

Ringfahndung im Untergrund

Als Erste haben es Geodäten der TUM geschafft, im Labor die Schwankungen der Erdachse direkt zu bestimmen. In einem Untergrundlabor haben sie dafür den stabilsten Ringlaser der Welt konstruiert, der Veränderungen der Erdrotation anzeigt.





So fing es an: Karl Ulrich Schreiber 2001 am Ringlaser des Geodätischen Observatoriums Wettzell. Die Weiterentwicklung hat die Apparatur verändert (s. Titelbild), das Prinzip aber ist geblieben: Zwei Lichtstrahlen durchlaufen in entgegengesetzten Richtungen eine quadratisch angeordnete Bahn mit Spiegeln in den Ecken, die in sich geschlossen ist. Befestigt ist der Strahlenverlauf mit vier Balken auf einer Scheibe. Bei Betrieb senkt sich eine Druckkammer über die Konstruktion.



Winterstimmung am Observatorium Wettzell; in der Mitte der Ringlaserhügel mit dem Untergrundlabor

Die Erde schlingert. Wie bei einem Brummkreisel, den man antippt, schwankt die Lage ihrer Rotationsachse im Raum, weil die Gravitation von Sonne und Mond auf sie einwirkt. Gleichzeitig ändert sich auch die Position der Rotationsachse auf der Erde permanent: Zum einen verursachen Ozeanbewegungen, Wind und Luftdruck eine Bewegung der Pole, die rund 435 Tage dauert – ein nach seinem Entdecker »Chandler Wobble« getauftes Phänomen. Zum anderen ändert sich die Position im Jahresverlauf, weil die Erde auf einer elliptischen Bahn um die Sonne rast – dem »Annual Wobble«. Die beiden Effekte ergeben eine unregelmäßige Wanderung der Erdachse auf einer kreisähnlichen Linie mit einem Radius von maximal sechs Metern.

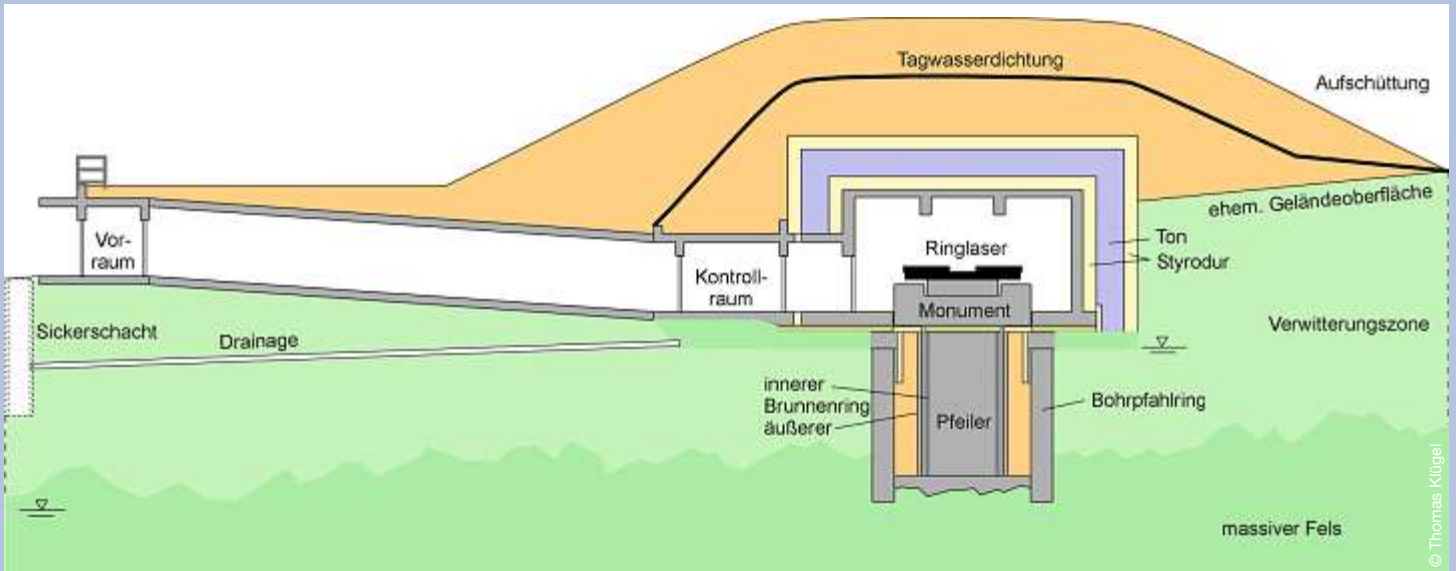
Bislang kann man die Wanderungen der Polachse nur indirekt über deren Stellung im Verhältnis zu Fixpunkten im All feststellen. Die Lage der Achse und die Drehgeschwindigkeit zu messen, ist Voraussetzung für die exakte Bestimmung einzelner Punkte auf der Erde, etwa für moderne Navigationssysteme oder die Vorhersage von Bahnen in der Raumfahrt. »Einen Punkt für die GPS-Ortung zentimetergenau zu bestimmen, ist ein hochdynamischer Vorgang – schließlich bewegen wir uns in unseren Breiten pro Sekunde um circa 350 Meter nach Osten«, sagt Prof. Karl Ulrich Schreiber, der in der Forschungseinrichtung Satellitengeodäsie der TUM das Projekt geleitet hat. Bislang sind weltweit 30 Radioteleskope im Einsatz, um die Lage der Achse im Raum und die Drehgeschwindigkeit der Erde in einem aufwendigen Prozess zu berechnen. Abwechselnd messen acht bis zwölf von ihnen jeden Montag und Donnerstag die Richtung zu bestimmten Quasaren. Die Wissenschaftler ge-

