

clv

Meinen Lieben

Werner Gitt

Zeit und Ewigkeit



Christliche Literatur-Verbreitung e.V.
Ravensberger Bleiche 6 · 33649 Bielefeld

Der Autor: Dir. und Prof. a.D. Dr.-Ing. *Werner Gitt*, 1937 in Raineck/Ostpreußen geboren. Von 1963 bis 1968 absolvierte er ein Ingenieurstudium an der Technischen Hochschule Hannover, das er als Dipl.-Ing. abschloss. Von 1968 bis 1971 war er Assistent am Institut für Regelungstechnik der Technischen Hochschule Aachen. Nach zweijähriger Forschungsarbeit promovierte er zum Dr.-Ing. mit der Note *summa cum laude* und wurde gleichzeitig mit der *Borchers-Medaille* ausgezeichnet. Von 1971 bis 2002 leitete er den Fachbereich Informationstechnologie bei der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig. 1978 wurde er zum Direktor und Professor bei der PTB ernannt. Er hat sich mit wissenschaftlichen Fragestellungen aus den Bereichen Informationstechnik, numerische Mathematik und Regelungstechnik beschäftigt. Die Ergebnisse hat er in zahlreichen wissenschaftlichen Zeitschriften publiziert und auf wissenschaftlichen Kongressen vorgetragen.

1990 gründete er die „Fachtagung Informatik“, zu der jährlich etwa 150 Teilnehmer anreisen. Ziel ist es, biblische Leitlinien mit wissenschaftlichen Fragestellungen (besonders der Informationswissenschaften) zu verbinden. Von 1984 bis 2016 vertrat er das Lehrgebiet „Bibel und Naturwissenschaft“ als Gastdozent an der „Staatsunabhängigen Theologischen Hochschule Basel“ (STH Basel, Schweiz). Neben seiner beruflichen Tätigkeit beschäftigte er sich intensiv mit der Bibel. Zu dem Themenkreis Naturwissenschaft und Bibel hat er zahlreiche Bücher und Aufsätze geschrieben. Es ist ihm ein besonderes Anliegen, Menschen für den Glauben an Jesus Christus zu gewinnen. Er hat zahlreiche Vorträge im Inland, aber auch auf allen Kontinenten gehalten. Er ist verheiratet und Vater von zwei erwachsenen Kindern.

1. Auflage 1999
2. Auflage 2000
3. Auflage 2005
4. Auflage 2011
5. Auflage 2021

© by CLV · Christliche Literatur-Verbreitung
Ravensberger Bleiche 6 · 33649 Bielefeld
www.clv.de

Satz: EDV- und Typoservice Dörwald, Steinhagen
Umschlag: Lucian Binder, Marienheide
Druck und Bindung: CPI books GmbH, Leck

Artikel-Nr. 255420

ISBN 978-3-89397-420-7

Inhalt

Vorwort	9
Teil I	
Die Zeit – eine physikalische Größe	13
1.1 Das verbindliche Maßsystem für physikalische Größen	15
1.2 Die Einheit der Zeit	17
1.3 Zeitmessung mit Atomuhren	18
1.4 Positionsbestimmung mit Hilfe genauer Zeitmessung	22
a) Die fieberhafte Suche der Längengradbestimmung	22
b) Positionsbestimmung mit Hilfe von GPS	26
1.5 Kürzeste und längste Zeitspanne	27
1.6 Zeitkonstanten und Zeitabläufe	28
a) Zeitkonstanten und Schwingungsdauern in der Physik	28
b) Zeiten in der Astronomie	29
c) Zeit in biologischen Systemen	30
1.7 Andere Aspekte der physikalischen Zeit	32
Teil II	
Die Zeit – eine anthropologische Größe	37
2.1 Einleitung	39
2.2 Eigenschaften der Zeit	41
a) Zeit ist nicht speicherbar	41
b) Zeit ist nicht verleihbar	41
c) Jeder Tag hat die gleiche Zeit	41
d) Zeit ist nicht zu überspringen	42
e) Zeit ist nicht verzinsbar	44

f)	Zeit ist fortschreitend; der Zeitpfeil hat eine bestimmte Richtung	45
g)	Die Ereignisse in unserer Welt geschehen unter Zeitverbrauch	45
2.3	Zwei biblische Zeitbegriffe: Kairos und Chronos	50
2.3.1	Chronos: Die Zeit des Menschen	50
2.3.2	Kairos: Die Zeit Gottes	52
2.4	Die fünf Ebenen der Information – eine neue Basis zur Deutung der Zeit	57
2.5	Die fünf Ebenen der Zeit	61
2.5.1	Statistik der Zeit	62
2.5.2	Syntax der Zeit	65
2.5.3	Semantik der Zeit	72
2.5.4	Pragmatik der Zeit	76
Ermahnung zu positiver Pragmatik an Hand einiger Beispiele		79
Einige weitere Bibelworte zur Pragmatik der Zeit		83
Der Auftrag Gottes mit der Zeit		83
Wirke in dieser Zeit im Reiche Gottes		85
2.5.5	Apobetik der Zeit	89
Ziele oder Absichten?		89
Biblische Ermahnungen zu guter Apobetik		94
Biblische Warnungen vor falscher Apobetik		94
2.5.6	Zusammenfassung	97
2.6	Die wichtigste persönliche Entscheidung in der Zeit	101
Die Bekehrung zu Jesus Christus		102

