, die gemeinsam *maßstäbe* in der PTB setzen konnten. Wir konstatieren, dass alle an diesem Projekt beteiligten Personen lernten, indem sie vieles von sich in einen gemeinsamen Topf taten, um den Inhalt dann unter kräftigem Rühren zum Köcheln zu bringen.

Für mich wird dieses Heft der *maßstäbe* das letzte sein!
Ich hoffe aber, auch für die vielen Leser, dass zukünftige Ausgaben die Sekunden langsamer verrinnen lassen, um in Ruhe gut geschriebene Texte, schön gestaltet, weiterhin genießen zu können.

In diesem Sinne: Eine Sekunde ist eine ..kunde, ...und. . . . eine . . .?

Jörn-Uwe Barz

Wenn Sie hier keine Karte mehr vorfinden, können Sie die *maßstäbe* als kostenloses Abonnement bei der Redaktion direkt bestellen. (Adresse: siehe Impressum)

Ich möchte die *maßstäbe* kostenlos abonnieren. Bitte schicken Sie sie mir ab

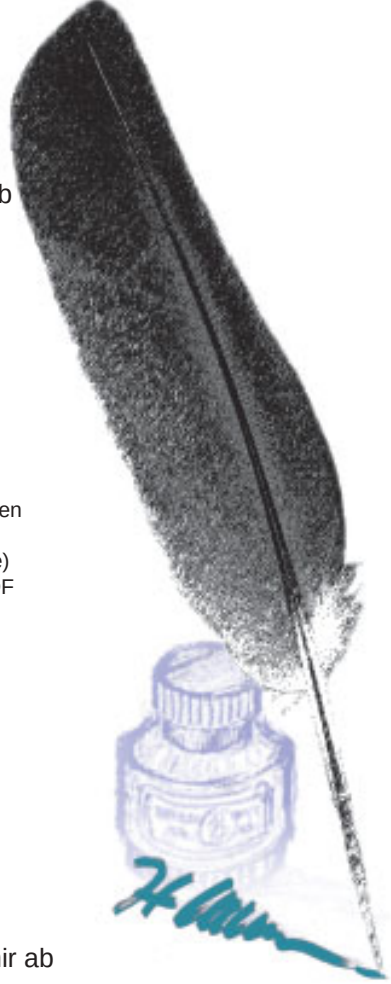
☐ dieser Ausgabe (Heft 6)
☐ kommender Ausgabe (Heft 7)

an die umseitig angegebene Adresse.

Bitte schicken Sie mir zusätzlich das

☐ vierte Heft der *maßstäbe* „Im Labyrinth des Zufalls“
☐ fünfte Heft der *maßstäbe* „Kleine Größen“.

Die Hefte 1 „Dimensionen der Einheiten“, 2 „Größen des Sports“ und 3 „Zum Licht“ sind vergriffen. Sie finden die *maßstäbe* aber im Internet (www.ptb.de) unter „Publikationen“, wo Sie sie sich auch als PDF herunterladen können.



Ich möchte die *maßstäbe* kostenlos abonnieren. Bitte schicken Sie sie mir ab

☐ dieser Ausgabe (Heft 6)
☐ kommender Ausgabe (Heft 7)

an die umseitig angegebene Adresse.

Bitte schicken Sie mir zusätzlich das

☐ vierte Heft der *maßstäbe* „Im Labyrinth des Zufalls“
☐ fünfte Heft der *maßstäbe* „Kleine Größen“.

Die Hefte 1 „Dimensionen der Einheiten“, 2 „Größen des Sports“ und 3 „Zum Licht“ sind vergriffen. Sie finden die *maßstäbe* aber im Internet (www.ptb.de) unter „Publikationen“, wo Sie sie sich auch als PDF herunterladen können.

Ich möchte die *maßstäbe* kostenlos abonnieren. Bitte schicken Sie sie mir ab

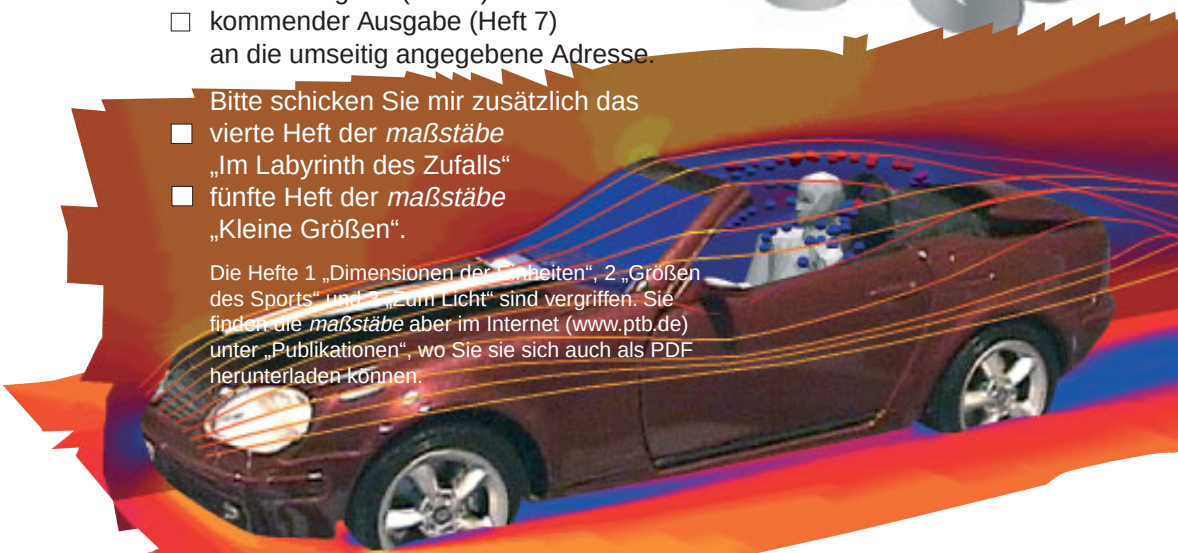
☐ dieser Ausgabe (Heft 6)
☐ kommender Ausgabe (Heft 7)

