Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft

Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft

Band: 75 (2017)

Heft: 400

Artikel: Erde, Mond, Sonne und die Zahl 400 : "Ungefähr 400" oder "genau 400"?

Autor: Laager, Erich / Roth, Hans

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-897093

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: 16.07.2025

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

Erde, Mond, Sonne und die Zahl 400

«Ungefähr 400» oder «genau 400»?

Von Erich Laager & Hans Roth

Das Verhältnis 1:400 gilt ungefähr für die Durchmesser und auch für die Entfernungen des Mondes und der Sonne von der Erde. Recht häufig ist der Mond 400 Megameter von der Erde entfernt. Damit lassen sich einige Betrachtungen anstellen. Als Grundlage hat Hans Roth dazu rechnerisch einen grossen Datensatz aufbereitet. Zur Frage, wozu dies alles nützlich sei: Eigentlich zu gar nichts! – Es ist eine Zahlenspielerei, bei der jedoch nebenbei einige Zusammenhänge erklärt werden können.

Ob uns zur Zahl 400 in der Astronomie etwas einfallen würde, erkundigt sich der Redaktor im Frühling 2017 bei einigen Kollegen hinsichtlich der 400. ORION-Ausgabe.
Dazu wurden mir zwei Dinge präsent: Der Mond ist im Mittel etwa 384'000 km von der Erde entfernt. Wohl ab und zu auch genau 400 Megameter. Das wäre zu überprüfen.
Für die «Geometrie» von Sonnenfinsternissen kann man sich grob merken: Die Sonne ist etwa 400-mal grösser als der Mond, sie ist aber auch etwa 400-mal weiter weg als dieser. Dank diesem speziellen Zufall sind totale (und ringförmige) Sonnenfinsternisse möglich. Auch das könnte man einmal näher untersuchen. Es sei versucht!

Zahlen als Grundlage

Für weitere Untersuchungen brauche ich Daten zu Sonne und Mond. Mein «Freund und Helfer» und Co-Autor Hans Roth schickte mir einige Excel-Tabellen zum Thema. Er war auch bereit, manche – zum Teil heikle – Fragen zu beantworten, die während der Entstehung dieses Beitrags aufgetaucht waren. Zuerst ging es darum, einen Überblick über die Monddistanzen über das Jahr – in unserem Fall das Jahr 2016 – zu verschaffen. 27 Mal im Jahr hatte der Mond eine Entfernung von genau 400'000 km, in 14 Zeitabschnitten war er weiter als 400'000 km von uns entfernt und 24 Mal war das Abstandsverhältnis Sonnenentfernung zu Mondentfernung genau 400. Aus zwei weiteren Tabellen konnte ich einen Zeitraum von 2010 bis 2019 untersuchen. Die eine gibt die Mondentfernungen auf den Meter genau an, in der zweiten sind Zeiten (UT) für den Durchgang des Mondes durch die 400'000 km-Grenze für die Jahre 2010 bis 2019 auf Zehntelminuten genau angegeben. Eine vierte Tabelle, die mir Hans Roth zukommen liess, umfasst die Jahre 2011 bis 2021, die Zeitangaben sind jedoch in TT angegeben.

Hier fragt sich, worin der Unterschied zwischen UT und TT besteht. TT steht für «Terrestrial Time» und ist die an frühere astronomische Zeitdefinitionen (mittlerer Sonnentag, Ephemeridenzeit usw.) angepasste Zeit der Atomuhren.
In vielen Ländern werden Atomuhren betrieben, gemittelt und die Mittelwerte wiederum in Paris zur TAI (Temps Atomique International) gemittelt und dann weltweit verbreitet. UT (genauer: UT1) ist eine Zeit, die aus der Erdbewegung abgeleitet wird und deshalb erst im Nachhinein genau bestimmt werden kann.
UTC ist die Abkürzung für «Koordinierte Weltzeit» (Coordinated Universal Time) und stellt die Basis der gesetzlichen Zeiten dar. Sie verläuft parallel zur TAI, wird aber durch die Schaltsekunden an die UT1 angeglichen, so dass die Differenz UTC – UT1 nie mehr als 0.9 s übersteigt.
Für astronomische Berechnungen verwendet man die TT, weil in diesem Zeitmassstab die Bewegungen der Planeten (fast) beliebig weit in die Vergangenheit und die Zukunft extrapoliert werden können (bis man an die «Chaos-Grenze» kommt). 1980 war TAI – UTC = + 19.00 Sekunden, 2017 + 37.00 Sekunden. TT – UT1 war zu Jahresbeginn 1980 + 50.54 Sekunden, am 1. Januar 2017 + 68.61 Sekunden.

