Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft

Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft

Band: 67 (2009)

Heft: 352

Artikel: Viele Faktoren bestimmen die Länge einer Sonnenfinsternis : wann und wo könnte die längste totale Sonnenfinsternis eintreten?

Autor: Baer, Thomas

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-897291

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: 22.07.2025

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

Viele Faktoren bestimmen die Länge einer Sonnenfinsternis

Wann und wo könnte die längste totale Sonnenfinsternis eintreten?

Von Thomas Baer

Am 21./22. Juli 2009 ereignet sich mit 6 min 40 s Dauer die längste totale Sonnenfinsternis des 21. Jahrhunderts. Die in vielen Astronomiebüchern zitierten 7 min 31.1 s, die eine totale Sonnenfinsternis währen kann, sind Fiktion. In einem Zeitraum von 2000 v. Chr. bis 3000 n. Chr. tritt dieses Ereignis nie ein. Die längste totale Sonnenfinsternis erwartet uns schon recht «bald», nämlich am 16. Juli 2186. Doch lässt sich überhaupt definieren, in welchem Zeitfenster die längsten Totalfinsternisse möglich sind? Wie der nachfolgende Beitrag veranschaulicht, sind viele Faktoren mit zu berücksichtigen.

Auf den ersten Blick scheint die Frage, wann die längstmögliche totale Sonnenfinsternis eintreten kann, gar nicht so schwierig zu beantworten zu sein. Wir wissen, dass der Mond auf einer elliptischen Bahn die Erde umrundet und uns unterschiedlich nahe steht. Zwischen dem Perigäum (356410 km) und dem Apogäum (406740 km) liegen immerhin 50330 km oder fast vier Erddurchmesser, die sich der Mond in Erdferne von uns entfernt. Dies widerspiegelt sich in der scheinbaren Mondgrösse am Himmel. Im Perigäum erscheint uns die Mondscheibe 33.53 Bogenminuten gross, im Apogäum nur 29.23 Bogenminuten. Alle rund 13.65 Tage durchläuft unser Erdtrabant abwechselnd den erdnächsten, dann wieder den erdfernsten Bahnpunkt (Abb. 1).

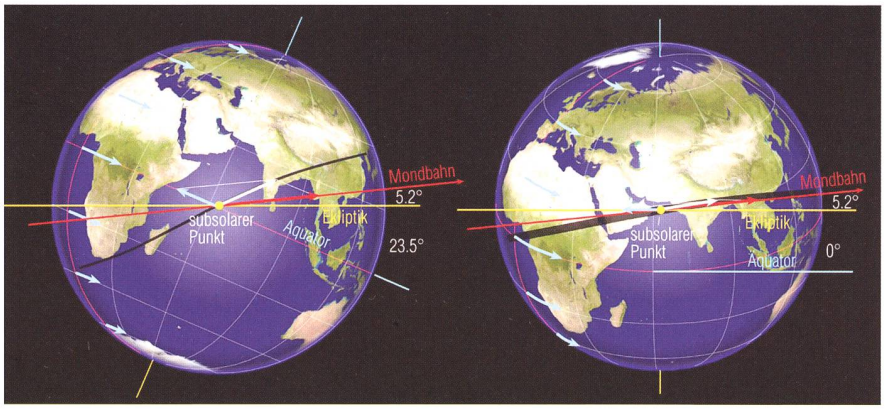


Abb.2: Links sieht man die Erde vom Sonnenzentrum aus gesehen am 21. März (Frühlingsbeginn), rechts zum Zeitpunkt der Sonnenwende am 21. Juni. Würde an diesen Tagen unter den geometrisch optimalsten Verhältnissen eine totale Sonnenfinsternis im aufsteigenden Knoten und durch den subsolaren Punkt (für den Beobachter stünde die Sonne im Zenit) ereignen, hätte der Beobachter am 21. März das Nachsehen. Wie die weissen aus Mondschatten- und Rotationsgeschwindigkeit resultierenden Richtungsvektoren zeigen, wird der Finsternispfad im Frühling stark nach Norden abgelenkt, während der Juni-Beobachter mit dem Schatten «mitfährt». (Grafik: Thomas Baer)