Das Geodätische Observatorium Wettzell stellt für die Aufgaben der Geodäsie (Erdvermessung) relevante Beobachtungen und Messungen bereit. Betrieben wird es im Rahmen der Forschungsgruppe Satellitengeodäsie (FGS):
 Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)
 Forschungseinrichtung Satellitengeodäsie (FESG) und
 Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie (IAPG) der TUM
 Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut (DGFI)
 Geodätisches Institut der Universität Bonn (GIUB).

Der Betrieb des Geodätischen Observatoriums wird verantwortlich gemeinsam getragen vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) und der Forschungseinrichtung Satellitengeodäsie (FESG).

hen davon aus, dass diese Galaxiekern ihre Position nicht ändern und deshalb als Fixpunkte dienen können.

An dem Verfahren beteiligt ist das Geodätische Observatorium Wettzell, das die TUM und das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) betreiben. Mitte der 90er-Jahre nahmen sich Wissenschaftler von TUM und BKG gemeinsam mit Kollegen der neuseeländischen University of Canterbury vor, eine Methode zu entwickeln, kontinuierlich und weniger aufwendig den



© Thomas Klügel

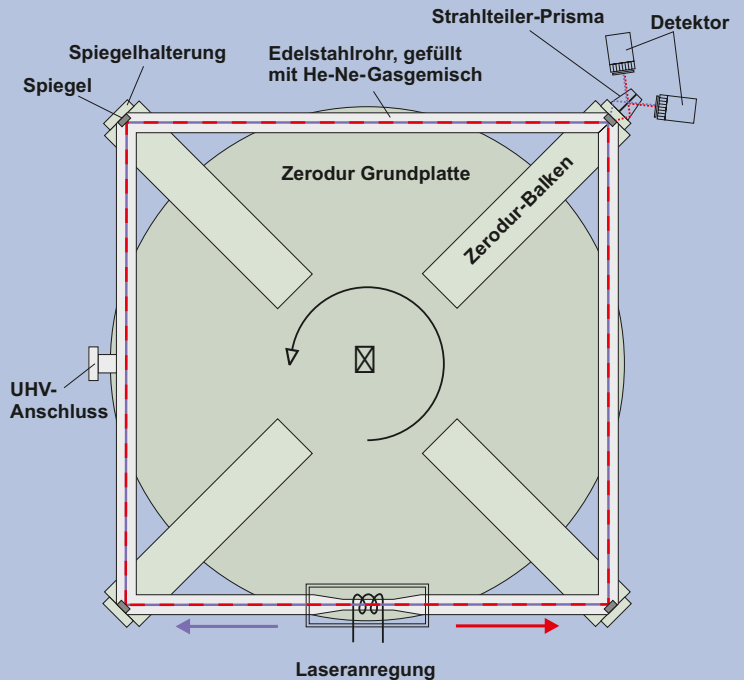
Schema des Untergrundlabors. Der Ringlaser ist in einem Labor in fünf Metern Tiefe in einem massiven Betonpfeiler verankert, der wiederum in rund sechs Metern Tiefe auf massiven Fels der Erdkruste gegründet ist. Nach oben und zur Seite hin

ist das Labor isoliert mit Schichten aus Styrodur und Ton sowie einem vier Meter hohen Erdhügel. Der Zugang erfolgt durch einen 20 Meter langen Tunnel mit fünf Kühlraumtüren. Der Raum zur Datenerfassung ist mit einer Schleuse vom Laserraum getrennt.

