

Der längste Tag – warum schwankt die Erdrotation?

Martin Bünnagel

■ Die Erde bremst. Nach einer Phase der beschleunigten Erdrotation erwartet der International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS) nach einer aktuellen Berechnung im Jahr 2025 den längsten Tag seit 2019. Mond, Gezeiten, Erdkern, Winde und nun auch der Mensch? Die komplexen Ursachen der Erdrotationschwankungen sind bis heute nur ansatzweise verstanden und werden weltweit erforscht.

Gebannt blickte die wissenschaftliche Welt Ende 1974 auf eine taumelnde Erde. Eine unsichtbare Kraft wirkte auf die Rotation des Planeten und bremste die rund sechs Trilliarden Tonnen Masse der Erde plötzlich ab – die Tage wurden um rund drei Millisekunden länger. Nur wenige Tage später, in den ersten Januartagen des Jahres 1975, wiederholte sich der Spuk ebenso unvermittelt. Die Rotation beschleunigte sich wieder, die Tage verkürzten sich um rund eine Millisekunde, berichtete damals das Magazin »Physik unserer Zeit«. Die Erde, sie dreht sich. Bremst, beschleunigt und taumelt. Periodisch, zyklisch, häufig auch scheinbar spontan und, laut aktueller Studien, nun auch menschengemacht.

Die Satellitennavigation des 21. Jahrhunderts, und damit eine Fülle von Nutzeranwendungen, ist angewiesen auf die exakte Erfassung der Rotationschwankungen – mit geodätischen Weltraumverfahren im Mikrosekunden-Bereich – und auf Prognosen. Denn jede Änderung der Erdrotationsgeschwindigkeit hat Folgen: drei Millisekunden klingen nicht viel, doch bei der Bestimmung von Positionen per Satellit, heutzutage mit einer Präzision im Millimeter-Bereich, entsprechen drei Millisekunden am Äquator einer Abweichung von ca. 150 Zentimetern – ein fataler Fehler, bliebe er unbemerkt. Denn Präzision ist entscheidend für Satelliten-Navigationssysteme wie GPS oder Galileo. Nur wenn man die Erdrotation exakt beschreiben kann, lassen sich auch die Koordinaten auf der Erdoberfläche mit maximaler Genauigkeit angeben. Ohne genaue Positionsbestimmung und Navigation dreht sich im 21. Jahrhundert praktisch nichts mehr.

Die durchschnittliche Dauer einer 360-Grad-Rotation der Erde, der sogenannte mittlere siderische Tag – bezogen auf ferne Sterne, beträgt derzeit 23 Stunden, 56 Minuten und 4,0989 Sekunden. Dies entspricht der vom IERS festgelegten nominellen mittleren Rotationsgeschwindigkeit von 465,1 Metern pro Sekunde. Ein Tag, der auf die Sonne bezogen ist, wird dagegen als Sonntagag bezeichnet. Letzterer ist vier Minuten länger und dauert exakt 24 Stunden. Das Maß für die Fluktuationen der Rotationsgeschwindigkeit ist die Änderung der Tageslänge.

Erdkern und Mantel

Maßgeblichen Einfluss auf die Erdrotation haben Massenverlagerungen in Atmosphäre, Hydrosphäre, im Eiskörper – und im Erdkern des Planeten. Der innere Kern, eine feste Kugel aus Eisen und Nickel vom Durchmesser des Erdmondes, ist von einem flüssigen äußeren Erdkern umgeben. Schon lange geht die Forschung davon aus, dass sich der Kern unabhängig vom Rest des Planeten dreht. Einige Studien deuteten auf eine kontinuierliche Rotation des Erdkerns hin, andere auf eine oszillierende Bewegung. Die Verlangsamung des Kerns kann laut den Studien die Länge eines Tages im Bereich einer Tausendstelsekunde beeinflussen.

Eine aktuelle Veröffentlichung in der Fachzeitschrift »Nature« lieferte jüngst Belege für ein Modell, bei dem der innere Kern zunächst in eine Richtung rotiert, dann langsamer wird, die Richtung ändert und sich in die Gegenrichtung dreht – und das in einem Zyklus von etwa 70 Jahren. Demnach dreht sich der innere Kern in Relation zum Erdmantel seit 2010 langsamer, mit einer Verlängerung des Tages im Millisekundenbereich.

