



## Einiges über Finsternisse

### Zusammenfassung

Nach jedem sechsten, manchmal sogar schon nach einem fünften Voll/Neu-Mond gibt es wieder eine Mond/Sonnenfinsternis. Warum müssen wir trotzdem viel länger warten, um ein solches Ereignis erneut sehen zu können?

### Inhalt

1. Einleitung
2. Grundsätzliches und Begriffe
3. Das Finsternis-Limit
4. Zyklus-Bildung
5. Der Saros-Zyklus
6. Totale Sonnenfinsternis, Verlauf
7. Sonnenfinsternis-Tourismus ist populär
8. Literatur
9. Anmerkungen

### 1. Einleitung

Die folgende Abhandlung fasst das Grundwissen über Finsternisse zusammen, das sonst nur verstreut beschriebenen ist. Zur Unterstüt-

zung des Vorhabens werden vorteilhaft zeichnerische Darstellungen der Zusammenhänge verwendet.

Finsternisse wiederholen sich mit einer gewissen Regelmässigkeit, was vom Saros-Zyklus, der eine Periode von ca.18 Jahren hat, allgemein bekannt ist. Es gibt auch Zyklen mit kürzerer Periode, die aber selten erwähnt werden. Der kürzeste heisst Semester-Zyklus [1] und wird hier ausführlich besprochen, weil er wegen seiner kurzen Periode von nur 177 Tagen leicht zu erleben ist.

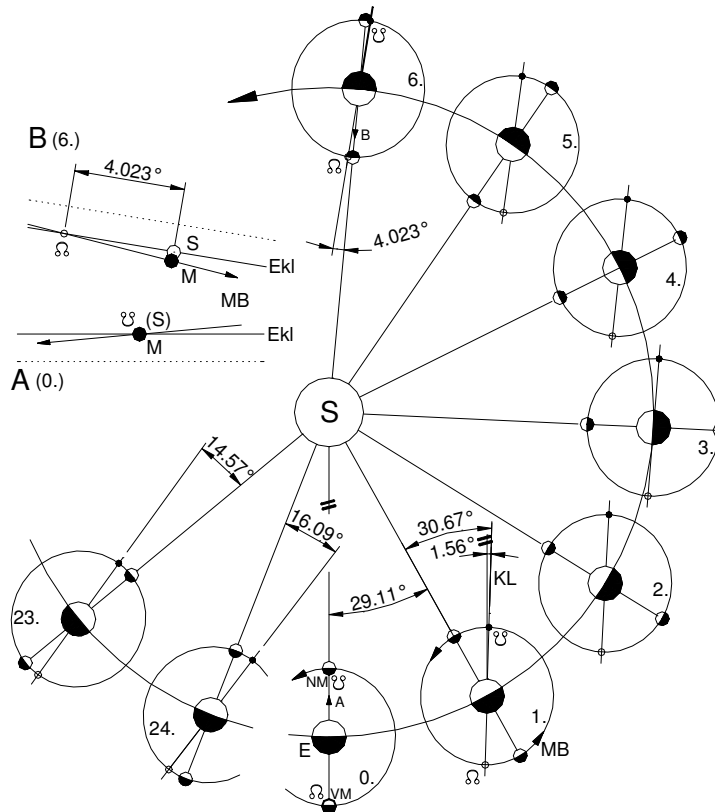


Abb.1 Erde und Mond auf ihren Bahnen nach jeweils einer Lunation

### 2. Grundsätzliches und Begriffe

Eine Finsternis findet bekanntlich statt, wenn sich Mond, Erde und Sonne mit ihren Zentren

ziemlich genau auf einer gemeinsamen Linie (Finsternis-Linie) befinden. Da alle drei Himmelskörper im Verhältnis zu ihren Abständen

voneinander ziemlich klein sind, müssen sie diese Linie sehr genau treffen, damit sich die beiden äusseren der Drei nicht "sehen" können. Ein solche Situation trifft nicht oft ein.