Abstand des Mondes

Abbildung 1 zeigt die Schwankungen der Monddistanz über die Mo-

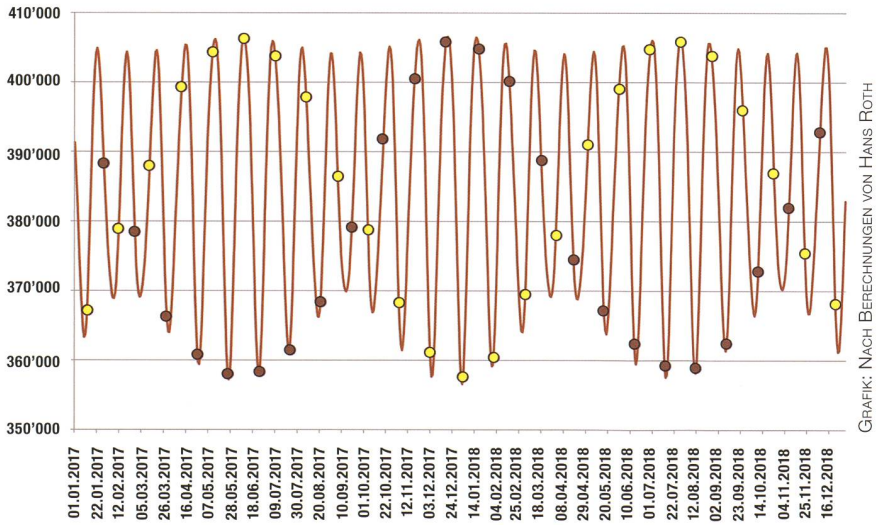
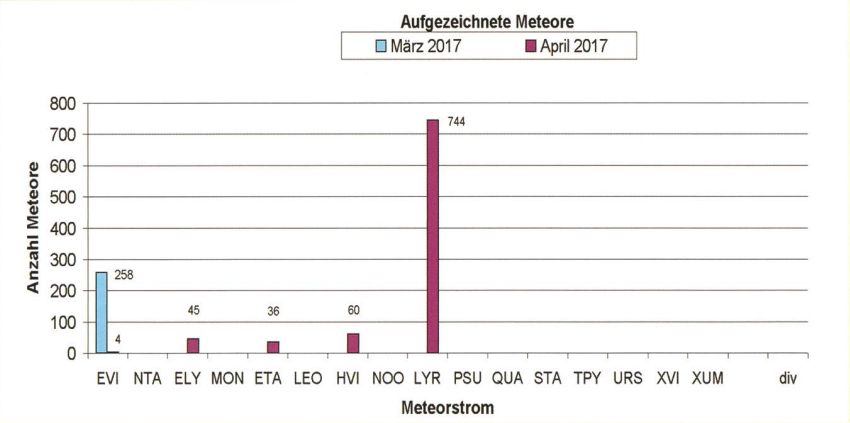


Abbildung 1: Die stark schwankende geozentrische Distanz des Mondes in den Jahren 2017 und 2018. Zusätzlich eingetragen sind die Orte des Vollmondes (gelb) und des Neumondes (braun).

nate hinweg. Zusätzlich eingetragen sind die Stellungen für Vollmond (gelb) und Neumond (braun). Der Mond «überschreitet» die 400'000 km-Grenze in dieser Zeit 52 Mal.
Ein anomalistischer Monat (Monat bezogen auf das Perigäum) dauert 27.55 Tage. In 2 Jahren haben 26.5 solche Monate Platz. Dies entspricht der Anzahl «Wellen» in der Grafik.
Diese stimmen nicht überein mit dem Wechsel der Mondphasen. Der entsprechende synodische Monat ist rund 2 Tage länger, er dauert 29.53 Tage. Die Mondphasen wandern deshalb durch die «Abstands-Phasen», der besondere Abstand 400'000 km kann grundsätzlich bei jeder Mondphase eintreten. Weshalb aber sind die Wellen in der Grafik nicht immer gleich hoch? Anders gefragt: Welches sind die Ursachen für die ungleich grossen maximalen und minimalen Mondabstände?
Eine absolute Regelmässigkeit in der Mondbewegung ergäbe sich nur, wenn Sonne, Erde und Mond allein im Weltall wären, wenn Mond und Erde sich auf Kreisbahnen bewegen würden und die Mondbahn in der Erdbahnebene läge.
Sonne und Erde bestimmen zwar die Mondbewegung «im Grossen», dann zerren aber hauptsächlich auch Venus und Mars (wegen ihrer relativen Nähe) und Jupiter (wegen seiner grossen Masse) in verschiedenen Richtungen am Mond.
Auffällig in der Grafik ist die sehr kleine Vollmond-Distanz am Anfang des Jahres 2018: Erdnähe ist am 1. Januar gegen 22:00 Uhr UT (23:00 Uhr MEZ) mit 356'565 km. Die genaue Vollmondstellung verzeichnen wir am 2. Januar gegen 02:24 Uhr UT (03:24 Uhr MEZ). Damit steht dieser Vollmond, was die Erdnähe anbelangt, dem «Supervollmond» vom 14. November 2016 nur wenig nach. Damals war die Erdnähe um 11:21 Uhr UT (12:21 Uhr MEZ) mit 356'509 km, die exakte Vollmondstellung um 13:52 UT (14:52 Uhr MEZ).
Im dargestellten Zeitabschnitt fällt der «Mini-Vollmond» vom 8. Juni 2017 auf. In der Tat ist der Erdtrabant mit 406'401 km an diesem Tag sehr weit von uns entfernt. Vollmond tritt allerdings erst am Folgetag um die Mittagszeit ein. Der scheinbare Durchmesser des «Mini-Vollmonds» misst also nur 87.7 % des «Supervollmondes» und die Fläche, massgebend für die Helligkeit, nur 77 Prozent.
Eine weitere Besonderheit, die mir beim Eintragen der Mondphasen aufgefallen ist: Im Jahr 2018 gibt es im Januar und im März je zweimal einen Vollmond – einen sogenannten «Blue Moon». Der Februar dagegen muss ohne Vollmond auskommen. Ist diese spezielle Aufteilung der Vollmonde eine Rarität oder wie häufig kommt das vor?
Bei Meeus (Mathematical Astronomy Morsels, Band 1) sind zwischen 1800 und 2100 in 12 Jahren Februare mit keinem Vollmond verzeichnet, etwa 1961, 1999, 2018, 2037, 2067. In diesen Jahren haben Januar und März fast zwingend je zwei Vollmonde. Vorsicht: Diese Untersuchungen gelten für UT, bei andern Zeitzonen sind Beginn und Ende des Monats nicht zur gleichen Zeit (UT). Weiter zu bedenken: Diese Untersuchung zeigt zwar eine