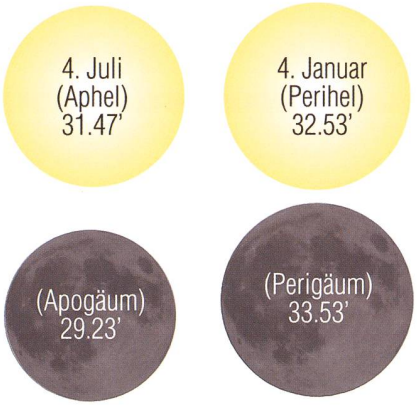


Abb.1: Die variablen Abstandsverhältnisse sorgen für unterschiedliche scheinbare Durchmesser von Sonne (oben) und Mond. (Grafik: Thomas Baer)

Auch die Erde ist auf einer elliptischen Bahn um die Sonne unterwegs. Die kleinste Sonnenentfernung, das so genannte Perihel wird derzeit am 4. Januar mit 147.1 Millionen km durchlaufen, das Aphel, den sonnenfernsten Punkt am 4. Juli mit 152.1 Millionen km. Auch dieser Entfernungsunterschied von 5 Millionen km bewirkt, dass uns die Sonnenscheibe im Januar mit 32.53 Bogenminuten grösser erscheint als im Juli (31.47 Bogenminuten). Die Überlegung wäre nahe liegend, die längstmögliche totale Sonnenfinsternis auf einen 4. Juli zu prognostizieren.

Rotationsgeschwindigkeit ausnutzen

Im Grundsatz ist diese Überlegung nicht falsch. Doch müssen wir noch rein geografische Faktoren mit ins Spiel bringen. Am Erdäquator haben wir mit 1670 km/h die grösste Geschwindigkeit bedingt durch die Erdrotation. Diese nimmt mit dem Kosinus der geografischen Breite ab und beträgt an den Wendekreisen 1531.5 km/h, bei uns in der Schweiz noch rund 1128.2 km/h. Da sich der Mondschatten von Westen nach Osten in die gleiche Richtung bewegt, wie die Erdachse dreht, könnte man von der höheren Geschwindigkeit am Erdäquator profitieren und gewissermassen länger

mit dem Mondschatten «mitfliegen». Die orbitale Geschwindigkeit des Mondes variiert zwischen 3897.0 km/h (in Erdnähe) und 3491.64 km/h (in Erdferne).

Erde steht schief

Die Erde steht bekanntlich nicht senkrecht auf ihrer Bahnebene, sondern ist um 23.5° gekippt. Dies führt dazu, dass von der Sonne aus betrachtet die Polachse der Erde während eines Jahres um diesen Winkel kreiselt (Abb. 2). Aufrecht, sprich senkrecht, steht die Erde von der Sonne aus gesehen folglich nur um den 21. Juni und den 21. Dezember herum, nicht aber im Frühjahr und Herbst.
Da die Mondbahn ihrerseits um 5.2° gegen die Ekliptik geneigt ist, addieren oder subtrahieren sich (abhängig vom auf- oder absteigenden Knoten) im Frühjahr und Herbst Ekliptikschiefe und Mondbahnneigung, was dazu führt, dass der Mondschatten auf der Erde den Äquator unter grossem Winkel (maximal 28.7°) schneidet. Subtrahiert man die Richtungsvektoren von Mondschattengeschwindigkeit (rot) und Erdrotation (hellblau), so resultiert der Richtungsvektor (weiss) für den Schattenpfad im subsolaren Punkt. An einem 21. März würde der Finsternisstreifen im aufsteigenden Knoten eine starke Südwest-Nordwestdrift aufweisen. Finsternisse im Juni und Juli dagegen zeigen einen mehr oder weniger parallelen Verlauf zu den irdischen Breitenkreisen. Je paralleler also ein Beobachter auf der Erde mit dem Mondschatten «mitfahren» kann, desto länger wird er eine totale Sonnenfinsternis erleben, da sich die Richtungsvektoren von Mondschatten und Erdrotation praktisch decken.

Muss die Sonne im Zenit stehen?