an die umseitig angegebene Adresse.

Bitte schicken Sie mir zusätzlich das

☐ vierte Heft der *maßstäbe* „Im Labyrinth des Zufalls“
☐ fünfte Heft der *maßstäbe* „Kleine Größen“.

Die Hefte 1 „Dimensionen der Einheiten“, 2 „Größen des Sports“ und 3 „Zum Licht“ sind vergriffen. Sie finden die *maßstäbe* aber im Internet (www.ptb.de) unter „Publikationen“, wo Sie sie sich auch als PDF herunterladen können.



bitte frankieren

Absender

Name/Vorname

Straße/Hausnummer/Postfach

PLZ/Ort

Land

Telefon

E-Mail

Antwort

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Postfach 3345
38023 Braunschweig

bitte frankieren

Absender

Name/Vorname

Straße/Hausnummer/Postfach

PLZ/Ort

Land

Telefon

E-Mail

Antwort

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Postfach 3345
38023 Braunschweig

bitte frankieren

Absender

Name/Vorname

Straße/Hausnummer/Postfach

PLZ/Ort

Land

Telefon

E-Mail

Antwort

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Postfach 3345
38023 Braunschweig

Wenn Sie hier keine Karte mehr vorfinden, können Sie die *maßstäbe* als kostenloses Abonnement bei der Redaktion direkt bestellen. (Adresse: siehe Impressum)

Ansprechpartner in der PTB

Folgende Mitarbeiter der PTB sind in den Beiträgen dieses Heftes namentlich erwähnt:

S. 30–33: Energieniveaus, Fontänen und Atomfallen
Die Atomuhren-Mannschaft (time@ptb.de):
Rolf Augustin
Dr. Andreas Bauch (andreas.bauch@ptb.de)
Jürgen Becker
Dieter Griebsch
Thomas Leder
Dr. Ekkehard Peik (ekkehard.peik@ptb.de)
Dr. Dirk Piester
Thomas Polewka
Christof Richter
Tobias Schneider
Roland Schröder
Dr. Christian Tamm
Dr. Stefan Weyers
Dr. Robert Wynands (robert.wynands@ptb.de)
Arbeitsgruppen: „Zeitnormale", „Zeitübertragung", „Optische Uhren"

S. 39–41: Meine Zeitreise mit C9
Dr. Peter Hetzel (im Ruhestand)
Lothar Rohbeck (im Ruhestand)
ehemals: Arbeitsgruppe „Zeitübertragung"

S. 42–44: Die Radio-Uhr
Dr. Herbert Janßen (herbert.janssen@ptb.de)
Fachbereich „Radioaktivität"
Dr. Karsten Kossert (karsten.kossert@ptb.de)
Arbeitsgruppe „Aktivitätseinheit"

S. 51–53: Zeit für die Masse
Dr. Michael Gläser (michael.glaeser@ptb.de)

Impressum

Herausgeber

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin

Redaktion

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, PTB
Postfach 3345, 38023 Braunschweig
Telefon: (05 31) 592-30 06
E-Mail: presse@ptb.de
Redakteure: Jens Simon (verantwortlich), Erika Schow
Autoren: Jörn-Uwe Barz, Rolf Buchholz, Birgit Ehlbeck, Bernd Eusemann, Julia Förster (fö), Frank Frick, Nicole Geffert, Andrea Hoferichter (ah), Ute Kehse, Jan Oliver Löfken (jol) , Brigitte Röthlein (rö), Dörte Saße (ds), Rainer Scharf, Axel Tillemans (at)
Layout: Jörn-Uwe Barz
Grafik: Björn Helge Wysfeld (wysi)
Fact checker: Bernd Warnke
Redaktionsassistenz: Cornelia Land

Druck

FischerDruck, Peine

Auszüge der „maßstäbe" im Internet unter www.ptb.de

© PTB. Alle Rechte vorbehalten.
Bitte geben Sie bei einem auszugsweisen Nachdruck Quelle und Autor an und benachrichtigen Sie die Redaktion.

Braunschweig, September 2005

ISSN 1618-1999