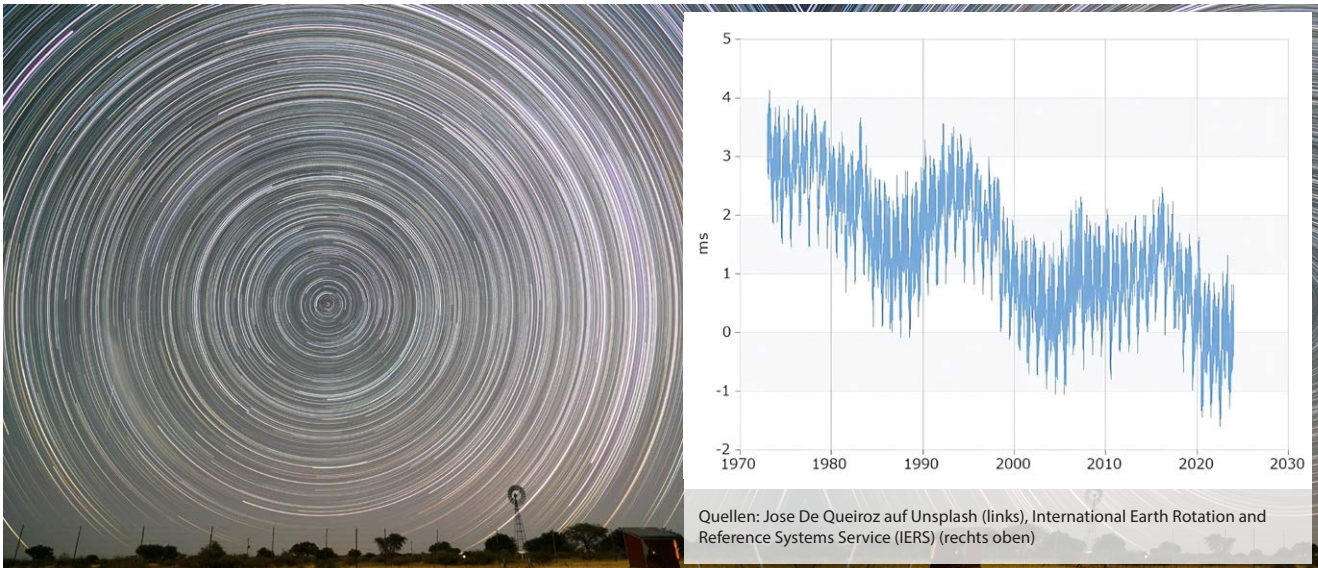
Mond und Gezeiten

Eine Etage darüber, an der Erdoberfläche, zerrt der Mond an den Ozeanen. Die beiden entgegengesetzten Flutberge bremsen die Rotationsgeschwindigkeit der Erde stetig ab. So drehte sich die junge Erde vor 4,5 Milliarden Jahren noch erheblich schneller als heute – nur zehn Stunden maß damals ein Tag. Der Mond umkreiste die Erde auf einer wesentlich engeren Bahn und peitschte sehr viel mächtigere Gezeiten über den Globus als heute. Die Erdrotation verlangsamte sich. Vor 400 Millionen Jahren dauerte ein Tag rund 22 Stunden, heute sind es 24, durchschnittlich verlängert sich die Tageslänge durch die Gezeitenkräfte heute um 1,8 Millisekunden (ms) pro Jahrhundert. Dies entspricht rund 23 Mikrosekunden pro Jahr.

Aber auch an der festen Erde zerrt der Mond. Er hebt und senkt den Erdboden im Rhythmus der Gezeiten in Europa heute um etwa 80 Zentimeter. Die wichtigsten durch Gezeiten der festen Erde verursachten Perioden liegen bei 9,13 d (Amplitude 0,07 ms), 13,63 d (0,15 ms), 13,66 d (0,35 ms) und 27,55 d (0,19 ms). Und auch die Sonne zerrt an der Erde. Zwar nur mit einer Gezeitenkraft von 46 Prozent im Vergleich mit unserem Trabanten. Doch ebenso wie der Mond verursacht auch sie einen Gezeitenwulst.

