

Und sie dreht sich doch – Wie die Erdrotation bis heute die Wissenschaft beschäftigt

Martin Bünningel

■ Die Rotation der Erde bestimmt den Takt unseres Lebens – unterteilt in 24 Stunden. Die Drehbewegung und Ausrichtung des Planeten im Raum muss bekannt sein – sie ist entscheidend für Satellitennavigation und Astronomie. Doch die Erde taumelt und schlingert. Und während die Tage pro hundert Jahre im Schnitt um 1,79 Millisekunden länger werden, hat die Erde seit dem Jahr 2016 begonnen, sich schneller zu drehen.

Während Sie diesen Artikel lesen, bewegen Sie sich mit rund 1260 km/h in Richtung Osten. Sie sind also ein sehr schneller Leser – aber ihr Tag ist selten gleich lang.

Die Astronomie schenkte uns Ende des 19. Jahrhunderts die Erkenntnis, dass die Erde ungleichmäßig rotiert und allmählich langsamer wird. Die Reibung der Gezeiten sorgt für ein stetiges Abbremsen der Erde – im Schnitt um 1,79 Millisekunden in jedem Jahrhundert.

Die Erde schlingert um ihre Achse, beschleunigt und bremst ihre Rotation im Millisekundenbereich – innerhalb von 24 Stunden. Doch die Lage der Achse und die Drehgeschwindigkeit zu kennen, ist Voraussetzung für die exakte Bestimmung einzelner Punkte auf der Erde, für Navigationssysteme und Positionsbestimmung – im Abgleich mit einer hochpräzisen Zeit-Taktung.

24 Stunden haben 86.400 Sekunden. Seit 1967 ist die Dauer einer Sekunde über ein Mikrowellensignal definiert, das die Cäsiumatome in einer Atomuhr anregt. Eine Sekunde entspricht in dieser Universalzeit (UT) im Takt der Internationalen Atomzeit (TAI) exakt 9.192.631.770 Schwingungen dieses Signals. Doch der Zerfall von Cäsiumatomen in Atomuhren befindet sich nicht im Gleichschritt mit der astronomischen Zeit, bei der eine exakte 360°-Drehung der Erde bezüglich der Sonne einen Tag bemisst.

Ende der Schaltsekunde ab 2035

So lief die astronomische Zeit der Universalzeit bereits 1972 um 10 Sekunden hinterher. Um die Differenz zukünftig auszugleichen, wurde eine Atomzeitskala mit Schaltsekunden eingeführt. Die Schaltsekunde machte aus der Atomzeit die »koordinierte Weltzeit« UTC. Insgesamt 27 Schaltsekunden wurden der UTC so in den vergangenen 51 Jahren hinzugefügt. Das letzte Mal am 31. Dezember 2016.

Aber spätestens ab 2035 wird es keine Schaltsekunden mehr geben. Am 18. November 2022 beschlossen Delegierte internationaler Regierungen auf der »Generalkonferenz für Maß und Gewicht« (CGPM) das Ende der Korrekturen und folgten damit den Forderungen der IT-Konzerne, die

die immer erst ein halbes Jahr zuvor und somit sehr kurzfristig angekündigten Schaltsekunden vor große technische und organisatorische Probleme stellten – insbesondere in Betriebssystemen von Computern, Servern und bei der Erzeugung von eindeutigen Zeitstempeln in Netzwerken.

Erdbeben, Wind und Gletscherschmelze

Verantwortlich für den kurzen Vorlauf zur Einfügung einer Schaltsekunde ist die unvorhersehbare Veränderung der Rotationsgeschwindigkeit der Erde. Denn neben den langfristig wirkenden Bremswirkungen der Gezeitenreibung haben auch Erdbeben, Vulkanausbrüche, Gletscherschmelzen, der flüssige äußere Erdkern, der Jetstream bis hin zu Winden über den Rocky Mountains und Anden Einfluss auf die Drehgeschwindigkeit und Rotationsachse der Erde.

Periodisches Taumeln

Neben der Drehung um die eigene Achse taumelt der Erdkörper periodisch um die Rotationsachse. Zum einen und bedingt durch ihre elliptische Bahn um die Sonne in einem »Annual Wobble« genannten Effekt. Zum anderen, ausgelöst durch Ozeanbewegungen, Wind und Luftdruck, in einem nach seinem Entdecker benannten Phänomen, dem »Chandler Wobble«-Effekt.

Beide Phänomene addiert verursachen eine unregelmäßige Wanderung der Rotationsachse bezüglich des Erdkörpers auf einer kreisähnlichen Bahn mit einem Radius von bis zu 6 Metern. Von einem geostationären Satelliten aus betrachtet, wandern bei dieser Polbewegung Straßen, Städte, Flüsse und Berge aufgrund dieser Effekte im Laufe eines halben Jahres um bis zu 15 Meter hin und her.

Langfristige und periodische Richtungsänderungen der Erdrotationsachse im inertialen Raum hingegen werden »Präzession« und »Nutation« genannt.

Präzession

Hauptsächlich verursacht durch die Anziehungskräfte der Sonne beschreibt die Präzession die Bewegung eines Kegels mit einem Öffnungswinkel von 23,5°, also dem Winkel zwischen Erdäquator und Erdbahn. Informationen über das langfristige Verhalten dieses Erdrotationsparameters erhält die Wissenschaft aus historischen Aufzeichnungen über Mond- und Sonnenfinsternisse und aus der Untersuchung von Sedimentablagerungen. Demnach beträgt die Umlaufperiode der Präzession rund 25.800 Jahre.