Teil III

Was ist Ewigkeit?	115
3.1 Verschiedene Vorstellungen der Völker	117
3.2 Die Ahnung der Ewigkeit	120
3.3 Die Ewigkeit nach der Bibel	121
3.3.1 Wie ist das mit der Hölle?	124
3.3.2 Was wissen wir über den Himmel?	128
H1: Der Himmel – der Ort vollkommenen Glücks	130
H2: Der Himmel – ein Ort des Genusses für die Sinnesorgane	133
H3: Der Himmel – ein Fest ohne Ende	134
H4: Der Himmel – ein Ort der Schönheit	137
H5: Der Himmel – der Ort des erfüllten Lebens	140
H6: Der Himmel – ein Ort mit einer Wohnung für uns	142
H7: Der Himmel – ein Ort des Regierens	143
H8: Der Himmel – der Ort, wo Jesus ist	144
H9: Im Himmel – dort werden wir Jesus gleich sein	146
H10: Der Himmel – ein Grund zu großer Vorfreude	148
 Erklärung der verwendeten Abkürzungen für die biblischen Bücher	 151
 Literatur	 152

Vorwort

Das Problem mit der Zeit: Über das Phänomen Zeit haben Menschen aus den unterschiedlichsten Jahrhunderten nachgedacht, wobei sie zu keiner rechten Erklärung kamen. *Augustinus* (354–430) sagte hierzu: „Was ist Zeit? Wenn mich jemand fragt, weiß ich es. Will ich es einem Fragenden erklären, so weiß ich es nicht.“ 1½ Jahrtausende später kann der englische Philosoph und Mathematiker *Alfred North Whitehead* (1861–1947) der Verwirrung des *Augustinus* nur seine eigene Frustration hinzufügen: „Es ist unmöglich, über die Zeit nachzudenken, ... ohne von der Empfindung der Begrenztheit menschlicher Intelligenz überwältigt zu werden.“ Der australische Professor für mathematische Physik und Wissenschaftsphilosophie an der Universität Adelaide *Paul Davies* schreibt im Vorwort seines Buches „Die Unsterblichkeit der Zeit“ [D1, S. 10]: „Das Rätsel Zeit fasziniert die Menschen seit jeher. Die ersten schriftlichen Zeugnisse verraten Verwirrung und Angst über das Wesen der Zeit ... Die herkömmliche Darstellung der Zeit überlässt uns hilflos einem Chaos aus Rätsel und Widersprüchen.“ Nicht nur das Wesen der Zeit bereitet den Denkern Kopfzerbrechen, auch ihre Herkunft erweist sich als Problem. *Davies* geht wie viele andere – aber längst nicht alle – unserer Zeitgenossen von der Urknalltheorie aus, findet aber auch dort keine Antwort auf den Ursprung der Zeit [D1, S. 18]: „Trotzdem fällt es der Urknalltheorie noch ziemlich schwer, überzeugend darzulegen, wie das Universum als Folge eines physikalischen Prozesses aus dem Nichts entstehen konnte. Für den größten Erklärungsnotstand sorgt dabei die Frage, wie die Zeit selbst auf natürliche Weise entstehen konnte. Wird die Wissenschaft den

Beginn der Zeit überhaupt jemals innerhalb ihres Rahmens abhandeln können?“ Auch *Einsteins* Relativitätstheorie hat den erhofften Durchbruch nicht gebracht [D1, S. 34]: „Die von *Einstein* eingeleitete Revolution bleibt unvollendet. Wir warten immer noch auf ein vollständiges Verständnis des Wesens der Zeit.“

Warum ist etwas so Grundlegendes wie Zeit so wenig verstehbar und so schwer zu erklären? Der Psychologe *John Cohen* meint: „Wir haben es hier mit einem tiefen Mysterium zu tun, im besten Sinne des Wortes – es liegt einerseits im Herzen menschlicher Erfahrung und andererseits in der Natur der Dinge.“

Die Herausforderung dieses Buches: Die oben genannten Aussagen zeigen deutlich, dass uns nur ein ganz neuartiger Zugang bei dem Problem „Zeit“ weiterhelfen kann. Diese Herausforderung nehmen wir an, um mittels einer neuen Denkweise das Ziel zu erreichen. Das Phänomen Zeit ist von so herausragender Bedeutung für unser Leben, dass ich eine erneute Auseinandersetzung damit für unbedingt erforderlich halte.

Zunächst wollen wir die Zeit als eine rein physikalische Größe betrachten und sie von daher beschreiben. Dies tun wir zunächst gemäß dem Motto des japanischen Philosophen *Masanao Toda* [D1, S. 323]: „Niemand kann anscheinend behaupten zu wissen, was Zeit ist. Dennoch gibt es diesen mutigen Menschenschlag, die Physiker, die diesen schwer fassbaren Begriff zu einem der Grundsteine ihrer Theorie machten.“ Erst danach kommen wir zum Hauptteil des Buches, in dem wir die Zeit in zentraler und neuartiger Weise als anthropologische Größe behandeln. Der dritte

Teil des Buches beschäftigt sich schließlich mit dem, was uns jenseits der Zeit erwartet: die Ewigkeit.

Lesehinweis: Das Buch wurde so geschrieben, dass es allgemeinverständlich ist und damit einen weiten Leserkreis ansprechen kann. Aus meiner Sicht sind die Teile II und III die wichtigsten des Buches. Diese können auch für sich allein gelesen werden, ohne dass der physikalische Teil I durchgearbeitet werden muss.

Dank: Das Manuskript wurde von der Sprachwissenschaftlerin *Dörte Götz* (Dipl. Übers.) durchgesehen, nachdem ich zuvor mit meiner Frau alles durchgesprochen habe. Auf diese Weise erhielt ich zahlreiche Hinweise und Vorschläge für Ergänzungen, die zur inhaltlichen Verbesserung oder zum besseren Verständnis des Buches führten. Für diese engagierte Mithilfe bin ich beiden sehr dankbar.