Swiss Meteor Numbers 2017

Fachgruppe Meteorastronomie FMA (www.meteore.ch)



ID	Beobachtungsstation	Methode	Kontaktperson	3/2017	4/2017
ALT	Beobachtungsstation Altstetten	Video	Andreas Buchmann	63	44
BAU	Beobachtungsstation Bauma	Video	Andreas Buchmann	42	56
BAU	Beobachtungsstation Bauma	visuell	Andreas Buchmann	0	0
BOS	Privatsternwarte Bos-cha	Video	Jochen Richert	1290	1102
EGL	Beobachtungsstation Eglisau	Video	Stefan Meister	111	132
FAL	Sternwarte Mirasteilas Falera	Video	José de Queiroz	199	263
GNO	Osservatorio Astronomica di Gnosca	Video	Stefano Sposetti	1501	218
HER	Beobachtungsstation Herbetswil	visuell	Mirco Saner	0	0
LOC	Beobachtungsstation Locarno	Video	Stefano Sposetti	1159	1404
MAI	Beobachtungsstation Maienfeld	Video	Martin Dubs	124	105
MAU	Beobachtungsstation Mauren	Video	Hansjörg Nipp	201	98
SCH	Sternwarte Schafmatt Aarau	Foto	Jonas Schenker	1	0
SON	Sonnenturm Uecht	Foto	T. Friedli / P. Enderli	1	0
TEN	Beobachtungsstation Tentlingen	Foto	Peter Kocher	0	0
VTE	Observatoire géophysique Val Terbi	Video	Roger Spinner	422	439

März 2017 **Total: 5514**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
208	160	141	55	15	44	154	191	105	227	
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
307	101	221	236	273	306	249	65	134	163	
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
29	5	26	32	189	114	206	337	296	289	239

Anzahl Sporadische: 4856 Anzahl Sprites: 10
Anzahl Feuerkugeln: 2
Anzahl Meldeformulare: 1

April 2017 **Total: 3861**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
40	66	182	127	68	120	245	225	135	74
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
107	99	130	124	19	41	93	66	78	279
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
443	529	219	173	15	1	0	30	183	149

Anzahl Sporadische: 2967 Anzahl Sprites: 5
Anzahl Feuerkugeln: 2
Anzahl Meldeformulare: 0