In Abb.1 befindet sich die **Ekliptik** (Ekl) in der Zeichenebene. Die Ekliptik ist die von der Erdbahn gebildete Ebene, enthält also die Erde (E) und die Sonne (S). Die Ebene der Mondbahn (MB) ist dagegen ca.5° geneigt. Die Linie zwischen ihren Zentren heisse Zentral-Linie. Die Schnittpunkte der Mondbahn mit der Ekliptik sind der absteigende ( $\Upsilon$ ) und der aufsteigende ( $\Omega$ ) **Knoten**. Eine Finsternis findet nur statt, wenn sich der Mond in einem Knoten (Fall 0. in Abb.1, unten) oder nahe bei ihm befindet. Da die Verbindung der beiden Knoten – die Knotenlinie (KL) – ihre Winkellage zur Zentrallinie dauernd ändert, ist das nicht oft der Fall. Die Knotenlinie ist im All annähernd fix. Es sind also einige **Lunationen** (Mond-Monate à ca.29,5Tage) nötig, bevor der Mond einem Knoten wieder ausreichend nahe kommt und eine Finsternis stattfindet.

Von der Erde aus gesehen haben Sonne und Mond zufällig fast die gleiche scheinbare Grösse (Raumwinkel ca. 0,5°, *Anmerkung 1*). So muss der **Neumond** also genau vor die Sonne treten, damit diese total bedeckt ist (**totale Sonnenfinsternis**, Blick A bei Fall 0. in Abb.1). Schon bei kleiner Abweichung ist die Sonnenfinsternis nur **partiell** (Blick B bei Fall 6. in Abb.1, oben). Aber die Erde ist ja doch mehr als ein Punkt: Vom Mond aus erscheint sie unter einem Winkel von ca.2,0° (Mond-**Parallaxe**  $2\cdot\chi$ , Abb.2), was die Zahl der auftretenden Sonnenfinsternisse ungefähr verdreifacht. Reist man nämlich von einem mittleren Punkt O, d.h. von einem Punkt, wo die den Erdmittelpunkt enthaltende Ekliptik die Erdoberfläche schneidet, in den Hohen Norden (P) oder den Tiefen Süden, so sieht man den Mond relativ zur Sonne ca.1° tiefer oder höher stehen als vorher. Anders gesagt: Ein vorher ca.1° zu hoch bzw. zu tief stehender Mond wird jetzt in gleicher Höhe wie die Sonne gesehen.

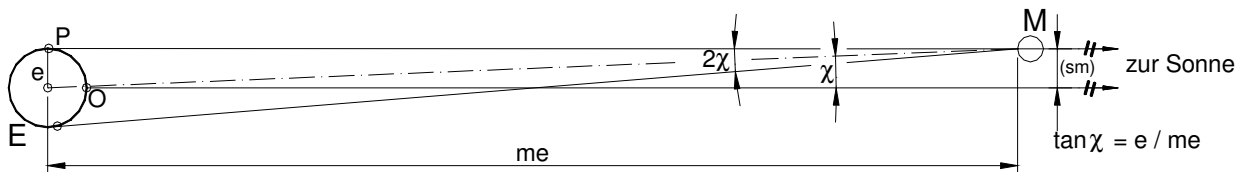


Abb.2 Mond-Parallaxe (Winkel-Grösse der Erde vom Mond aus gesehen)