Weiter müsste ein Beobachter, um eine optimale Sonnenfinsternis zu erleben, unter dem subsolaren Punkt stehen; er hätte die Sonne im Zenit und wäre dem Mond einen ganzen Erdradius näher, was sich auf den Schattendurchmesser auswirken würde. Dies ist nur innerhalb der beiden Wendekreise möglich. Somit fallen also alle Gebiete ausserhalb dieses Streifens um den Erdäquator für die längsten totalen Sonnenfinsternisse schon einmal

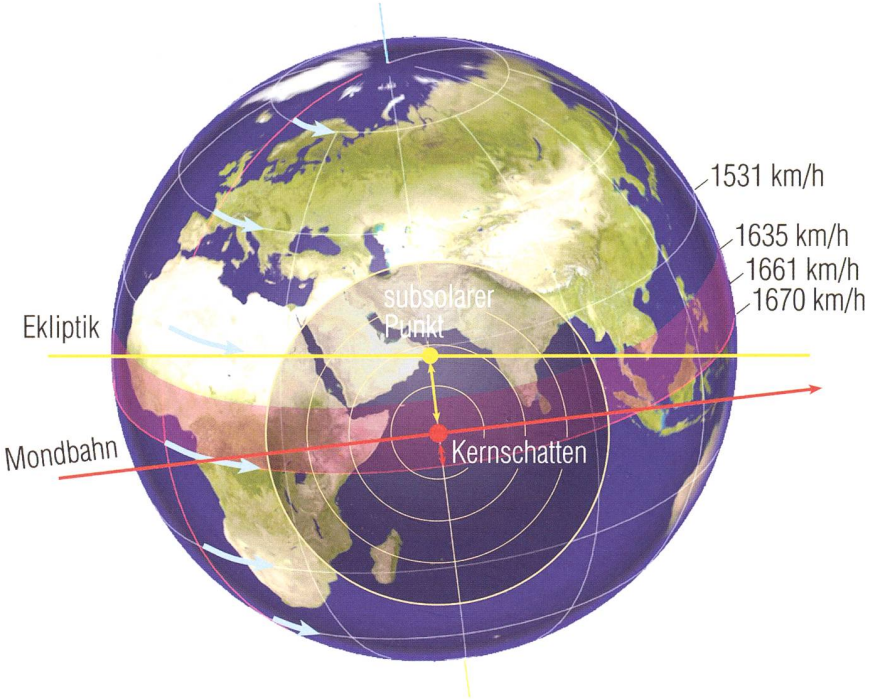


Abb.3: Situation einer totalen Sonnenfinsternis unter optimalen Bedingungen an einem 4. Juli. Der Kernschatten (roter Punkt) läuft innerhalb des Bandes, wo die grösste Rotationsgeschwindigkeit auf der Erde vorherrscht. Ausserdem wandert der Schatten zum Zeitpunkt der Finsternismitte exakt parallel zu den Breitenkreisen und die Entfernung zum subsolaren Punkt (gelb) ist minimal. (Grafik: Thomas Baer)

weg. Auch die Gebiete südlich des Äquators können wir ausschliessen, denn im nördlichen Winterhalbjahr stehen wir ja der Sonne näher, die uns dadurch grösser erscheint. Somit bleibt der Streifen zwischen Äquator und nördlichem Wendekreis übrig oder zeitlich ausgedrückt, die Zeitspanne zwischen dem 21. März und dem 23. September. In dieser Zeit pendelt nämlich die Sonne zwischen dem Äquator und dem nördlichen Wendekreis hin und her.
Wäre folglich eine zentrale totale Sonnenfinsternis dann optimal, wenn der exakte Neumondzeitpunkt mit dem Passieren des Mondknotens zusammenfallen würde? So gesehen würde Neumond genau in der Ekliptikebene eintreten. Fiele dieses Ereignis zugleich auch mit dem subsolaren Punkt zusammen, müssten die Voraussetzungen für die längstmögliche totale Sonnenfinsternis theoretisch gegeben sein. Leider stimmen auch diese Überlegungen nur bedingt.

