

# Gekühlte Atome bestimmen die Zeitmessung

Autor(en): **[s.n.]**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Horizonte : Schweizer Forschungsmagazin**

Band (Jahr): - **(1997)**

Heft 35

PDF erstellt am: **17.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-551825>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Gekühlte Atome bestimmen die Zeitmessung

Am Kantonalen Observatorium Neuenburg bauen Physiker eine Atomuhr mit einer Gangabweichung von bloss einer Sekunde in 30 Millionen Jahren. Sie arbeitet nach einer Technik, deren Erforschung mit dem Physik-Nobelpreis 1997 ausgezeichnet wurde: In einer Laserfalle werden die Atome gekühlt.

Verantwortlich für die Konstruktion des hypergenauen Zeitmessgerätes in Neuenburg ist Pierre Thomann. Mit einem Vergleich aus der Orchesterwelt erklärt er, worum es geht: «Vor dem Konzert stimmen die Musiker ihre Instrumente. Falls der Oboist seinen Kammerton 'a' in mehreren kurzen Stössen bläst, bekunden die Kollegen mit der Abstimmung Mühe. Leichter fällt ihnen das hingegen, wenn der Oboe ein langgezogener Referenzton entströmt. Bei unserer Atomuhr verfolgen wir ein ähnliches Prinzip. Weil wir die Geschwindigkeit des Caesiums in einem Atomstrahl gegenüber den herkömmlichen Atomuhren um mehr als das Hundertfache verlangsamen, lassen sich die atomaren Schwingungen – einer Stimmgabel vergleichbar

höchster Regelmässigkeit. Seit ungefähr 40 Jahren benutzt man in der Physik diese Eigenschaft, um die genaue Dauer einer Sekunde zu messen: Sie entspricht dem für 9192631770 Schwingungen erforderlichen Zeitraum.

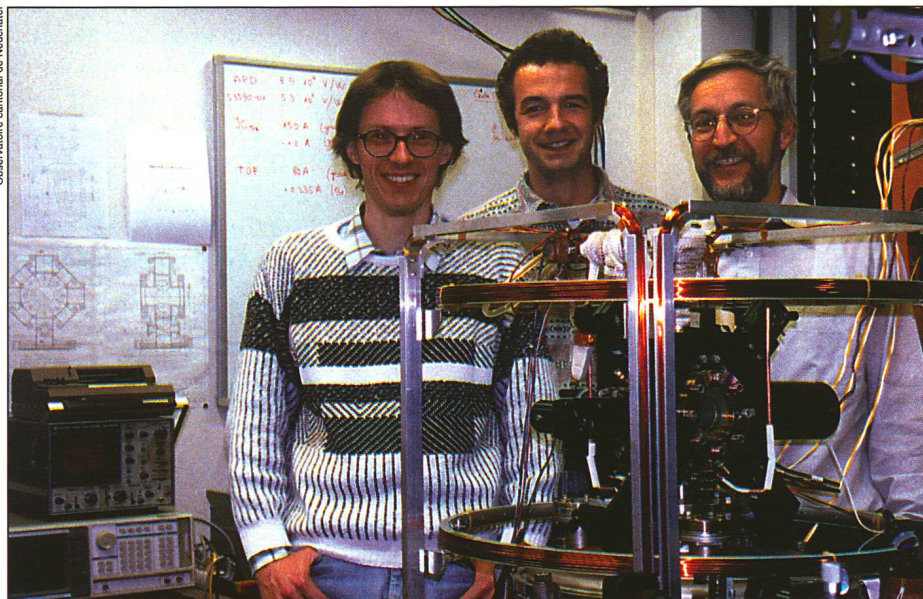
Bei klassischen Atomuhren wird das Caesium im Hochvakuum beobachtet, wo die Atome sich mit Geschwindigkeiten von etwa 200 Metern pro Sekunde bewegen. Dabei passieren sie nur sehr kurze Zeit – etwa eine Hundertstelsekunde lang – das Mikrowellenfeld, dessen Frequenz auf die natürlichen Schwingungen der Atome abgestimmt werden muss. «Hier haben wir den Fall eines Oboisten mit nur stossweise geblasenem Kammerton», nimmt Pierre Thomann den Vergleich aus der Musik wieder

auf. «Um die Abstimmungszeit zu verlängern, bremsen wir die Geschwindigkeit der Atome auf wenige Zentimeter pro Sekunde. Dies geschieht durch Abkühlen auf eine Temperatur von bloss 20 Millionstelgrad über dem absoluten Nullpunkt bei -273 Grad Celsius. Solche 'kalten' Atome werden jedoch durch die Erdanziehungskraft nach unten beschleunigt und passieren die Mikrowellenquelle mit nur zwei Metern pro Sekunde.»