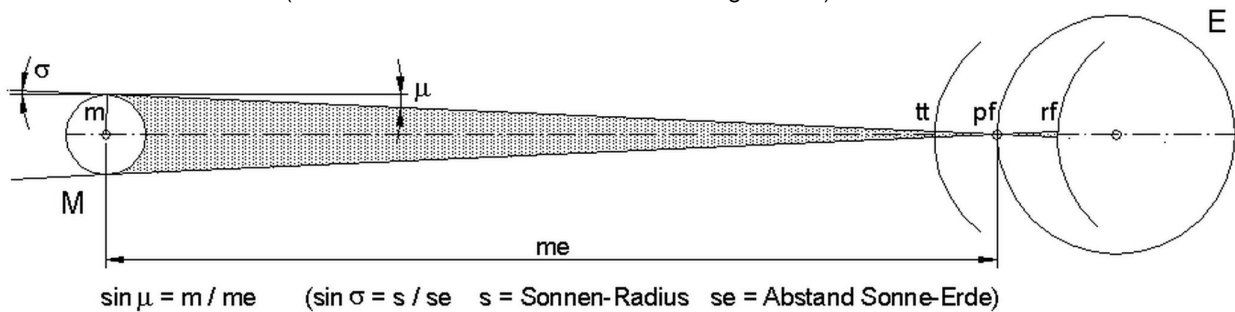


Abb.3 der Kern-Schatten des Mondes auf der Erd-Oberfläche

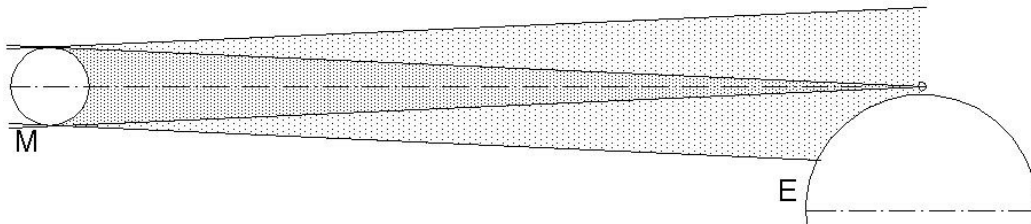


Abb.4 der Kern-Schatten des Mondes verfehlt die Erde

Bei exakt gleicher scheinbarer Grösse von Sonne und Mond ( $\mu=\sigma$ ) hat dessen **Kernschatten** seine Kegel-Spitze auf der Erdoberfläche (Abb.3). Die Sonnenfinsternis ist punktförmig (pf, *Anmerkung 2*). Ist der Mond in seinem Erd-

nächsten Punkt (**Perigäum**) und die Erde am weitesten von der Sonne entfernt (**Aphel**), so hat der Kernschatten des Mondes über 250 km Durchmesser. Er läuft über die Erdoberfläche. Das schafft eine ebenso breite **Zone für Totali-**

tät (tt) und bewirkt eine **Finsternis-Dauer** von einigen Minuten in der **Zentrallinie**. Beidseits dieser Zone ist die Finsternis partiell. Im umgekehrten Fall (**Apogäum** und **Perihel**) ist die Finsternis in der Zentrallinie **ringförmig** (rf). Die geringe Breite der zentralen Zone und die Beschränkung auf die Tageshälfte der Erde macht die Wahrscheinlichkeit einer Sonnenfinsternis an einem fixen Ort sehr klein und ist Grund für mehr und mehr "Sofi-Tourismus".

In Polnähe kann es sein, dass der Kernschatten die Erde verfehlt, dass sie nur vom Halbschatten des Mondes getroffen wird (Abb.4). In solchen Fällen spricht man auch von einer partiellen Sonnenfinsternis, bei der aber jetzt der Be-

obachter nicht die Möglichkeit hat, aus der partiellen in die totale Zone zu reisen.

In der Astronomie gibt es den allgemeinen Begriff **Bedeckung** für Fälle, in denen von der Erde aus gesehen ein Himmelskörper vor einen selbst leuchtenden anderen tritt, diesen verdeckt aber nicht verfinstert. Eine Sonnenfinsternis ist ein solcher Fall. Würde man hier von einer Bedeckung sprechen, so wäre bereits auf diese Weise der Unterschied zu einer Mondfinsternis angedeutet. Bei ihr sind wir selbst (die Erde) der bedeckende Körper und verfinstern einen nicht selbst leuchtenden Himmelskörper (den Mond).