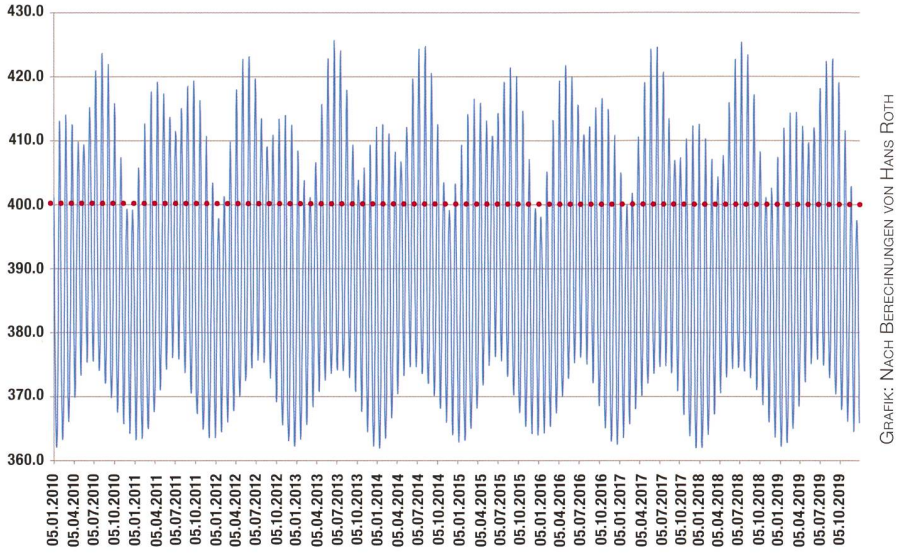
Video-Statistik 3/2017	Meteore			Beob.
Einzelbeobachtungen:	3088	=	82 %	3088
Simultanbeobachtungen:	700	=	18 %	2026
Total:	3788	=	100 %	5114

Video-Statistik 4/2017	Meteore			Beob.
Einzelbeobachtungen:	2401	=	82 %	2401
Simultanbeobachtungen:	516	=	18 %	1560
Total:	2917	=	100 %	3861

Besonderheit zu Mondphasen und Kalender, sie hat jedoch astronomisch gesehen keine Bedeutung. Man kann dazu noch eine statistische Überlegung anstellen. Eine Lunation dauert im Mittel 29.530589 Tage. Wenn der Februar keinen Vollmond haben soll, müssen also die 28 (29) Februartage vollständig in diese 29.530589 Tage «hineingepasst» werden. Der (zweite) Vollmond des Januars muss also in der Spanne von 1.530589 Tagen vor dem Februar stattfinden. Das geschieht mit der Wahrscheinlichkeit 1.53 zu 29.53 = 0.05183 in 3 von 4 Jahren. In Schaltjahren gibt dieselbe Rechnung eine Wahrscheinlichkeit von 0.01797. Kombiniert erhält man eine Wahrscheinlichkeit über 400 Jahre (400!) von 0.04362, d. h. im Mittel alle 22.9 Jahre. Das gibt dann also 13.1 «Treffer» in den 3 Jahrhunderten. Die Arbeit von Meeus umfasst übrigens nicht nur Vollmonde, sondern alle 4 Hauptphasen. Im Zeitraum 1800 bis 2100 kommt er auf 54 Jahre, in denen der Februar nur 3 Phasen hat: 15 mal fehlt der Neumond, 12 Mal Erstes Viertel, 12 Mal Vollmond und 15 mal Letztes Viertel. Rechnet man die 54 Jahre durch 4, so ergeben sich für jede Hauptphase im Mittel 13.5 «Treffer».

Vergleich Sonne und Mond

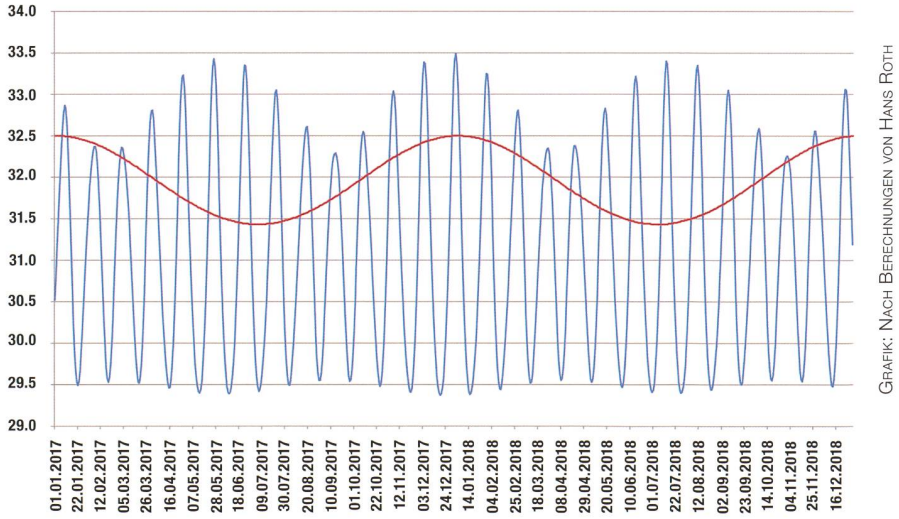
Zuerst stellt sich die Frage, wie genau man die Radien von Sonne und Mond überhaupt kennt und wie sie genau definiert sind. Gemäss Astronomical Almanac hat die Sonne einen Radius von 696'000 km, der Mond 1'737.4 ± 1.0 km. Heikel ist natürlich der Radius der Sonne, geht die Gaskugel praktisch stufenlos in den Weltraum über.
Das ist wohl auch der Grund, weshalb der Sonnenradius gerundet angegeben wird, ohne Fehlergrenze. Das Verhältnis der beiden Radien (und damit auch der beiden Durchmesser) ist 400.5986, was man wohl auf 400.60 runden muss. Wiederum durch einen schönen Zufall erreicht man die Zahl 400 «fast genau»!
Abbildung 2 gibt Antwort auf die Frage, wann das Verhältnis Sonnendistanz zu Monddistanz genau 400 zu 1 ist. Die relativ kleinen Differenzen der Sonnendistanz beeinflussen den Quotienten viel weniger als die Mondentfernung. Deshalb ändert dieser im Rhythmus der Monddistanzen.