Dank dieser Technik erwartet man am Observatorium Neuenburg eine zehnmal höhere Ganggenauigkeit als bei herkömmlichen Atomuhren. Vergleicht man zwei Geräte des neuen Typs miteinander, beträgt die Abweichung in 30 Millionen

Jahren nicht mehr als eine einzige Sekunde.

Die Neuenburger Atomuhr entsteht im Auftrag des Eidgenössischen Amtes für Messwesen, das 1990 beschlossen hatte, ein primäres Frequenznormal für die Schweiz zu entwickeln: eine Referenzuhr von höchster Präzision. An solchen Primärfrequenznormalen orientieren sich dann die Zeitgeber in Industrie, Luftverkehr, Raumfahrt und Telekommunikation. Auch die internationale Atomzeit

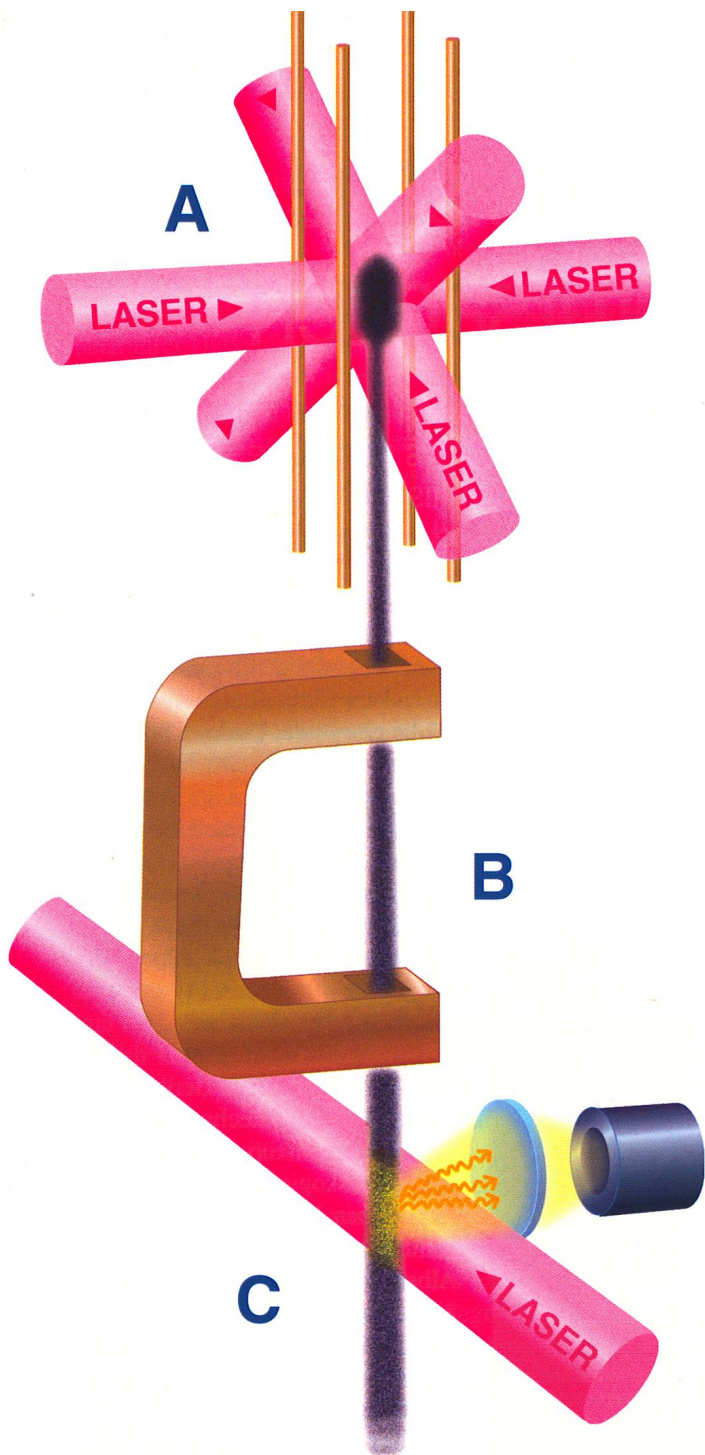


Hinter ihrer Atomuhr (von links): Alain Joyet, Patrick Berthoud und Pierre Thomann.

– viel besser erfassen.»