Werner Gitt

Teil I

*Die Zeit –
eine physikalische Größe*

1.1 Das verbindliche Maßsystem für physikalische Größen¹

Die früheren Maßeinheiten wie z. B. Elle, Meile, Pferdestärke, Kalorie gehören längst der Vergangenheit an und sind durch das leicht handhabbare SI-System² ersetzt worden, bei dem es keine komplizierten Umrechnungsfaktoren mehr gibt. Alle nur denkbaren physikalischen Einheiten lassen sich nun auf ein Basissystem von sieben voneinander unabhängigen Grundgrößen zurückführen, von denen die *eine* die Zeit ist:

- Länge (Einheit: 1 Meter, m)
- Masse (Einheit: 1 Kilogramm, kg)
- Stromstärke (Einheit: 1 Ampere, A)
- Temperatur (Einheit: 1 Kelvin, K)
- Stoffmenge (Einheit: 1 Mol, mol)

-
- 1 Das Internationale Einheitensystem (Systeme International d'Unites) mit dem in allen Sprachen gleichen Kurzzeichen SI ist 1960 von der *11. Generalkonferenz für Maß und Gewicht (CGPM)* eingeführt worden. Es beendete ein über hundertjähriges Durcheinander mit einer Vielzahl von Einheiten und Einheitensystemen. Das SI wurde in verschiedenen internationalen Gremien des Messwesens entwickelt, in denen für die Bundesrepublik Deutschland die Physikalisch-Technische Bundesanstalt und das Deutsche Institut für Normung (DIN) mitgewirkt haben. Im internationalen Einheitensystem unterscheidet man zwei Klassen: *Basiseinheiten* und *abgeleitete Einheiten*.
 - 2 Die Effektivität des SI-Systems soll hier an einem schwierigen Beispiel demonstriert werden. Die Einheit der **magnetischen Flussdichte** ergibt sich aus Spannung \times Zeit/Fläche: 1 Vs/m^2 . Erweitern wir den Bruch, indem wir Zähler und Nenner mit 1 Ampere (A) multiplizieren, dann ergibt sich 1 VAs/Am^2 bzw. 1 Ws/Am^2 . Setzen wir nun für $1 \text{ Ws} = 1 \text{ kgm}^2/\text{s}^2$ ein (siehe Einheit der Energie, S. 16), dann finden wir $1 \text{ kgm}^2/(\text{A} \times \text{m}^2 \text{s}^2)$ oder $1 \text{ kg}/(\text{A} \times \text{s}^2)$. Damit ist die magnetische Flussdichte nur mit Hilfe der o.g. Basiseinheiten ausgedrückt: $1 \text{ kg}/(\text{A} \times \text{s}^2) = 1 \text{ T}$ (= 1 Tesla). Diese ist gleich der Flächendichte eines homogenen magnetischen Flusses vom Betrage 1 Weber (Wb), der eine Fläche von 1 m^2 überall senkrecht durchsetzt. Hier ist der amerikanische Physiker *Nikola Tesla* (1856–1943) der Namensgeber, der ab 1881 das Prinzip des Elektromotors mit rotierendem Drehfeld (Drehstrommotor) entwickelte und 1887 das Mehrphasensystem zur elektrischen Energieübertragung angab.

- Lichtstärke (Einheit: 1 Candela, cd) und
- **Zeit** (Einheit: 1 Sekunde, s).

Für diese **Basiseinheiten** gibt es eine eindeutige, international festgelegte physikalische Definition [X1]. Alle uns bekannten (oder evtl. noch zu kreierenden) Einheiten, die im Zusammenhang mit der Materie stehen, sind ausschließlich von einigen dieser Basiseinheiten abgeleitet. Durch die beiden Punktrechenarten Multiplikation bzw. Division sind sie miteinander verknüpft. Immer dann, wenn die sich ergebende Einheit zu unhandlich oder zu unanschaulich wird, gibt man ihr einen neuen Namen mit einer entsprechenden Abkürzung. Meistens stammt der Name von einem international bekannten Physiker. An einigen Beispielen von abgeleiteten Einheiten sei dies gezeigt:

Für die **Geschwindigkeit** gilt Länge/Zeit; daraus folgt für ihre Einheit 1 Meter/Sekunde = 1 m/s.

Wegen der Beziehung Kraft = Masse \times Beschleunigung ($F = m \cdot b$) folgt für die Einheit der **Kraft** 1 kg·m/s². Die neue Einheit der Kraft ist nach dem englischen Physiker *Isaak Newton* (1643–1727) benannt, der als der Begründer der klassischen theoretischen Physik anzusehen ist: 1 N (= 1 Newton) = 1 kgm/s².

Die (mechanische) **Energie** errechnet sich aus Kraft \times Weg; daraus folgt für ihre Einheit 1 (kg·m/s²) \cdot m = 1 kgm²/s² = 1 J. Die Einheit J (= 1 Joule = 1 Nm = 1 Ws) ist nach dem englischen Physiker *James P. Joule* (1818–1889) bezeichnet, der das mechanische und elektrische Wärmeäquivalent bestimmte.