Sich «störende» Faktoren

Einzelne Faktoren kommen sich nämlich gegenseitig in die Quere. Um den 21. Juni herum läuft zwar die Sonne vorübergehend parallel zu den Breitenkreisen, doch wenn wir von einer Sonnenfinsternis im aufsteigenden Knoten ausgehen, so steht von der Sonne aus gesehen die Erde erst am 4. Juli senkrecht zur Mondschattenrichtung. Wir befinden uns dann zwar auch gleich in Sonnenferne, der subsolare Punkt liegt aber auf 22° 53' noch fast auf dem nördlichen Wendekreis, wo wir nicht die höchste Rotationsgeschwindigkeit haben.
Bei genauerer Betrachtung können gewisse Faktoren gar nie gleichzeitig erfüllt sein! Was uns bleibt, ist lediglich eine grobe Annäherung an den «Tag und den Ort der theoretisch längsten totalen Sonnenfinsternis». Die Parallelität der Mondschattenbewegung mit den irdischen Breitenkreisen scheint relevanter als der Umstand, dass die Finsternis zwingend im subsolaren Punkt eintreten muss. Der Mondschattendurchmesser kann unter optimalen Bedingungen (Perigäum und Finsternis im subsolaren Punkt) maximal einen Durchmesser von 273 Kilometer erreichen. Weicht der Schatten indessen vom subsolaren Punkt ab (nach Süden versetzt), verlieren wir zwar bis zu 10 km an Schattengrösse, gewinnen aber gleichzeitig durch die Äquatornähe mehr Schwung, womit der kleine Verlust rasch wettgemacht ist.
Weiter muss der exakte Neumondzeitpunkt nicht zwingend mit dem

Knotendurchlauf zusammenfallen, im Gegenteil. Viel entscheidender ist, dass sich der Finsternispfad möglichst nahe am Äquator, aber auch nicht zuweit vom subsolaren Punkt weg befindet, der Mond aber in extremer Erdnähe steht und sich die Erde in oder noch möglichst nahe an der Sonnenferne aufhält. So können wir das «günstige» Zeitfenster für die längstmögliche totale Sonnenfinsternis weiter eingrenzen. Es erstreckt sich von Mitte Juni bis Ende Juli. Optimal wäre eine Sonnenfinsternis am 4/5. Juli (vgl. Abb. 3), sofern auch die Perigäumsstellung des Mondes und das Neumond-Knoten-Intervall an diesem Tag günstig ausfallen.

Im Zeitraum zwischen 1900 und 4000 n. Chr. ereignen sich totale Sonnenfinsternisse mit den folgenden Kriterien

- *Erde in oder nahe der Sonnenferne*
- *Mond in extremer Erdnähe*
- *Möglichst geringes Intervall zwischen Neumond und Knotendurchlauf*
- *Sonne im höchsten Punkt ihrer scheinbaren Bahn*
- *Mondschattenbewegung parallel zu den irdischen Breitenkreisen*
- *Beobachter praktisch im subsolaren Punkt*

nur zweimal an einem 5. Juli und zwar in den Jahren 2168 und 2540! Unter noch günstigeren Bedingungen innerhalb der betrachteten 2100 Jahre ereignet sich die totale Sonnenfinsternis am 16. Juli 2186, zwölf Tage nach der Sonnenferne. Und prompt ist sie mit einer Totalitätsdauer von 7 Minuten 29 Sekunden alleinige Rekordhalterin (Saros 139)! Hier liegen die genannten Faktoren recht nahe und damit optimal beisammen. In der Summe erklärt sich die aussergewöhnlich lange Totalität. Bei der zweiten Finsternis am 16. Juli 2903 (Saros 170) ist der zeitliche Abstand zwischen Knotendurchlauf und Neumondstellung recht gross, womit der Mondkernschatten zum Zeitpunkt der Finsternis im «wahren Mittag» zwar nahe des Äquators wandert, die Parallelität zu den Breitenkreisen – Finsternis tritt im absteigenden Knoten statt – aber nicht gegeben ist. Ähnlich erklären sich die Unterschiede zwischen den totalen Sonnenfinsternissen am 5. Juli 2168 und 5. Juli 2540. Während erstere (Saros 139) unter fast identischen Bedingungen eintritt wie die 2186er-Finsternis, ist bei der Finsternis am 5. Juli 2540 (Saros 145) das Intervall zwischen Neumond und Knotendurchgang viel zu gross und der Mondschatten wandert sogar südlich des Äquators über das Amazonasgebiet hinweg.