Trotz ihres Namens haben Atomuhren nichts mit Radioaktivität zu tun. In Caesiumuhren kommt das stabile Caesium 133 zur Verwendung. Diese Atome besitzen je ein freies Elektron, dessen Energie zwei nahe beieinanderliegende Werte annehmen kann. Beim Wechsel vom einen zum anderen Niveau und wieder zurück schwingt das Elektron mit grosser Geschwindigkeit, vor allem aber mit





## Ein kontinuierlicher Strahl kalter Atome

**A.** In einer Vakuumkammer mit Caesium-133-Atomen bilden vier Kupferdrähte unter Strom und drei Paare von Laserstrahlen eine magnetooptische Falle. Die in ihrem Zentrum verlangsamten - also abgekühlten - Caesium-Atome formieren sich zu einem kontinuierlichen Strahl.

**B.** In freiem Fall passieren die Atome zwei Arme einer U-förmig gebogenen Kupferdröhre: die Mikrowellenquelle. Vergleichbar mit den Luftschwingungen in einer Orgelpfeife wird im Innern des «U» ein schwingendes Magnetfeld erzeugt. Wenn das Feld genau in der Eigenfrequenz von Caesium-Atomen schwingt, 9 192 631 770 Mal pro Sekunde, entsteht eine Resonanz mit maximalem Energietransfer zu den Atomen.

**C.** Beim Austritt aus dem «U» durchqueren die Atome einen weiteren Laserstrahl. Ein Detektor misst hier das Fluoreszenzlicht, das sie in diesem Moment abgeben. Im Zustand der Mikrowellenresonanz erreicht diese Fluoreszenz ein Maximum. Nach 9 192 631 770 Schwingungen rückt die Atomuhr um eine Sekunde vor.

## Wie spät ist es?

Die *Weltzeit* (UT) richtet sich nach der Erdrotation. Demnach wird die Dauer eines mittleren Sonnentages definiert durch den Zeitabstand von Mitternacht zu Mitternacht längs des Meridians von Greenwich. Unregelmässigkeiten in der Rotation unseres Planeten um seine Achse führen zu unvorhersehbaren Abweichungen bis zu einer Sekunde pro Jahr. Für die Geophysik, die Astronomie und die Navigation von Schiffen und Flugzeugen bleibt die Weltzeit indes unentbehrlich.

Die *internationale Atomzeit* (TAI) als Referenzzeit der Wissenschaften ist um eine Million Mal präziser als die Weltzeit. Ihre Grundlage sind die Daten von rund 200 Atomuhren auf der ganzen Erde. Demnach gilt als Sekunde jener Zeitraum, in dem von Caesium-133-Atomen ausgehende Mikrowellen 9 192 631 770 Mal schwingen.

Die *koordinierte Weltzeit* (UTC) ist die seit 1972 international anerkannte Grundlage der Zeitmessung. Darauf beruht die Übermittlung der Signale zur Koordination von Bahnhofuhren usw. Die UTC richtet sich nach der internationalen Atomzeit, bedarf aber alle ein bis zwei Jahre einer Schaltsekunde, um die Unregelmässigkeiten der Erdrotation auszugleichen. So weicht die UTC niemals mehr als 0,9 Sekunden von der Weltzeit ab.

(TAI) wird danach ausgerichtet (*siehe Kasten*). Lange Jahre gaben die qualitativ hochwertigen Atomuhren aus Deutschland den Ton an. Doch jetzt dürften etliche neue Geräte – eines davon arbeitet seit 1991 in Paris – dieses Monopol brechen. Allerdings dauert es gewisse Zeit, bis eine neue Uhr ihre überlegene Leistung bewiesen hat.

## Fürs nächste Jahrtausend

In den Industriestaaten befasst sich gegenwärtig ein gutes Dutzend Forschungsgruppen mit der Konstruktion von Atomuhren nach dem Kälteverfahren. Mit Ausnahme des Teams in Neuenburg beruhen alle Geräte auf dem Prinzip *gepulster atomarer Springbrunnen*, wobei die Caesium-133-Atome paketweise freigesetzt werden. Pierre Thomann und sein Team bevorzugen jedoch als einzige den *kontinuierlichen Atomstrahl*, dessen Wirksamkeit sie im ersten Prototyp dieser Art nachweisen konnten. «Runde hundert Millionen Sekunden bleiben uns noch zum Verfeinern der Apparatur», verrät Projektleiter Thomann. Auch wer sonst nicht Sekunden zählt, kann sich ausrechnen, dass die Atomuhr aus Schweizer Produktion demnach ihren Betrieb ums Jahr 2000 aufnehmen soll.

Verschiedenste Bereiche dürften von einem Zugewinn an Präzision in der Zeitmessung profitieren. Die Physik beispielsweise wartet auf noch feinere Nachweise von Einsteins Relativitätstheorie. In der Geodäsie werden die GPS-Navigationsatelliten Ortsbestimmungen auf den Zentimeter machen können. Und die Klimaforschung braucht zum Verfolgen der weltweiten Erwärmung – ebenfalls mit Satellithilfe – noch genauere Messungen von Meeresspiegelschwankungen.