Kehren wir nun wieder zur Zeit zurück:

1.2 Die Einheit der Zeit

Die **physikalische Einheit der Zeit** ist die **Sekunde**. Früher wurde sie als der 86 400ste Teil eines mittleren Sonnentages festgelegt. Der mittlere Sonnentag³ ist jedoch nicht konstant; gegenwärtig wächst seine Dauer um 1,8 Millisekunden ($1 \text{ ms} = 0,001 \text{ s}$) pro Jahrhundert an. Daher reichte diese Definition für die modernen Anforderungen nicht mehr aus. Aus diesem Dilemma hilft nur eine neue Festlegung. Seit 1967 gibt es daher eine neue Definition für die Sekunde. Auf der *13. Generalkonferenz für Maß und Gewicht* von 1967 wurde international beschlossen, was hinfort eine Sekunde sein soll. Eine Sekunde ist danach als das

9 Milliarden 192 Millionen 631 Tausend 770-fache der
Periodendauer

einer charakteristischen Schwingung im Caesiumatom (genauer: das Nuklid ^{133}Cs) definiert und wird mit Hilfe von Caesium-Atomuhren realisiert. Die Sekunde ist demnach in

3 **Zeiteinteilung:** Den Tag als ein Zeitmaß zu wählen, bot sich an, denn es war eine Anknüpfung an ein allseits bekanntes Naturphänomen. Ihn in zweimal 12 Stunden zu teilen und dann jede Stunde in 60 Minuten zu 60 Sekunden weiter zu unterteilen, war reine Willkür. Viel bequemer wäre es gewesen, hätte man auch für die Zeiteinteilung das bewährte Zehnersystem eingeführt. Kein Naturgesetz deutet darauf hin, dass die Sekunde als Zeiteinheit besonders vorgegeben oder in der Alltagspraxis besonders nützlich sei. So beruht auch die Festlegung der Dauer einer Sekunde auf reiner Willkür.

Uhr des Straßburger Münsters: Unter den vielen im Laufe der Jahrhunderte konstruierten Uhren verdient ein Exemplar in besonderer Weise erwähnt zu werden: Es ist die Straßburger Münsteruhr. Das Osterdatum fällt gemäß einer Definition des Konzils von Nizäa (325) auf den ersten Sonntag, der auf dem ersten Vollmond nach Frühlingsanfang (21. März) folgt. Kann ein mechanisches Gerät wohl ein so verwickelt festgelegtes Datum anzeigen? Die Uhr des Straßburger Münsters vermag dies und vieles andere. Sie ist damit etwas ganz Besonderes, denn sie hat bereits die Funktion einer Rechenmaschine.

über 9 Milliarden Teile eines physikalischen Vorgangs zerhackt! Die Zeitmessung wird somit auf einen Zählvorgang zurückgeführt. Mit entsprechenden technischen Geräten kann aufgrund dieser Festlegung jederzeit und an beliebigen Orten die Einheit der Zeit reproduziert werden.

1.3 Zeitmessung mit Atomuhren

In der *Physikalisch-Technischen Bundesanstalt* (PTB) in Braunschweig stehen zwei der genauesten Caesium-Atomuhren [B1]. Diese Uhren CS1 und CS2 gehören bezüglich ihrer Unsicherheit zur Weltspitze. CS2 (siehe **Bild 1**) ist seit 1985 in Betrieb und hat eine so hohe Ganggenauigkeit, dass sie rein rechnerisch in 2 Millionen Jahren – wenn die Erde noch existierte und es sie dann noch auf der Erde gäbe – nur 1 Sekunde Abweichung von der idealen Uhr hätte. Das entspricht einer **relativen Unsicherheit**⁴ von nur $1,6 \times 10^{-14}$. Die Ermittlung der Ganggenauigkeit geschieht nicht durch Vergleich mit einer anderen Uhr – denn diese ideale Vergleichsuhr gibt es ja nicht – sondern durch rechnerische Abschätzung des Einflusses aller beteiligten Parameter der Uhr CS2.

Das in Atomuhren verwendete Caesium 133 (^{133}Cs) ist kein radioaktives Material; es ist also stabil und hat die bemerkenswerte Eigenschaft, dass es bei einer vergleichsweise niedrigen Temperatur von 28 Grad Celsius schmilzt. Vereinfacht dargestellt geschieht im Innern von Atomuhren

4 **Relative Unsicherheit:** Dieser Zahlenwert ergibt sich, wenn man die mögliche zeitliche Abweichung ($\Delta t = 1 \text{ s}$) auf den betrachteten Zeitraum ($t = 2 \text{ Millionen Jahre}$) bezieht: $\Delta t/t = 1\text{s}/6,3 \times 10^{13}\text{s} = 1,6 \times 10^{-14}$. Auf einen Tag bezogen sind das 1,4 Nanosekunden.

Folgendes: Es wird ein Strahl von freien Caesiumatomen erzeugt. Sie werden so präpariert, dass sie sich alle in einem von zwei möglichen Energiezuständen befinden, und anschließend in einem Resonator (auf elektromagnetischen Schwingungen basierend) mit Mikrowellen bestrahlt werden. Durch diese Einwirkung ändert sich der Energiezustand der Atome, und sie gehen in den bisher unbesetzten Energiezustand über, wenn die Frequenz des Mikrowellenfeldes gerade mit der Eigenfrequenz der Caesiumatome übereinstimmt. Beim Übergang vom einen in den anderen Energiezustand emittieren (lat. *emittere* = herausgehen lassen, ausschicken) oder absorbieren (lat. *absorbere* = verschlucken, verschlingen) die Atome ihrerseits elektromagnetische Wellen mit einer ganz bestimmten Schwingfrequenz, die als Naturkonstante anzusehen ist. Diese stellt nun das quantenmechanische Normal der Frequenz dar, das die Grundlage für die „genaue Zeit“ bildet. Nun kommt es nur noch darauf an, eine Apparatur, d.h. eine Atomuhr, zu konstruieren, mit der diese naturgegebene Frequenz möglichst sicher und genau gemessen werden kann. Aus messtechnischen Gründen ist dies dann am besten möglich, wenn die Wechselwirkungszeit zwischen Caesiumatomen und der Mikrowellenstrahlung möglichst lang ist. Dies erreicht man wiederum durch möglichst langsame Atome.