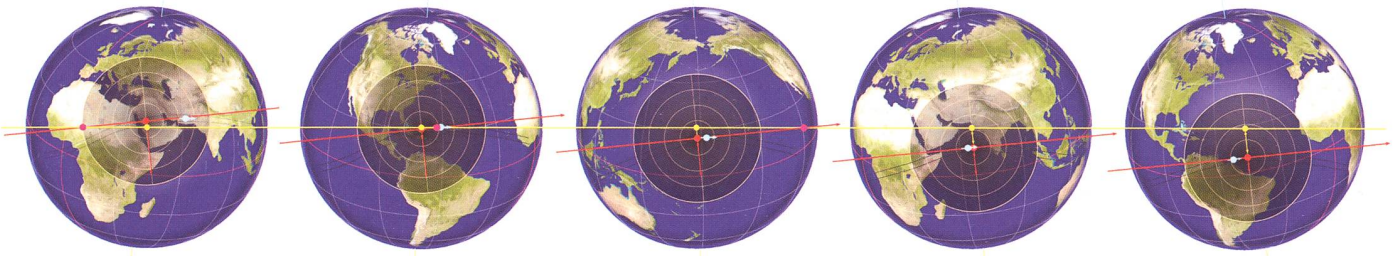
Datum Jahr	Tag	Saros	Gamma	Grösse	Dauer
2186	16. Juli	139	-0.240	1.081	7 min 29 s
2168	5. Juli	139	-0.168	1.081	7 min 26 s
2204	27. Juli	139	-0.313	1.079	7 min 22 s
2150	25. Juni	139	-0.091	1.080	7 min 14 s
2522	25. Juni	145	-0.499	1.077	7 min 12 s
2885	3. Juli	170	-0.391	1.078	7 min 11 s
2504	14. Juni	145	-0.428	1.077	7 min 10 s
2867	23. Juni	170	-0.462	1.077	7 min 10 s
2222	8. August	139	-0.384	1.077	7 min 06 s
2540	5. Juli	145	-0.572	1.076	7 min 04 s
2903	16. Juli	170	-0.318	1.078	7 min 04 s

Tab. 1: Alle totalen Sonnenfinsternisse zwischen 2000 bis 3000 mit einer Totalitätsdauer länger als 7 Minuten. Spitzenreiterin ist die Finsternis vom 16. Juli 2186. Der Wert Gamma stellt den kleinsten Abstand der Mondschattenachse zum Erdzentrum dar.

Variable und säkulare Faktoren

Dass wir die längstmögliche totale Sonnenfinsternis um den 4. Juli herum erwarten dürfen, stimmt nur gegenwärtig. Denn es gibt auch variable und sich aufsummierende (säkulare) Faktoren, welche einen direkten Einfluss auf die Totalitätslänge haben.

So etwa nimmt wegen der Gravitationseinflüsse der anderen Planeten die Exzentrizität der Erdbahn gegenwärtig leicht ab. Sie kann langfristig Werte zwischen knapp 0,06 und beinahe Null annehmen. Die Dauer dieser Schwankungen beträgt etwa 100'000 Jahre. Unter demselben Einfluss dreht sich ausserdem die Apsidenlinie der Ellipse