Grafik: Nach Berechnungen von Hans Roth

Abbildung 2: Das Verhältnis der Abstände von Sonne und Mond von 2010 bis 2019. Grafik nach Berechnungen von Hans Roth. In seltenen Fällen wird der Faktor 400 nicht erreicht.

Auffallend: Ab und zu erreicht das Abstands-Verhältnis die Zahl 400 nicht. Doch welche Umstände führen dazu, dass die 400'000 km Grenze gelegentlich nicht erreicht wird? Es sind die oben beschriebenen Unregelmässigkeiten der Mondbahn, und natürlich die Zeiten um die Sonnennähe der Erde.
Man kann den Vergleich noch anders angehen, nämlich mit der Frage: Wann erscheinen Sonne und Mond gleich gross?
Abbildung 3 ist die grafische Auswertung dieser Berechnungen für die Jahre 2017 und 2018. Am 7. Februar 2017 erreicht die scheinbare Mondgrösse (32.37 Winkelminuten) die scheinbare Sonnengrösse (32.40 Winkelminuten) ganz knapp nicht! Sonst gibt es in jedem anomalistischen Monat zwei Zeitpunkte, wo beide Himmelskörper genau gleich gross erscheinen.
In Abbildung 4 sind zusätzlich die Mondknoten und die Finsternisse eingezeichnet. Sie zeigt: Finsternisse finden in der Nähe der Knoten statt. Ich frage mich: Können sie – als zusätzliche Bedingung – dann stattfinden, wenn die scheinbaren Grössen gleich gross sind?
Die Finsternis-Marken in der Grafik müssten dann auf einem Schnittpunkt der blauen und der roten Kurve liegen? Die Folge wäre, dass ein



Grafik: Nach Berechnungen von Hans Roth

Abbildung 3: Die scheinbaren Grössen von Sonne (rot) und Mond (blau) in den Jahren 2017 und 2018. Die Masseinheit auf der y-Achse sind Winkelminuten. 52 Mal erscheinen beide Himmelskörper gleichzeitig gleich gross.

Beobachter – am richtigen Ort und zur richtigen Zeit – eine totale Sonnenfinsternis von einer Dauer bei 0 Sekunden hätte...

Die ringförmig-totale Sonnenfinsternis

Dies ist in der Tat möglich, aber man muss in einem grösseren Zusammenhang überlegen:
Während einer Sonnenfinsternis sind der Mond und der Beobachter auf der Erde ständig in Bewegung. Der Mondschatten wandert von Westen nach Osten über die Erde. Wenn seine Spitze exakt die Erdoberfläche trifft, haben wir an diesem Ort die oben beschriebene Situation. Vor diesem Zeitpunkt ist die Finsternis ringförmig, danach total. Abbildung 5 zeigt diese Zusammenhänge schematisch.
Nun, es gibt solche spezielle Finsternisse tatsächlich, wenn auch recht selten. Im Zeitraum 1951 – 2200 verzeichnet Meeus 12 «ringförmig-totale» Finsternisse. Die letzte derartige war am 3. November 2013, die nächsten werden am 20. April 2023 und am 14. November 2031 stattfinden. Zu dieser letzten habe ich mit Hilfe von NASA-Finsternisdaten eine Übersichtstabelle (unten) erstellt.
Sie zeigt: Die Zone der ringförmigen Finsternis und deren maximale Dauer nehmen ab bis zum Punkt, wo Sonne und Mond gleich gross erscheinen: Um 19:32 UT wird ein Beobachter auf 17° 52.9' nördl. Breite und 175° 52.3' westl. Länge während ganz kurzer Zeit den Mond exakt vor der Sonne sehen, wobei Sonne und Mond die gleiche scheinbare Grösse von 32.33 Winkelminuten haben werden. Danach wachsen die Breite der Totalitätszone und die Finsternisdauer bis um 21:00 Uhr und nehmen dann wieder ab. Gegen Ende der Finsternis wird um 22:44 Uhr ein zweiter «Übergangspunkt» erreicht.