Chandler und den Annual Wobble zu bestimmen. »Außerdem wollten wir mit einer Alternative systematische Fehler ausschließen«, erklärt Schreiber. »Schließlich wäre es ja möglich, dass die angenommenen Fixpunkte gar keine sind.« Die Wissenschaftler hatten die Idee, zu diesem Zweck einen Ringlaser zu konstruieren, wie er in Flugzeugen zur Navigation dient – nur millionenfach genauer. »Damals sind wir beinah ausgelacht worden, weil das kaum jemand für möglich hielt«, erinnert sich Schreiber.

Doch Ende der 90er-Jahre wurde es Wirklichkeit: Auf dem Gelände des Wettzeller Observatoriums ging der heute stabilste Ringlaser der Welt in Bau. Zwei Lichtstrahlen durchlaufen in entgegengesetzter Richtung eine quadratisch angeordnete Bahn mit Spiegeln in den Ecken, die in sich geschlossen ist (daher die Bezeichnung Ringlaser). Dreht sich eine solche Apparatur, hat der in Drehrichtung wandernde Laserstrahl einen längeren Weg als der gegenläufige. Daraufhin passen die Strahlen ihre Wellenlänge an, die optische Frequenz ändert sich. Aus dieser Differenz kann man auf die Drehgeschwindigkeit schließen. In Wettzell dreht sich nicht der Ringlaser selbst, sondern nur die Erde: Die vier mal vier Meter lange Konstruktion ist in einem massiven Betonpfeiler verankert, der wiederum in rund sechs Metern Tiefe auf massiven Fels der Erdkruste gegründet ist, damit ausschließlich die Erdrotation auf die Laserstrahlen wirkt.

Wie die Drehung der Erde das Licht beeinflusst, ist abhängig vom Standort des Lasers: »Stunden wir am Pol, wären Drehachse der Erde und Drehachse des Lasers



© Thomas Klügel

Schema des Ringlasers. Zwei Lichtstrahlen durchlaufen in entgegengesetzten Richtungen eine quadratisch angeordnete Bahn mit Spiegeln in den Ecken, die in sich geschlossen ist. Befestigt ist der Strahlenverlauf mit vier Balken auf einer Scheibe, die jeweils aus Zerodur gefertigt sind. Über den Detektor werden die optischen Frequenzen gemessen. Am Ultrahochvakuum-(UHV)-Anschluss können andere Geräte angeschlossen werden, etwa zur Druckmessung.



© Andreas Heddergott

Der Ringlaser in Betrieb: Eine Druckkammer schirmt die gesamte Konstruktion ab. Sie garantiert optimale Arbeitsbe-

dingungen für den Laser und steuert bei Abweichungen von Luftdruck oder Temperatur automatisch gegen.

identisch, und wir würden die Drehgeschwindigkeit eins zu eins sehen«, erläutert Schreiber. »Am Äquator dagegen würde der Lichtstrahl gar nicht merken, dass sich die Erde dreht.« Die Wissenschaftler müssen deshalb die Position des Wettzeller Lasers auf dem 49. Breitengrad berücksichtigen. »Ändert sich nun die Achse der Erdrotation, ändert sich auch das, was wir von der Drehgeschwindigkeit sehen. Die Veränderungen im Verhalten des Lichts zeigen also die Schwankungen der Erdachse an.«

»Das Prinzip ist einfach. Die große Schwierigkeit bestand darin, den Laser so stabil zu halten, dass wir ein solch schwaches geophysisches Signal störungsfrei messen können – und das über Monate«, macht Schreiber klar. Das heißt, die Wissenschaftler mussten Änderungen in den Frequenzen ausschließen, die nicht von der Drehbewegung der Erde, sondern von Umwelteinflüssen wie Luftdruck und Temperatur herrühren. Ihre wichtigsten Instrumente waren eine Glaskeramikplatte und eine Druck-

kabine. Auf die neun Tonnen schwere Platte aus Zerodur montierten die Forscher den Ringlaser. Auch die balkenartigen Halterungen wurden aus dem glaskeramischen Werkstoff gefertigt, der den großen Vorteil hat, auf Temperaturänderungen kaum zu reagieren. Geschützt wird die Konstruktion durch die Druckkabine; sie registriert Änderungen des Luftdrucks und der Temperatur von 12 Grad und steuert automatisch gegen. Um solche Einflüsse von vornherein gering zu halten, liegt das Labor in fünf Metern Tiefe, nach oben hin isoliert mit Schichten aus dem Hartschaum Styrodur, Ton und einem vier Meter hohen Erdhügel. Die Wissenschaftler müssen einen 20 Meter langen Tunnel mit fünf Kühlraumtüren und eine Schleuse passieren, ehe sie zum Laser gelangen.