3. Juni 2114
Höhe 87°
Dauer $6^{min}32^{s}$
Schatten 248 km
Gamma 0.0525

13. Juni 2132
Höhe 89°
Dauer $6^{min}55^{s}$
Schatten 255 km
Gamma -0.0186

25. Juni 2150
Höhe 85°
Dauer $7^{min}14^{s}$
Schatten 260 km
Gamma -0.0910

5. Juli 2168
Höhe 81°
Dauer $7^{min}26^{s}$
Schatten 264 km
Gamma -0.1660

16. Juli 2186
Höhe 76°
Dauer $7^{min}29^{s}$
Schatten 267 km
Gamma -0.2396

Abb. 4: Hier sind die längsten totalen Sonnenfinsternisse der Saros-Reihe 139 dargestellt. Bei der Finsternis vom 3. Juni 2114 ist deutlich zu sehen, dass die Finsternis fast zentral eintritt, sich der Mondschatten im Finsternismaximum aber nicht schön parallel zu den Breitenkreisen bewegt. Etwas besser wird es mit jeder Nachfolgefinsternis. Die Totalitätszone bewegt sich zwar etwas vom subsolaren Punkt (gelb) weg, allerdings näher zum Äquator hin, wo die Erdrotation zunimmt. Von der Sonne aus gesehen, ist auch die ändernde Lage der Erdachse gut zu sehen. Sie steht bei den beiden Finsternissen vom 5. Juli 2168 und vom 16. Juli 2186 nahezu senkrecht zur Mondschattenbewegung, was die langen Totalitätsdauern erklärt. (Grafik: Thomas Baer)

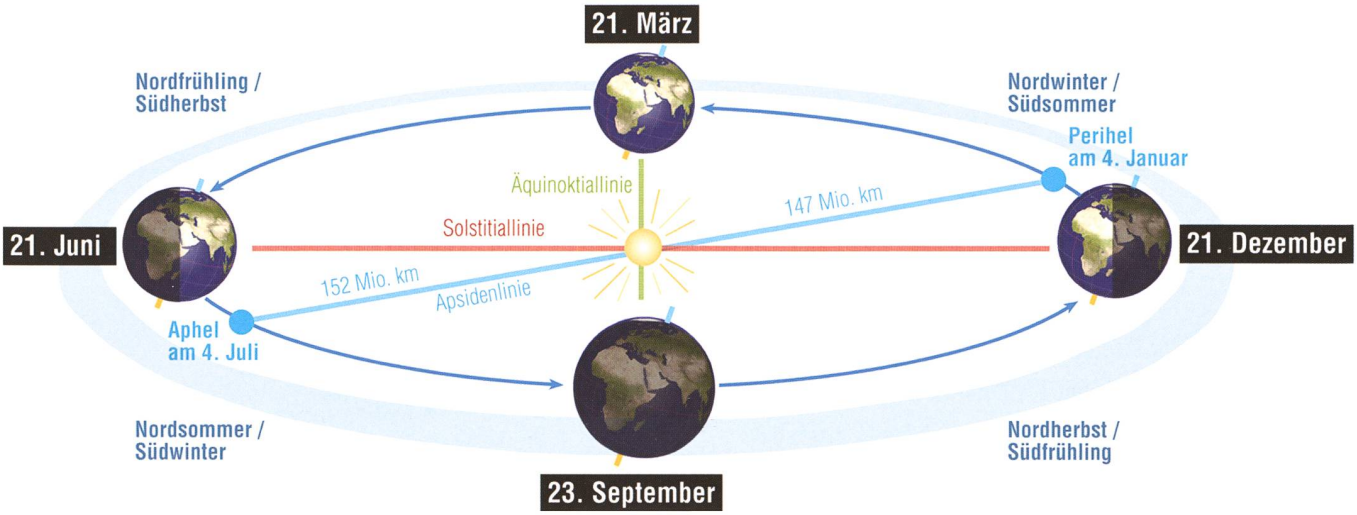


Abb. 5: Momentane Lage der Absidenlinie. In 110'000 Jahren wandert das Perihel einmal rechtläufig, das heisst nach Osten herum, durch die Erdbahn. (Grafik: Thomas Baer)

(Verbindungslinie zwischen Aphel und Perihel) langsam rechtläufig. Dadurch wandert das Perihel in etwa 110'000 Jahren einmal bezüglich des Fixsternhintergrunds rund um die Erdbahn.