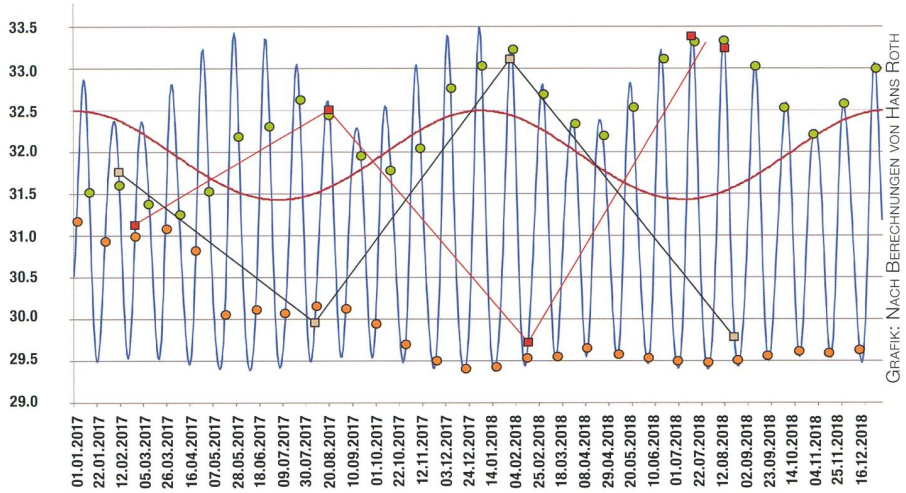


Abbildung 4: Hier ist Abbildung 3 ergänzt mit den Orten, an denen der Mond die Ekliptikebene durchläuft. Der aufsteigende Knoten ist grün, der absteigende orange gefärbt. Man lasse sich nicht täuschen: Die aufsteigenden Knoten sind nicht immer oben in der Grafik. Die roten Quadratfiguren stehen für Sonnenfinsternisse, die grauen für Mondfinsternisse. Finsternisse können nur in der Nähe der Knoten stattfinden. Ausnahmsweise kann es auf zwei aufeinander folgende (gleichartige, also entweder beide auf- oder absteigene) Knoten je eine Finsternis geben, so die Sonnenfinsternisse vom 15. Februar und 27. Juli 2018. Diese sind dann immer beide partiell. Die schräg laufenden Verbindungslinien deuten an: Sonnen- und Mondfinsternisse finden abwechslungsweise beim auf- und dann beim absteigenden Knoten statt. Die Abstände sind knapp ein halbes Jahr, so sind in einem Kalenderjahr maximal 7 Finsternisse möglich, wie dies etwa 1982 der Fall war (3 Mond- und 4 Sonnenfinsternisse).

Distanzen geozentrisch oder topozentrisch?

Natürlich stellt sich in diesem Fall die Frage, von wo aus gemessen wird: Geozentrisch, in Bezug auf den Erdmittelpunkt oder eben topozentrisch in Bezug auf einen bestimmten Ort (Beobachter) auf der Erdoberfläche? Hierzu ein Beispiel: Am 4. November 2017 um 00:00 Uhr UT misst die Mondentfernung geozentrisch 364'684 km. Zu dieser Zeit steht der Mond für einen Beobachter auf 5° westlicher Länge und 9° nördlicher Breite recht genau im Zenit. Die Distanz von diesem Ort zum Mond ist rund 358'300 km. 80 Längengrad weiter östlich sieht ein Beobachter den Mond nahe über dem Westhorizont. Die Distanz beträgt hier 363'400 km, sie ist also

Hybride Sonnenfinsternis vom 14. November 2031

Zeit [UT]	Art	Verhältnis	Pfad [km]	Dauer
19:24	ringf.	0.994	22	22.8 s
19:28	ringf.	0.998	7	7.8 s
19:30	ringf.	0.999	3	3.8 s
19:32		1.000	0	0.3 s
19:34	total	1.001	2	2.9 s
19:38	total	1.002	7	8.7 s
20:00	total	1.006	22	33.5 s
21:00	total	1.011	38	67.6 s
22:00	total	1.008	31	49.5 s
22:30	total	1.004	15	20.2 s
22:38	total	1.002	7	9.2 s
22:42	total	1.001	2	2.5 s
22:44		1.000	0	1.4 s
22:46	ringf.	0.998	5	6.2 s
22:48	ringf.	0.996	12	13.4 s