Bei der primären Uhr CS2 liegt das Strahlrohr waagrecht, bei der CS4 steht es senkrecht. Bei der neuesten Entwicklung, der Springbrunnenuhr [C1], wird eine Methode angewandt, für die *Steven Chu*, *Claude Cohen-Tannoudji* und *William Phillips* 1997 den Physik-Nobelpreis erhielten. Ihnen war es gelungen, Atome mit Hilfe von Laserlicht extrem niedrig, nämlich auf wenige Mikrokelvin (mK) nahe bei der absoluten Temperatur von -273 Grad Cel-

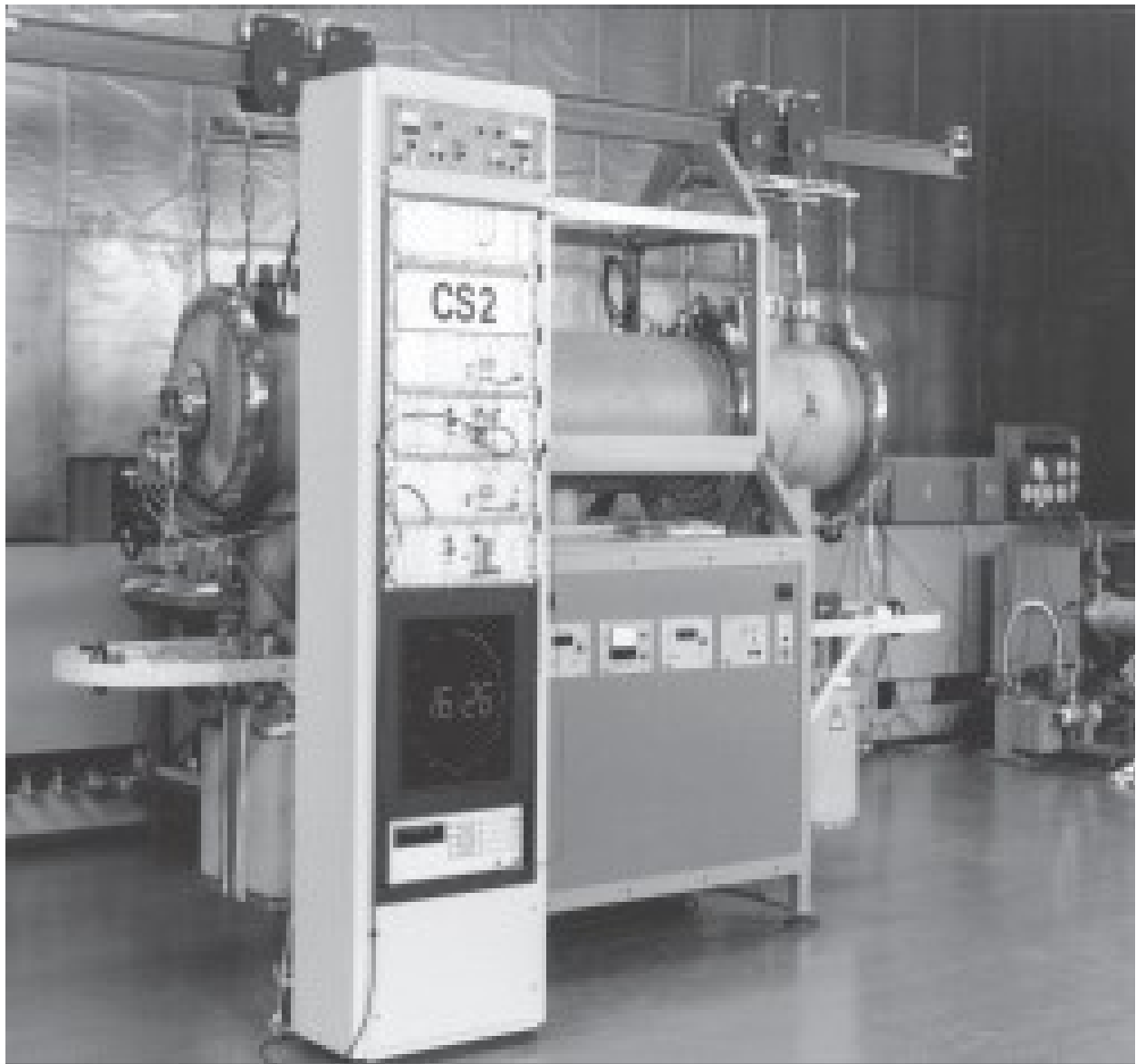


Bild 1: *Caesium-Atomuhr CS2 der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt Braunschweig (Foto: PTB Braunschweig).*

sius abzukühlen und wie einen Bienenschwarm als Wolke von einigen Millionen Atomen einzufangen. Die Atome – vorher durch die Umgebungstemperatur zum rasenden Zickzackkurs angetrieben – bewegen sich in solch einer magnetooptischen „Falle“ (MOF) nur noch gemächlich mit einigen Millimetern pro Sekunde.

Nach diesem Prinzip sind die Atome „quasi eingefroren“ und es ist eine Quelle kalter Atome entstanden. Wird das Laserlicht auf definierte Weise kurzzeitig in seiner Schwingungsfrequenz „verstimmt“, so kann den gekühlten und

eingefangenen Atomen ein gezielter Schups aufwärts gegeben werden: Sie fliegen mit etwa 4 m/s nach oben, steigen solange auf, bis die Schwerkraft ihre Bewegungsenergie aufgezehrt hat und fallen auf dem gleichen Weg wieder zurück. Dieses Szenario erinnert an einen Springbrunnen, daher der Name Springbrunnenuhr. Ebenso wie in einer gewöhnlichen Atomuhr werden auch hier die Atome in der Quelle in einem der beiden Energiezustände präpariert und wechseln ihren Energiezustand, wenn sie jeweils während ihrer Auf- und Abwärtsbewegung das Mikrowellenfeld eines Resonators passieren. Die Zeit der Wechselwirkung mit dem Mikrowellenfeld ist nun jedoch bedeutend länger geworden: Ein Stein, den man einen Meter hochwirft, braucht knapp eine Sekunde, bis er unten wieder ankommt. Genau so lange sind auch die Atome in einer Springbrunnenuhr mit dem Mikrowellenfeld in Kontakt, so dass das gemessene Resonanzsignal entsprechend schärfer ausfällt. Das Ziel, die Sekunde noch „schärfer“ zu fixieren, ist mit dieser neuen Entwicklung zum Greifen nahe. Nach Fertigstellung der Konstruktion werden Genauigkeiten von 10^{-15} Sekunden erwartet. Es geht also um so kleine Abweichungen, dass eine derartige Uhr weniger als eine Sekunde in über 10 Millionen Jahren fehlginge.