Die mittlere Entfernung des Mondes beträgt 384'400 km, variiert aber innerhalb eines Monats im Mittel um ±5,49 %, was einer durchschnittlichen numerischen Exzentrizität von gegenwärtig 0.0549 entspricht. Dieser Wert schwankt im Laufe eines halben Jahres zwischen 0.044 und 0.067. Die Extremwerte des Mondabstandes sind durch zahlreiche kleinere Bahnstörungen bestimmt und variieren im Zeitraum zwischen 1750 und 2125 zwischen 356'375 km und 406'720 km. Wie bei der Sonne, wandert auch die Apsidenlinie des Mondes in Bezug auf den Fixsternhimmel mit einer Periode von 8,85 Jahren rechtläufig in der Mondbahn.

Zu guter Letzt müssen wir auch noch die Erdrotation und die räumliche Lage der Erdachse ins Feld führen. Die Erdrotation unterliegt nämlich ihrerseits etwelchen Schwankungen. So muss der Überschuss der Tageslänge über die nominalen 86400 Sekunden gelegentlich durch eine Schaltsekunde am Ende eines Halbjahres ausgeglichen werden. Liegt die Tageslänge über einen längeren Zeitraum hinweg um 2 Millisekunden über dem Sollwert, so hinkt die Erdrotation gegenüber einer konstant gehenden Atomuhr mit jedem Tag etwas hinterher. Nach 500 Tagen wäre der Unterschied auf eine ganze Sekunde aufgelaufen. Neben diesen kleinen Korrekturen sorgt die Gezeitenreibung, die Mond und Erde aufeinander ausüben, für eine kontinuierliche Zunahme der Tageslänge.

Vor rund 400 Millionen Jahren zählte das Erdenjahr etwa 400 Tage bei einer Tageslänge 21 Stunden und 54 Minuten. Eine immer langsamer drehende Erde lässt auch die Totalitätsdauer über Jahrzehntausende hinweg stets verkürzen und durch die Übertragung von Drehimpuls auf den Mond, entfernt sich der Erdtrabant jährlich um etwa 3.8 cm von der Erde.

Die Erdachse ihrerseits vollzieht innerhalb von 26'000 Jahren – «Hauptschuld» trägt die Sonne – eine Kreiselbewegung. Diese Präzession sorgt dafür, dass einerseits die Schiefe der Erdachse um den Mittelwert von 23.5° schwankt, andererseits sich im Laufe der Zeit die Äquinoktien (Frühlings-, Herbstbeginn) durch die Sternbilder verschieben. Steht die Sonne heute bei Frühlingsanfang vor den Sternen der Fische, so werden es in 6450 Jahren die Sterne des Schützen und in 12'900 Jahren die der Jungfrau sein. Im Jahr 6450 steigt die Sonne im Hochsommer «nur» noch auf 22° 54' (in den Fischen), im Jahr 12'900 auf 22° 42' (im Schützen).

Totale Sonnenfinsternisse werden kürzer

Zusammenfassend können wir festhalten, dass die theoretisch längstmögliche totale Sonnenfinsternis die 7 ½ Minuten-Marke momentan noch haarscharf kratzt, diese Dauer aber infolge der sakulären Störungen in den nächsten Jahrtausenden langsam abnehmen wird. Im für diesen Beitrag untersuchten Zeitraum von 5000 Jahren, tritt keine totale Sonnenfinsternis unter den optimalsten Bedingungen ein. Die längste totale Sonnenfinsternis bleibt somit ein rein theoretisches Ereignis.

Thomas Baer
Bankstrasse 22
CH-8424 Embrach

Längste Ringförmige

Wer noch nicht genug nachgedacht hat, kann sich jetzt den umgekehrten Fall überlegen: Am 15. Januar 2010 ereignet sich die längste ringförmige Sonnenfinsternis des Jahrhunderts. Unter welchen Bedingungen tritt dieses Ereignis ein? Können die für eine totale Sonnenfinsternis entscheidenden Faktoren einfach ersetzt werden? Oder sind da andere Bedingungen noch zu berücksichtigen? Ist es Zufall, dass die längste totale und die längste ringförmige Sonnenfinsternis bloss ein knappes halbes Jahr nacheinander eintritt? Die Antworten auf diese Fragen werden im kommenden Dezember-ORION 6/09 beantwortet.