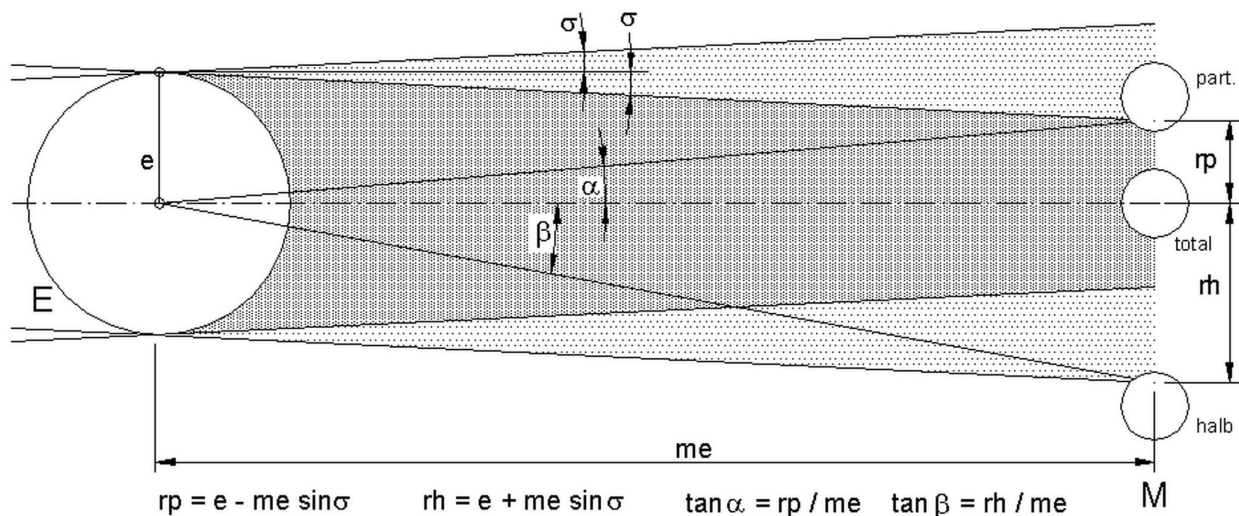


Abb.5 der Mond im Kern- und Halb-Schatten der Erde

Als **Mondfinsternis** gilt im Allgemeinen nur derjenige Fall, in dem sich der **Vollmond** im Kernschatten der Erde befindet (**total** oder **partiell**, Abb.5). Mit bloßem Auge ist nämlich nicht zu erkennen, wenn er nur im Halbschatten liegt. Das ist auch der Grund für die verbreitete Meinung, dass es weniger Mond- als Sonnenfinsternisse gäbe. Zählt man die Halbschatten-Ereignisse (halb) mit, unterscheiden sich die Zahlen beider Finsternisse nämlich nicht grundsätzlich. Übrigens: Vom Mond aus sieht man bei Halbschatten eine partielle Sonnenfinsternis.

Schattenwerfer ist die im Vergleich zum Mond relativ grosse Erde. Ihr Kernschatten ist in der Mondgegend wesentlich grösser als der Mond selbst. Er kann den ganzen Mond bedecken. Umgekehrt: Selbst der Halbschatten des Mondes reicht bei weitem nicht aus, die gesamte Erde zu bedecken, er ist ca. 3 mal zu klein. Bei

Mondfinsternissen kann sich der Beobachter die Zahl der möglichen Erlebnisse nur verdoppeln, indem er von der Tag- zur Nachthälfte der Erde reist. Ansonsten ist der Anblick des verfinsterten Mondes von überall her der gleiche.

### 3. Das Finsternis-Limit

Abb.1 ist zur Besprechung beider Finsternis-Arten geeignet. Auf der Sonnenseite ist der Neumond (Sonnenfinsternis), aussen der Vollmond (Mondfinsternis) gezeichnet. Dargestellt sind mehrere Momente im Abstand jeweils einer Lunation. Die Mondbahn (MB) ist gegen die Ekliptik verdreht, was in den Neben-Zeichnungen A und B erkennbar ist (Verdrehwinkel  $5^{\circ}8' \pm 8'$ ). Drehachse ist die in beiden Ebenen enthaltene Knotenlinie (KL). Beim gewählten Blick auf die Ekliptik wandert die Erde dem Uhrzeiger entgegen, die Knotenlinie dreht sich ganz langsam (1 mal / 18,6 Jahre) mit dem Uhrzeiger.