Die Zeit ist jene physikalische Größe, die mit der höchsten Messgenauigkeit ermittelt werden kann. Braucht man nun diese hohe Präzision? Das soll im Folgenden an Hand der Navigation auf der Erdoberfläche verdeutlicht werden.

1.4 Positionsbestimmung mit Hilfe genauer Zeitmessung

a) Die fieberhafte Suche der Längengradbestimmung

Für die Schifffahrt auf hoher See ist die jeweilige Position von ausschlaggebender Bedeutung. Kennt man den Breiten- und Längengrad eines Schiffes auf dem Ozean, so ist die Position des Standortes damit eindeutig beschrieben. Während die Bestimmung des Breitengrades mit Hilfe der Gestirne möglich ist [G3, S.101-105], gibt es keine entsprechende Methode für die Ermittlung des Längengrades. Als man das heute übliche GPS-Verfahren (siehe Absatz b)) noch nicht zur Verfügung hatte, konnte die Standortbestimmung nur mit Hilfe der zurückgelegten Fahrstrecke ermittelt werden. Da sich die Strecke s als Produkt von Geschwindigkeit v und Fahrzeit t ($s=v \times t$) ergibt, müssen v und t ständig gemessen werden. Die Standortbestimmung auf den Ozeanen geschah also mit Hilfe der Zeitmessung. Hat man auf See keine geeigneten Uhren (d.h. seegängig und genau genug), dann wird nicht nur das Ziel nicht erreicht; es kann sogar lebensgefährlich sein. Zwei markante historische Ereignisse seien in diesem Zusammenhang genannt [B2, S. 155]:

- Die englische Flotte verlor **im Jahre 1691** mehrere Schiffe, weil die o.g. Navigationsmethoden der Kapitäne zu ungenau waren: Man wusste ganz einfach nicht mehr, wo man sich auf dem Meer befand.
- **Im Jahre 1707** kam es noch schlimmer: Ein aus Richtung Gibraltar kommendes Geschwader war bereits

zwölf Tage unterwegs und glaubte vor der Bretagne zu sein, als es westlich von Cornwall in der nebligen Nacht des 22. Oktober auf die Klippen der Scilly-Inseln auflief. Der Verlust war gravierend: 2000 Mann und 4 Schiffe.

Zu damaliger Zeit segelte man möglichst in der Nähe einer sichtbaren Küste, da die Seeleute nicht imstande waren, die geographische Länge zu bestimmen. In buchstäblich Hunderten von Fällen sind Schiffe untergegangen, weil es auf See keine Methode der Längengradbestimmung gab. Geografische Positionen versuchte man aus der Geschwindigkeit des Schiffes und der Fahrzeit zu bestimmen. Hätte es genau gehende Uhren gegeben, so wäre die Schiffsposition auf offener See berechenbar gewesen, so aber musste man sich mit groben Schätzungen begnügen.

Die amerikanische Wissenschaftsreporterin *Dava Sobel* verfasste das bemerkenswerte und spannend geschriebene Buch „Längengrad“ [S2] mit dem Untertitel „Die wahre Geschichte eines einsamen Genies, welches das größte wissenschaftliche Problem seiner Zeit löste“. Sie schreibt darin [S2, S. 16ff]: „Die fieberhafte Suche nach einer Lösung für das Problem der Längengradbestimmung dauerte vier Jahrhunderte und erfasste ganz Europa. In der Geschichte des Längengrads spielen denn auch die meisten gekrönten Häupter eine Rolle, vor allem aber *Georg III.* von England und *Ludwig XIV.* von Frankreich. Seefahrer wie Kapitän *William Bligh* von der *Bounty* und der große Weltumsegler Kapitän *James Cook* prüften die erfolgversprechenden Verfahren an Bord ihrer Schiffe auf Genauigkeit und Brauchbarkeit. Berühmte Astronomen suchten nach Wegen, das Längengradproblem mit den Mitteln des Uhrwerk-Universums zu lösen. *Galileo Galilei*, *Jean Dominique Cassini*,

Christian Huygens, Sir Isaak Newton und Edmond Halley – sie alle wandten sich an Mond und Sterne um Hilfe. In Paris, London und Berlin wurden königliche Sternwarten eigens zu dem Zweck errichtet, das Längengradproblem zu lösen. ... Die Zeit verging, aber keine Methode brachte den Durchbruch, und so nahm die Suche nach einer Lösung des Längengradproblems legendäre Ausmaße an, vergleichbar mit der Suche nach dem Jungbrunnen, dem Geheimnis des Perpetuum mobile oder der Formel für die Verwandlung von Blei in Gold. Die Regierungen großer Seefahrernationen wie Spanien, die Niederlande und einige italienische Stadtstaaten stachelten regelmäßig die Leidenschaft der Forscher an, indem sie Belohnungen für eine nutzbare Methode aussetzten.“

Um aus dieser Notlage herauszukommen, setzte das britische Parlament im Jahre 1717 einen hohen Preis aus. Gewinner sollte derjenige sein, dem es gelingen würde, eine *brauchbare Uhr für die Seefahrt* zu erfinden und zu bauen. Die Höhe der drei ausgesetzten Summen in dem „Longitude Act“ war von der erreichten Genauigkeit abhängig, mit der die geografische Länge (Längengrad) ermittelt werden konnte:

- 10 000 Pfund Sterling bei einem Längengrad (1°)
- 15 000 Pfund bei 40 Minuten eines Längengrades und
- 20 000 Pfund bei einem halben Längengrad Abweichung.

