

**Zeitschrift:** Horizonte : Schweizer Forschungsmagazin  
**Herausgeber:** Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung  
**Band:** - (1997)  
**Heft:** 35  
  
**Artikel:** Gekühlte Atome bestimmen die Zeitmessung  
**Autor:** [s.n.]  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-551825>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 02.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# 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.

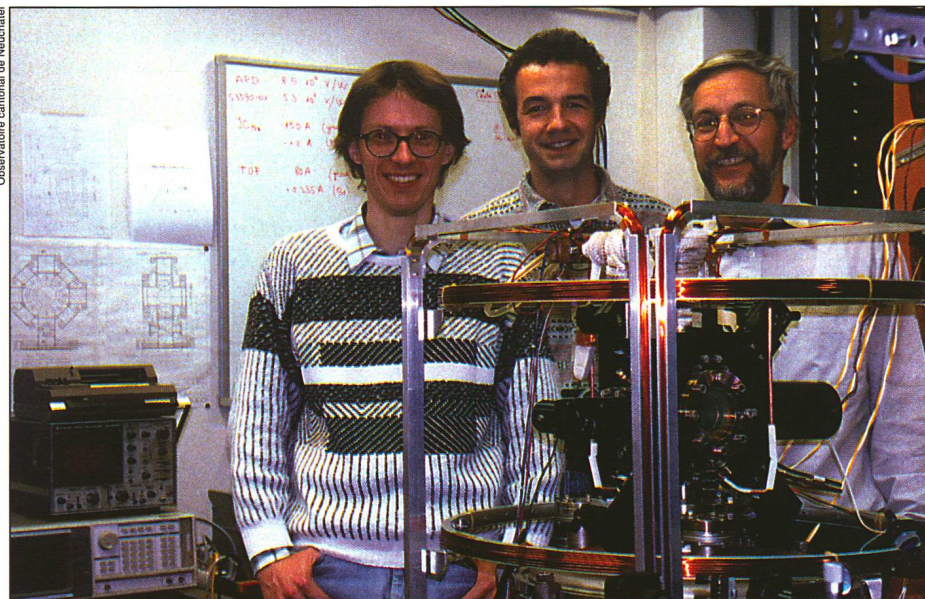
Bei klassischen Atomuhren wird das Caesium im Hochvakuum beobachtet, wo die Atome sich mit Geschwindigkeiten von etwa 200 Metern pro Sekunde bewegen. Dabei passieren sie nur sehr kurze Zeit – etwa eine Hundertstelsekunde lang – das Mikrowellenfeld, dessen Frequenz auf die natürlichen Schwingungen der 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

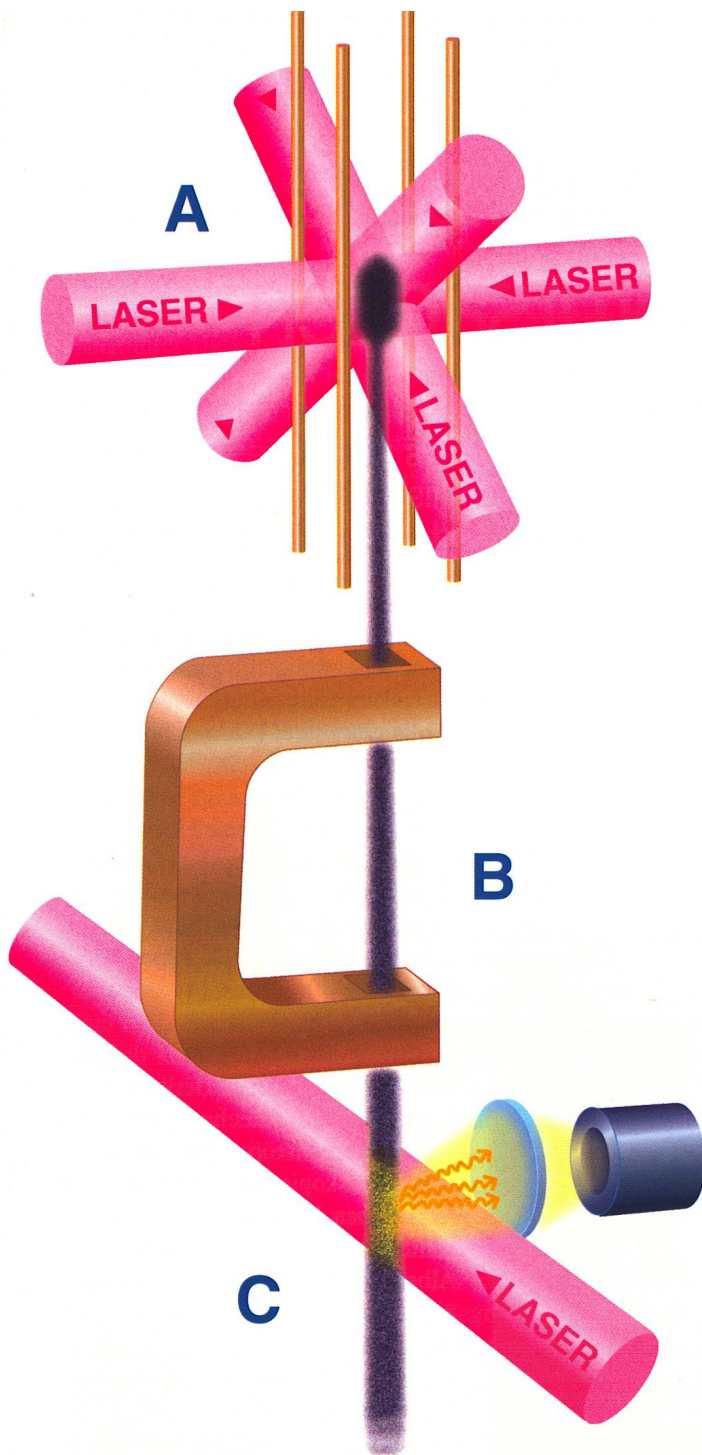


Hinter ihrer Atomuhr (von links): Alain Joyet, Patrick Berthoud und Pierre Thomann.

– 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 Vakuummkammer mit Caesium-133-Atomen bilden vier Kupferdrähte unter Strom und drei Paare von Laserstrahlen eine magneto-optische 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 Kupferföhre: 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 Bahnhofsfuhren 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 wirkt 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-Navigationssatelliten Ortsbestimmungen auf den Zentimeter machen können. Und die Klimaforschung braucht zum Verfolgen der weltweiten Erwärmung – ebenfalls mit Satellithilfe – noch genauere Messungen von Meeresspiegelschwankungen.