Ausgangssituation ist die 0. Lage. Sie ist ideal

für Finsternisse. Die Monde befinden sich in den Knoten, die Knotenlinie verläuft durch den Mittelpunkt der Sonne. Die Neben-Zeichnung A ist der Blick von der Erde über den Neumond zur Sonne. Der Neumond bedeckt die Sonne, es herrscht die idealste Sonnenfinsternis. Bei der Vollmond-Variante ist es die idealste Mondfinsternis: Mond- und Kernschattenmittelpunkt übereinander.

Nach sechs Lunationen (à 29,5306 Tage) bzw. nach 6 mal 29,11..° Bahnfahrt ist die Situation wieder günstig für Finsternisse. Dieser rund 177 Tage lange Zeitraum heißt **Semester**. Die Zentral-Linie hat sich bis auf 5,34° um 180° nach links, die Knotenlinie ausgleichend etwas nach rechts gedreht (6·1,56°), hat dabei aber leider überkompensiert. Der Neumond (z.B.) befindet sich bereits 4,023° hinter dem (jetzt aufsteigenden!) Knoten. Dieser Wert ist die **Knotendis-tanz-Änderung** während des Semesters. Die Neben-Zeichnung B ist auch hier der Blick von der Erde zur Sonne (Unterseite der Ekliptik mit paralleler gepunkteter Linie angedeutet). Der Neumond hat den Knoten bereits passiert, aber er bedeckt die Sonne noch partiell.

Nach 3 weiteren Semestern bzw. nach insgesamt 24 Lunationen (knapp 2 Jahre) ist die Abweichung auf 16,09° (4·4,023) angewachsen. Inzwischen ist aber schon die Situation nach der 23. Lunation besser: Abweichung nur 14,57° (29,11-16,09+1,56). Sonnenfinsternisse finden immer noch statt, jetzt vielleicht sogar zwei im Abstand von nur einer Lunation. Wie gross die Abweichung des Mondes vom Knoten sein darf, damit noch eine Finsternis stattfindet, heisst **Finsternis-Limit** und soll jetzt berechnet werden (*Anmerkung 3*).

Ermittelt wird immer der ungünstigste Wert, d.h. gewählt wird je nach Situation entweder die kleinste oder die grösste Entfernung des Mondes und der Sonne von der Erde aus folgenden Grenzwerten:

Abstand Erde-Mond  $m_e = 363.300$   
bis 405.500 km

Abstand Erde-Sonne  $s_e = 1,471 \cdot 10^6$  bis  
 $1,521 \cdot 10^6$  km.

Weitere Werte:

Radius des Mondes  $m = 1738$  km, der Sonne  
 $s = 696.000$  km und der Erde  $e = 6.380$  km

Die Neben-Zeichnung B aus Abb.1 ist in **Abb.6** vergrössert und ca.180° nochmals gezeigt. Das zu betrachtende Dreieck SQM ist ein sphärisches mit bei S annehmbaren rechten Winkel.

Der Winkel bei  $\Omega$  ist die grösst-mögliche Verdrehung der Mondbahn gegen die Ekliptik ( $\Phi=5,27^\circ$ ). Das gesuchte Finsternis-Limit **fl** ist der Bogen  $\Omega S$ , als Funktion des Bogens **sm** zwischen Sonne und Mond. Die zur Berechnung von fl nötige Gleichung ist in der Abbildung selbst angegeben.