Nach heutigen Begriffen waren das etliche Millionen Euro. Wie bescheiden die Genauigkeitsanforderung war, wird deutlich, wenn man bedenkt, dass ein halber Längengrad auf dem Äquator immerhin 56 Kilometer ausmacht.

Ein junger Mann namens *John Harrison* (1693–1776) nahm diese Herausforderung an. Als 21-Jähriger begann er mit der Lösung der Aufgabe.

- Seine **erste Uhr** wog 35 kg,
- die **zweite** wurde 1739 fertig und wog 50 kg,
- die **dritte** brauchte einige weitere Jahre, aber auch diese befriedigte noch nicht,
- und **1759** wurde endlich die **vierte Uhr** fertig, die den Genauigkeitsanforderungen entsprach. *Harrison* schrieb darüber, dass kein mechanisches oder mathematisches Instrument auf der Welt herrlicher sei als diese Uhr.

Der Test auf hoher See wurde 1761 während einer Fahrt von Portsmouth nach Jamaika durchgeführt. Auf der Zwischenstation Madeira bestand die Uhr ihre erste Probe. Als der Kapitän sich $13^{\circ} 50'$ westlich Greenwich wähnte, war man der Uhr nach auf $15^{\circ} 19'$ – und die Uhr hatte Recht, wie die Ankunft in Porto Santo am nächsten Morgen bestätigte.

Erst **im Jahre 1772** – also 11 Jahre nach der glänzend bestandenen Testfahrt – erhielt *Harrison* den verdienten Preis. Er war inzwischen 79 Jahre alt geworden, als er nach Jahrzehnten politischer Intrigen, Fehden, akademischer Verleumdungen, wissenschaftlicher Revolutionen und ökonomischer Umwälzungen den Preis für sein Lebenswerk erhielt.

Das geschilderte Ringen um die Längengradbestimmung macht deutlich, von welcher gravierenden Bedeutung die Zeitbestimmung für die Standortsbestimmung ist. Wenn heute an jeder beliebigen Stelle der Erde innerhalb weniger Sekunden auf den Meter genau die Position angegeben

werden kann, dann ist das eine Folge der hochgenauen Zeitmessung mit Atomuhren.

b) Positionsbestimmung mit Hilfe von GPS

Heutzutage gelingt es, aufgrund der genauen Zeitmessung die Position von Schiffen auf den Ozeanen oder von Forschern in den Wüsten metergenau anzugeben. Dies geschieht mit dem „Global Positioning System“ (GPS). 24 künstliche Erdsatelliten umkreisen die Erde. Je vier bewegen sich gemeinsam auf einer der sechs Umlaufbahnen und funken ihre Signale zur Erde. An Bord eines jeden Satelliten befinden sich vier Atomuhren. Die Bahnen sind so gewählt worden, dass weltweit und jederzeit mindestens vier Satelliten gleichzeitig genutzt werden können. Aus der sehr genau, auf wenige Nanosekunden messbaren Laufzeitdifferenz der Signale mehrerer Satelliten wird der geografische Ort dann rechnerisch ermittelt.

Ein anderes Beispiel: Als nach mehr als dreijähriger Flugzeit durch unser Planetensystem die Raumsonde *Voyager 1* rund zwei Milliarden Kilometer zurückgelegt hatte, sollten Aufnahmen von dem größten Saturnmond – dem Titan – zur Erde gefunkt werden. Es ist bemerkenswert, dass der vorausberechnete Zielpunkt nur um 19 km verfehlt wurde. Ein Zeitfehler von nur einer tausendstel Sekunde hätte eine Kursabweichung von Hunderten von Kilometern zur Folge gehabt.

1.5 *Kürzeste und längste Zeitspanne*

Die **kleinste Zeitspanne**, die die Physiker je messen konnten, ist die Lebensdauer bestimmter seltener Elementarteilchen, die nur für den billionsten Teil einer milliardstel Sekunde existieren. Von Atomkernen des Isotops Helium mit der Masse 5 (^5He) – sie sind fünfmal so schwer wie der Kern des Wasserstoffatoms – zerfällt die Hälfte aller Atome in der unvorstellbar kurzen Zeit von 2×10^{-21} s. Diese Zahl hat eine Null vor dem Komma und danach folgt erst auf weitere 20 Nullen eine Zwei:

0,000 000 000 000 000 000 000 002 Sekunden.

Oder anders ausgedrückt: $2 \times 10^{-12} \times 10^{-9}$ Sekunden; in Worten sind das zwei billionstel einer milliardstel Sekunde!

Fragen wir nach der **längsten Zeitspanne**, so ist es diejenige Zeit, die seit der Erschaffung dieser Welt vergangen ist. So sagte der Heidelberger Astrophysiker und Direktor der Sternwarte auf dem Königsstuhl Prof. *Heinrich Vogt* (1890–1968) [M2]:

„Es ist der ganze Kosmos – der Raum und sein materieller Inhalt – ein zeitlich begrenzter Inhalt. Auch die Zeit hat mit der Entstehung des Kosmos begonnen. Was vor dem ‘Zeitbeginn’ war, das entzieht sich der naturwissenschaftlichen Forschung. Die der Naturwissenschaft zugängliche Raum-Zeit-Welt mündet dort in einen raum- und zeitlosen Bereich ein, den der Mensch verstandesgemäß nicht erfassen kann und der für ihn ein ewig unergründliches, göttliches Geheimnis bleibt.“

1.6 Zeitkonstanten und Zeitabläufe

a) Zeitkonstanten und Schwingungsdauern in der Physik

In der Physik haben die verschiedenen reproduzierbaren Vorgänge eine unterschiedliche Dauer. Man spricht von der *Schwingungsdauer* T bei periodischen oder von der *Zeitkonstante* T bei nichtperiodischen Vorgängen. Schauen wir uns einige physikalische Konstanten an:

Halbwertszeit von Helium-5 (^5He): $T = 2 \cdot 10^{-21} \text{ s}$

Halbwertszeit von Uran-235 (^{235}U): $T = 700$ Millionen Jahre.
(Hinweis: Die Halbwertszeit hat nichts mit Alter zu tun!).