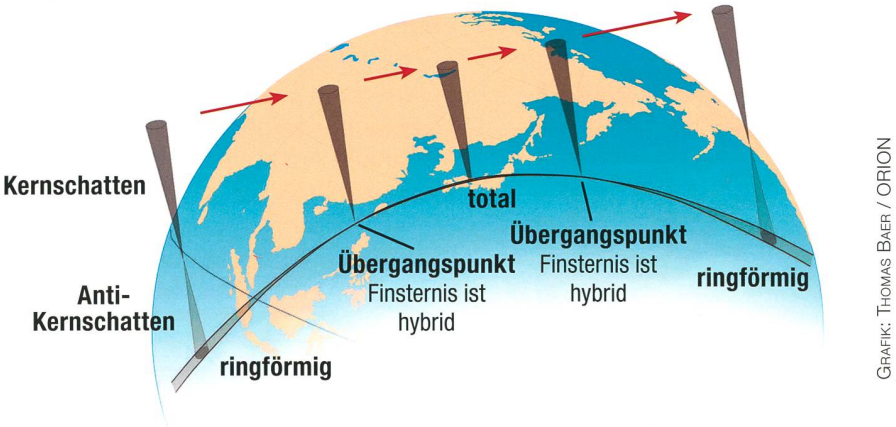


Abbildung 5: Schematische Darstellung einer ringförmig-totalen (hybriden) Sonnenfinsternis.

www.teleskop-express.de
Teleskop-Service – Kompetenz & TOP Preise

Der große Onlineshop für **Astronomie, Fotografie** und **Naturbeobachtung**
mit über **6000 Angeboten!**

Teleskop-Service
Ihr kompetenter Ansprechpartner für alle Aspekte der Astronomie und Naturbeobachtung

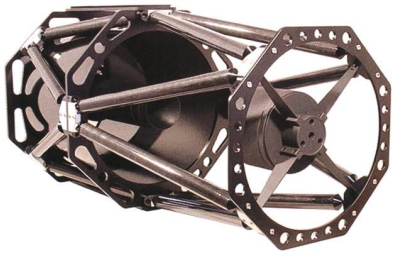
DDopticts Nachtfalke Ergo 8x56 Gen II ED

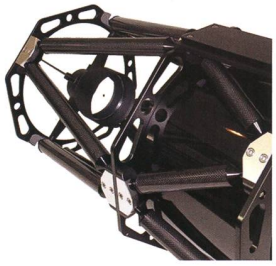
- Leichtes Polycarbonatgehäuse
- ED Glas mit niedriger Dispersion für mehr Kontrast
- Robust und Allwettergeeignet
- Großzügiger Augenabstand von 18,2 mm
- Echte Innenfokussierung
- Aufwändige Phasenkorrektur und Vergütung

Art.Nr. 440110001

TS-Optics 100 mm Semi-Apo Fernglas - 45° oder 90° Einblick, 1,25" Wechselokulare
- Zweilinsige Semi-Apo-Objektive mit Luftspalt für sehr hohen Kontrast
- Passend für astronomische 1,25"-Okulare - die Fokuslage reicht auch für Weitwinkelokulare aus
- Zwei 18-mm-Ultraflat-Weitwinkelokulare mit 65° Gesichtsfeld für 29-fache Vergrößerung enthalten
- Die Scharfstellung und der Dioptrienausgleich erfolgen über Einzelfokussierung
- Magnesiumgehäuse
- Harte Breitbandvergütung an den Objektiven, Prismen und Okularen
- Solide Fotostativbefestigung ist im Lieferumfang
- Die Taukappen sind verschiebbar für Transport und als Streulichtschutz
- Handgriff ist im Lieferumfang enthalten

Art. Nr. TSBSA100-45 (45°) bzw.
TSBSA100-90 (90°)





TS Ritchey-Chrétien Teleskope in Kohlefaser-Gitterrohrkonstruktion

Die TS f/8 RC Astrographen sind Traumteleskop für die Astrofotografie mit spektakulären Ergebnissen.
Vorteile der TS RC-Teleskope:
- Echte RC-Optiken mit hyperbolischem Haupt- und Fangspiegel
- Hauptspiegel und Fangspiegel bestehen aus Quarz
- 99% Verspiegelung mit dielektrischer Vergütung auf den Spiegeln
- Großes, ebenes und komafreies Feld ohne Korrektor
- Genügend Backfokus für Brennweitenreduzierung, Bino-Ansätze
- Deutlich weniger Tauprobleme als z.B. bei Schmidt-Cassegrains
- Schnelle Auskühlzeit, weil das Teleskop vorne offen ist
- Jedes RC ist auf unserer optischen Bank überprüft und getestet

Erhältlich mit Öffnungen von 10 bis 16“, 20“ in Vorbereitung.

Teleskop-Service, Von-Myra-Straße 8, DE-85599 Parsdorf bei München
Telefon: +49 89-9922875-0 • info@teleskop-service.de

rund 5'100 km (80 % des Erdradius) grösser. (Distanzen aus dem Astro-Simulationsprogramm «Voyager 4.5», gerundet). Bei der Sonne beträgt die Differenz zwischen geozentrischem und topozentrischem Abstand maximal 4 Hundertstel-Promille. Sie ist absolut nicht relevant und kann vernachlässigt werden!