Schaltsekunde

Im Zeitalter der Atomuhren stört das Auf und Ab der Gezeiten. Denn wird diese Bremse nicht gerade durch andere, die Erdrotation beschleunigende Effekte aufgehoben,



Links: Eine 360-Grad-Rotation der Erde, der sogenannte mittlere siderische Tag, beträgt derzeit 23 Stunden, 56 Minuten und 4,0989 Sekunden. Rechts: Schwankung der Tageslänge 1972 bis 2024 in Millisekunden (ms), also Abweichung der beobachteten Tageslänge von 86.400 Sekunden.

weicht der reale Sonnentag mit der Zeit von der Weltzeit UTC (Coordinated Universal Time) ab, der mit der gleichförmigen Gangrate der Internationalen Atomzeit (TAI) genau 86.400 Sekunden dauert. Um diese Differenz auszugleichen, wird durch den IERS ab und zu eine Schaltsekunde eingefügt, um die Abweichung zu einem 24-Stunden-Tag stets unterhalb von 0,9 Sekunden zu halten. So gab es zwischen 1972 und 2016 ganze 27 Schaltsekunden – verblüffenderweise seit acht Jahren aber nicht mehr. Denn aufgrund der variierenden Rotationsgeschwindigkeit der Erde passt das IERS die Einschübe der Schaltsekunden jeweils an die Schwankungen an. So wurde seit dem Jahr 2016 keine Schaltsekunde mehr eingefügt, weil sich die durchschnittliche Länge des Sonnentags seitdem wenig geändert hat.

Klimawandel

Doch mittlerweile verändert auch der Mensch die Rotationsgeschwindigkeit der Erde. Wissenschaftler der ETH Zürich haben in einer aktuellen Modellierung gezeigt, dass Klimawandel und Erderwärmung bis zum Ende des Jahrhunderts sogar einen größeren Einfluss auf die Rotationsgeschwindigkeit des Planeten haben könnten als der Mond. Denn die Eismassen in Grönland und der Antarktis schmelzen. Das Wasser aus den Polgegenden fließt in die globalen Ozeane und vor allem auch in den Äquatorbereich. Diese Massenverlagerung verlangsamt die Rotationsgeschwindigkeit und verlängert den Tag. Für die ersten zwei Jahrzehnte des 21. Jahrhunderts errechneten die Experten, dass die Tageslänge klimabedingt durchschnittlich um 1,33 Millisekunden zunahm. Bei einem pessimistischen Szenario – bei dem die Polkappen stark schmelzen – ergibt sich laut der Studie eine klimabedingte Verlängerung des Tages um 2,62 Millisekunden pro Jahrhundert.

Winde und Jetstream

Eine Entwicklung, die jedoch immer wieder unterbrochen wird. So verzeichnete das IERS im Jahr 2022 den kürzesten Tag seit Einführung der Atomuhr – der 29. Juni dieses Jahres war 1,59 Millisekunden kürzer. Und sogar an 28 Tagen im Jahr 2020 war die Tageslänge kürzer als der bis dahin gemessene Rekordwert vom 5. Juli 2005. Forscher sind sich bislang noch uneinig über die genauen Ursachen für die schnellere Erdrotation, aber sie haben einige Hinweise gefunden. Insbesondere Winde könnten demnach mit den Prozessen im Zusammenhang stehen.

Fest steht seit langem, dass sie die Erdrotation beeinflussen. So existiert eine schwache, in etwa zweijährige Schwingung aufgrund ungleichmäßiger Variationen zonaler Winde und Temperaturen in der tropischen Troposphäre und Stratosphäre. Ihre Amplitude variiert von Zyklus zu Zyklus, beträgt jedoch in der Regel weniger als 0,10 Millisekunden. Und auch der Jetstream in der nördlichen Hemisphäre hat Einfluss auf die Umdrehung der Erde. Immer wenn er stärker wird, nimmt der Drehimpuls der Atmosphäre zu und der Drehimpuls der festen Erde nimmt ab.

Auch vor 50 Jahren standen Winde im Verdacht, für die abrupten Beschleunigungen und Bremsungen der Rotationsgeschwindigkeit im Dezember 1974 und im Januar 1975 ursächlich zu sein. Wie das Magazin »Physik unserer Zeit« berichtete, vermuteten Wissenschaftler damals, dass Änderungen der Windgeschwindigkeit in 30 Kilometer Höhe für die überraschend starken Effekte verantwortlich gewesen sein könnten.

Seit dem Jahr 2023 dreht sich die Welt nun wieder langsamer. Sie wird den längsten Tag seit 2019 nach Angaben des IERS im März 2025 erleben. Warum dies so ist, darum dreht sich die Wissenschaft und lässt die Forschung rotieren.

Kontakt: martin.buennagel@zon-verlag.de