Schwingungsdauer eines Pendels mit $L = 20 \text{ m}$ Fadenlänge:

$$T = 2 \times \pi \times \text{WURZEL}(L/g) = 8,973 \text{ s mit Erdbeschleunigung } g = 9,80665 \text{ m/s}^2$$

$$T \approx 9 \text{ Sekunden}$$

Schwingungsdauer eines Pendels mit $L = 1 \text{ m}$ Fadenlänge:

$$T = 2,006 \text{ s} \approx 2 \text{ Sekunden}$$

Periodendauer T eines 440-Hz-Tones (= Kammerton a):

$$T = 1/f = 0,00227 \text{ s} \approx 2\frac{1}{4} \text{ Tausendstel Sekunden} = 2\frac{1}{4} \text{ ms}$$

Schwingungsdauer T eines ^{133}Cs -Atoms:

$$\text{Frequenz } f = 9\,192\,631\,770 \text{ Hz}$$

(1 Hertz = 1 Hz = 1/s = 1 Schwingung pro Sekunde)

$$\text{Schwingungsdauer } T = 1/f = 108,78 \cdot 10^{-12} \text{ s}$$

$$T \approx 100 \text{ billionstel Sekunden} = 100 \text{ ps}$$

Die Wellenlängen des sichtbaren Lichtes liegen zwischen 380 und 780 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 1 \text{ milliardstel Meter}$). Bei grünem Licht von 540 nm beträgt die Periodendauer:

$$f = \nu/\lambda; \nu = c = 299\,792\,458 \text{ m/s (Lichtgeschwindigkeit)}$$

$$T = 1/f = \lambda/\nu = 540 \text{ nm}/299\,792\,458 \text{ m/s} = 1,8 \cdot 10^{-15} \text{ s}$$

$$T \approx 2 \text{ milliardstel Sekunden} = 2 \text{ Femtosekunden (fs)} \\ = 2 \text{ Millionen Nanosekunden (ns)}$$

Das sichtbare Licht hat also eine etwa 5000-mal kürzere Periodendauer als die Schwingungen des Caesiumatoms in den Atomuhren.

Ebenso gibt es Zeitkonstanten in vielen anderen Bereichen der Naturwissenschaft und Technik wie z.B. der Astronomie, der Biologie und der Chemie:

b) Zeiten in der Astronomie [G3]

Der schnellste bekannte Pulsar (PSR 1937+214) hat eine Periodendauer von $T = 0,001558 \text{ s} \approx 1\frac{1}{2}$ Tausendstel Sekunden.

- 1 Sterntag auf der Erde: $T = 23 \text{ h } 56 \text{ min } 4,09 \text{ s}$ (= Dauer der Drehbewegung der Erde um die eigene Achse, siderische Rotationsdauer)
 - 1 Merkurjahr: 88 Erdtage (genauer Wert dieser siderischen Umlaufszeit: 87,97 Tage)
 - 1 Merkurtag: 58,646 Erdtage (siderische Rotationszeit)
- Eine Merkwürdigkeit: Ein Sonnentag (= der zeitliche Abstand zweier gleicher Sonnenstände, z.B. Zeit von Sonnenhöchststand zu Sonnenhöchststand = synodi-

sche Rotationsdauer um die eigene Achse) auf dem Merkur ist genau zweimal so lang wie ein Merkurjahr, denn $58,646/(87,97-58,646) = 2$.

- 1 Jupiterjahr: 11,862 Erdjahre
- 1 Jupitertag: 9 h 50 min 30 s (schnellste Eigenrotation in unserem Planetensystem)

c) Zeit in biologischen Systemen

Während die Zeitkonstanten der Physik und der Astronomie sehr genau angegeben werden können, unterliegen die biologischen Zeitkonstanten und Abläufe einer relativ weiten Streuung.

Wir leben 70-mal länger als das kleinste Säugetier, die Spitzmaus, und 1200-mal länger als eine Fliege. Auch Reaktionszeiten sind sehr unterschiedlich. Versuchen wir eine Fliege zu fangen, dann merken wir, wie augenblicklich sie reagiert. Ihre Augen erfassen sehr kurze Zeitintervalle. Sie kann auf eine zuschlagende Hand in weniger als einer hundertstel Sekunde reagieren. Unsere eigene Reaktionszeit beträgt eine Zehntelsekunde. Auch Vögel nehmen sehr viel kürzere Zeitintervalle wahr. Der Gesang vieler Vögel wirkt auf uns abwechslungsreich und melodios. Nehmen wir ihn auf Band auf und spielen ihn langsamer ab, hören wir erheblich mehr Einzelheiten heraus als in einem „Live“-Konzert. Wir hören Geräusche, die von sehr kurzen Zeitintervallen unterbrochen sind, als zusammenhängende Laute. Die Vögel unterscheiden dagegen Geräusche noch als einzelne Laute, wenn sie durch so kleine Intervalle voneinander getrennt sind, die nur zwei Millisekunden oder weniger ausmachen.