«Ungefähr 400» oder «genau 400»?

In diesem Zusammenhang stellen sich grundsätzlich wichtige Fragen. Wie genau kennt man die Grössen (z. B. die Durchmesser der Himmelskörper)? Wie genau kennt man die Bewegungen der Gestirne? Wie genau kann man diese mathematisch abbilden, erfassen? Welcher Rechenaufwand ist sinnvoll? Auch darüber sollte Klarheit herrschen: Was heisst «genau 400» oder «etwa 400»?
Es gibt Werte, die wir digital, durch Abzählen erfassen, andere erhalten wir durch Messen, d. h. durch Vergleichen mit einem «Urmass».
Wenn wir die bereits erschienenen ORION-Nummern abzählen, sind wir jetzt bei 400. Es ist genau die Nummer 400, nicht eventuell 399.87 oder 400.006.
Auch bei Wertangaben in Franken und Rappen wird im Prinzip abgezählt, werden Transaktionen buchhalterisch auf Rappen genau erfasst. Eine Bank-Bilanz von CHF 582'733'961.54 enthält elf Stellen, die bis zur hintersten richtig sind, richtig sein müssen!
Zurück zu unserer Frage: «Wann hat der Mond 400'000 km Abstand von der Erde?» Oder dürfen wir fragen: «Wann genau ist der Mond exakt 400'000 km von der Erde entfernt?»
Ein Zimmermann rechnet und arbeitet auf Millimeter genau, ein Schreiner auf Zehntelmillimeter, ein Feinmechaniker auf Hundertstel- oder Tausendstelmillimeter. Und die Astronomen?
Uns stehen sehr präzise Grundmasse zur Verfügung: Die Astronomische Einheit, die mittlere Entfernung Sonne–Erde misst exakt 149'597'870.7 km, die Lichtgeschwindigkeit beträgt 299'792.458 km/s. Beide Masseinheiten sind per Definition (ohne Toleranzen) festgelegt, aber natürlich so, dass sie den bekannten Messresultaten möglichst genau entsprechen.
Die Sekunde ist durch einen physikalischen Vorgang definiert. Die Länge des Meters lässt sich sodann aus der Lichtgeschwindigkeit und der Länge einer Sekunde ableiten. Die Urmeter in Paris und Bern braucht man also nicht mehr.

Die genaue «Ungenauigkeit» des Astronomen

Zum Schluss möchte ich wissen, mit welcher Radialgeschwindigkeit sich der Mond in der Nähe der 400'000 km-Grenze von der Erde weg bewegt. Ich nehme dazu die Monddistanzen am 2. (397'237 km), respektive 3. Juli 2017 um 00:00 Uhr UT (400'989 km). Mit der (nicht korrekten) Annahme, dass die Distanz proportional zur Zeit wachse, finden wir, dass die Differenz in 24 Stunden 3'752 km (einen guten Monddurchmesser), in 1 Stunde 156.3 km und in einer Sekunde 43.4 m beträgt. Mit einigen Zusatzrechnungen (lineare Interpolation) müsste die Distanz 400'000 km 17.67 Stunden nach 00:00 Uhr UT erreicht sein.
In den Tabellen von Hans Roth wird dieser Zeitpunkt mit 16.9878 Stunden UT oder 16.9688 Stunden TT angegeben. Mein Resultat liegt doch recht weit daneben, eben weil die Mondbewegung komplizierter ist – sie unterliegt zahlreichen Bahnstörungen – als in der vereinfachten Annahme.
Die Zeiten in UT und TT für den Durchgang des Mondes durch die 400'000 km Grenze sind auf Zehntelminuten genau berechnet. Mit dieser Genauigkeit der Zeitangabe hat die Distanz eine Unsicherheit von etwa 260 m.
Unrealistisch ehrgeizig könnte man verlangen, den Moment zu bestimmen, wann der Mond auf den Meter genau 400'000.000 km entfernt ist. Dazu müsste man die Zeit auf 2.3 Hundertstelsekunden genau kennen. Hier versagt wohl jede noch so genaue Rechenmethode. Bei Sonnenfinsternissen kann man den Beginn auf etwa 1 Sekunde (maximal 0.1 Sekunde) genau vorausberechnen.
Durch lineare Interpolation findet man den Zeitpunkt für die 400'000 km-Distanz lediglich angenähert. Wünscht man genauere Resultate, ist ein beträchtlich grösserer Rechnungsaufwand nötig. Doch wie aufwändig sind denn diese Berechnungen wirklich?
Das Programm, welches Hans Roth gemäss Anleitung von Jean Meeus geschrieben hat, umfasst etwa 200 Programmzeilen. Meeus gibt an, dass dabei die Fehler in ekliptikaler Länge kleiner als 10" und in Breite kleiner als 4" (etwa Merkurs scheinbare Grösse) sein sollten. ▮