Nutation

Kurzfristige und kleine periodische Richtungsänderungen der Rotationsachse werden mit der Nutation beschrieben (lateinisch für »nicken«), die, unter anderem, durch die Neigung der Mondbahn zur Ekliptikebene der Erde hervorgerufen wird – also durch die 5,1-Grad-Abweichung des Mondumlaufwinkels im Verhältnis zum Umlaufwinkel der Erde um die Sonne. Über die Nutation ergeben sich verschiedene periodische Schwankungen der Erdachse von 18,6 Jahren, 9,2 und 6,8 Jahren. Zudem von einem halben Jahr sowie jährlichen Perioden und Zyklen von 13,5 Tagen.



Quelle: AntonYankoviy / [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Earth_Rotation_\(Nepal,_Himalayas\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Earth_Rotation_(Nepal,_Himalayas).jpg) <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>

Die Langzeitbelichtung des nördlichen Nachthimmels über dem nepalesischen Himalaya zeigt die scheinbaren Bahnen der Sterne aufgrund der Erdrotation.

Very Long Baseline Interferometry (VLBI)

Für die Wissenschaft sind die Erdorientierung und Erdrotation heute sehr weit erforschte Effekte. Seit den 1970er Jahren werden sie über geodätische Weltraumverfahren beobachtet. Zum Einsatz kommt dabei etwa die »Very Long Baseline Interferometry« (VLBI), bei der Paare von Radioteleskopen in Europa, Japan und Amerika zur simultanen Beobachtung von Quasaren und Radiogalaxien genutzt werden.

Dabei trifft das elektromagnetische Rauschen der Radioquellen zu unterschiedlichen Zeiten bei den Radioteleskopen auf der Erde ein. Aus der Differenz können Computer unter anderem die Tageslänge und die Rotationsachse der Erde berechnen (mehr dazu im Beitrag »Das Schwarze Loch und die Erdrotation«, erschienen in zfv 3/2021).

Rotational Motions in Seismology (Romy)

Während die Interferometrie für ihre Messungen Quasare und Radiogalaxien in den Tiefen des Alls benötigt, war es lange Zeit der Traum der Geodäsie, Rotationsveränderungen auch unmittelbar auf der Erde messen zu können – in einem Rotationssensor, der von externen Referenzsystemen unabhängig ist. Seit 2017 ist dieses erdgebundene Messverfahren prinzipiell in Fürstentfeldbruck möglich – in einem weltweit einzigartigen Ringlaser.

Die Anlage der TU München mit dem Namen »Romy« (Rotational Motions in Seismology) besteht aus vier exakt gleichgroßen Dreiecken mit je einem Ringlaser. Das Prinzip: Werden Laserstrahlen in entgegengesetzter Richtung auf einen Rundkurs geschickt, braucht der Strahl, der mit der Erddrehung läuft, geringfügig länger, da er eine längere Strecke zurücklegen muss. Aus den Laufzeitunterschieden lassen sich die Bewegungen der Erde errechnen (mehr dazu im Beitrag »Eine runde Romy«, erschienen in zfv 2/2018).

Neue Rätsel, Theorien und Forschung

Der Wissenschaft stehen mit geodätischen Raumverfahren wie VLBI, dem »Satellite Laser Ranging« (SLR), dem Dopplersatelliten-System (DORIS) und dem »Global Navigation Satellite System« (GNSS) heute hochpräzise Messverfahren zur Verfügung, die immer auch Rückschlüsse auf Zusammenhänge bei Rotationsänderungen der Erde zulassen und neue Theorien ermöglichen.

Bei der Untersuchung der natürlichen Klimaschwankungen stellten Forscher des GeoForschungsZentrums Potsdam (GFZ) so zum Beispiel fest, dass das Spektrum der Hauptfrequenzen der Tageslängen-Änderungen in der Vergangenheit mit den Schwankungen der Mitteltemperatur der Atmosphäre und der atmosphärischen Dynamik verblüffend übereinstimmt.

Und als die Erde am 29. Juni 2022 begann, sich plötzlich um 1,59 Millisekunden schneller zu drehen, war dies zwar kein neues Phänomen. Eine Beschleunigung der Rotation hatte seit Beginn der Messungen in den 1960er Jahren schon mehrmals stattgefunden – das erste Mal 2016. Doch die 28 kürzesten Tage fanden bis 2022 alle im Jahr 2020 statt. Die Ursache ist bislang nicht geklärt, muss aber mit einer Massenverlagerung in oder auf der Erde zusammenhängen, vermutet das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Denn die Erde dreht sich immer dann schneller, wenn Masse näher an ihren Mittelpunkt rückt.

Kommt es hingegen auf den Kontinentalplatten zu Massenverlagerungen, ausgelöst durch Erdbeben, zeigt sich ein gegenteiliger Effekt. Ein Erdbeben mit der Magnitude 8,8 im Jahr 2010 in Chile hatte zum Beispiel zur Folge, dass die darauf folgenden Tage 0,3 Mikrosekunden länger wurden und sich die Rotationsachse um sieben Zentimeter verlagerte.

Kontakt: martin.buennagel@zon-verlag.de