Unter diesen Bedingungen ist es den Forschern gelungen, die aus den Messungen der Radioteleskope stammenden Daten zur Ausprägung des Chandler Wobble und des Annual Wobble zu bestätigen, berichtet Schrei-

ber: »Wir schaffen es mittlerweile, die Rotation der Erde auf acht Stellen nach dem Komma genau zu bestimmen.«

Nächstes Ziel ist nun zum einen, die Genauigkeit der Konstruktion so zu erhöhen, dass sie Veränderungen der Erdrotationsgeschwindigkeit eines einzelnen Tages erfassen kann; zum anderen wollen die Wissenschaftler Ringlaser für einen dauerhaften Betrieb rüsten, bei dem die Apparatur auch über Jahre keine Abweichungen produziert. Karl Ulrich Schreiber drückt es so aus: »Salopp gesagt, wollen wir künftig mal eben in den Keller gehen können und nachschauen, wie schnell sich die Erde gerade dreht.«

Klaus Becker

www.fs.wetzell.de

Medienecho:

»Der Laser ist nun so aufgebaut, dass sich seine Farbe den veränderten Wegen anpasst; diese Frequenzverschiebung zwischen den beiden Strahlen ist für die Forscher ein Maß dafür, wie schnell sich die Erde gerade dreht.«

Süddeutsche Zeitung, 20. Dezember 2011

»Ringlaser kommen zwar schon seit vielen Jahren in Flugzeugen als Navigationsinstrument zum Einsatz. Doch das von den Münchner Forschern gebaute Instrument ist millionenfach präziser – und das muss es auch sein, um die feinen Schwankungen der Erdachse ›sehen‹ zu können.«

Die Welt, 4. Januar 2012

»Die Mühe machte sich bezahlt. Die Forscher konnten zwei bekannte Effekte nachweisen, die die Erdachse ins Schlingern bringen. Der eine hängt mit der elliptischen Umlaufbahn der Erde um die Sonne zusammen, der andere wird durch Ozeanwellen und Luftbewegungen hervorgerufen.«

Neue Zürcher Zeitung, 28. Dezember 2011

Ein Radiobeitrag zum Thema Ringlaser ist im Audio on Demand des Deutschlandfunks zu hören:

www.dradio.de/dlf/sendungen/forschak/1649159/

Preis für Pressemitteilung über den Ringlaser

Nicht nur die Forschung am Ringlaser ist bemerkenswert – die American Physical Society stuft die Arbeit als »Exceptional Research Spotlight« ein. Auch die Pressemitteilung »Rotation der Erde erstmals unmittelbar gemessen« aus dem Corporate Communications Center (CCC) der TUM fand starkes internationales Echo und bekam sogar einen Preis: Die vom PR-Referenten Klaus Becker verfasste Meldung landete im idw-Preis für Wissenschaftskommunikation auf dem zweiten Platz. Der Informationsdienst Wissenschaft (idw) zeichnet im idw veröffentlichte Pressemitteilungen aus, die von hoher Qualität, Relevanz und Originalität sind. Die Meldung der TUM lag in den Kategorien »handwerkliche Professionalität« und »wissenschaftliche Bedeutung« gleichauf mit der erstplatzierten.



1 000 Euro für den zweiten Platz im idw-Preis nahmen der Leiter des CCC, Dr. Ulrich Marsch (l.), und PR-Referent Klaus Becker mit nach Hause. Die köstlichen »Wissen-ist-süß«-Pralinen hat das CCC-Team bereits aufgegessen.

Der idw ist im Internet eine der wichtigsten Plattformen für Nachrichten aus Hochschulen und Wissenschaft im deutschsprachigen Raum. Als Vermittler zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit, insbesondere zwischen Pressestellen von Wissenschaftseinrichtungen und Journalisten, ermöglicht er den direkten Zugriff auf aktuelle Informationen aus erster Hand. Pro Jahr verbreitet der idw rund 20 000 Pressemitteilungen aus allen Wissenschaftsgebieten.

Der jährlich ausgeschriebene idw-Preis soll die Professionalisierung der Wissenschaftskommunikation fördern. Der Preis würdigt im idw veröffentlichte Pressemitteilungen des Vorjahres, die von hoher handwerklicher Professionalität sind und die einen überragenden Nachrichtenwert sowie wissenschaftliche Bedeutung haben. Pro Einrichtung konnte eine Pressemitteilung eingereicht werden. Insgesamt hatten sich 74 Wissenschafts-Pressestellen aus Deutschland, Österreich, der Schweiz und Frankreich um den idw-Preis 2011 beworben. ■