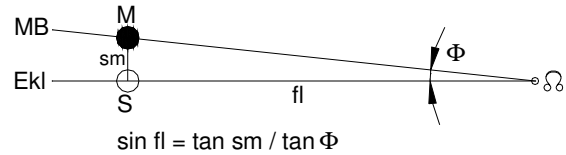


Abb.6 Sonnenfinsternis-Limit fl

Wenn die Mittelpunkte von Neumond und Sonne übereinander liegen ist die **Sonnenfinsternis total**, besser **zentral**, denn in diesem Begriff ist auch die jetzt mögliche ringförmige Finsternis enthalten. Das gesuchte Limit hängt nur von der Parallaxe  $\chi_{min}$  des Mondes ab (*Anmerkung 4*). Die in Abb.2 angegebene Gleichung liefert bei entferntestem Mond  $\chi_{min} = 0,9014^\circ$ . Das ist auch der sm-Wert, denn soviel darf der Mond vom Beobachter in O zu hoch gesehen werden, wenn ihn der Beobachter in P in zentraler Lage mit der Sonne sieht. Die weitere Rechnung ergibt für fl, d.h. für das **Mindest-Limit ca.9,8°**.

Wenn sich Neumond und Sonne mehr als berühren, ist die **Sonnenfinsternis partiell**.  $\chi_{min}$  ist die Summe des jeweils kleinsten scheinbaren Radius des Mondes  $\mu_{min}$  und der Sonne  $\sigma_{min}$ . Diese beiden Werte werden mit den in Abb.3 angeführten Gleichungen zu 0,2455 und 0,2622 berechnet. Jetzt ist das **Mindest-Limit ca.15,5°**. Dieser zulässige Kleinstwert ist immer grösser als die tatsächlichen Werte nach 6 oder 5 Lunationen. Somit findet auf der Erde regelmässig nach 177 oder 147,5 Tagen eine mindestens partielle Sonnenfinsternis statt (*Anmerkung 5*).

Bei einer Mondfinsternis ist vor allem der Durchmesser des Erd-Schattens zu beachten. In den Abb.6 entsprechenden **Abbildungen 7a bis 7c** ist die Sonne durch den Erd-Schatten ersetzt.

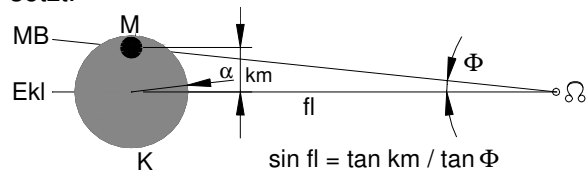


Abb.7a totale Mondfinsternis

Die **Mondfinsternis** ist **total**, wenn der Mond innerhalb des Kernschattens (K) liegt. Für das

Mindest-Limit interessiert der kleinste Schatten-Radius  $r_{k_{\min}}=4.461\text{km}$  ( $\alpha_{\min}=0,6303^\circ$ ). Er kommt bei nächster Sonne und entferntestem Mond zustande. Mit den Gleichungen in den Abbildungen 3, 5 und 7a ergeben sich als **Mindest-Limit ca.4,2°** ( $km = \alpha_{\min} - \mu_{\min}$ ).

Die Finsternis wird **partiell**, wenn der Mond den Kernschatten von aussen berührt (Abb.7b). Für diesen Moment ist das errechnete **Mindest-Limit ca.9,6°** ( $km = \alpha_{\min} + \mu_{\min}$ ), also zu klein dafür, dass jede mindestens partielle Sonnenfinsternis auch von einer mindestens partiellen Mondfinsternis begleitet ist.

Die beiden Mindest-Limite  $15,5^\circ$  und  $9,6^\circ$  bilden zueinander das Verhältnis von ca. 1,6 : 1, das auch oft als Häufigkeits-Verhältnis zwischen Sonnen- und Mondfinsternissen in der Literatur zu finden ist [3].

Obwohl die **Halbschatten-Mondfinsternisse** mit blossem Auge niemals zu erkennen sind, wird formal doch das dafür geltende Mindest-Limit bestimmt. Dafür zählt der kleinste Halbschattens (H), der sich bei entferntester Sonne einstellt:  $rh_{\min}=8.236\text{ km}$  ( $\beta_{\min}=1,1636^\circ$ ). Der Mond hat wieder seine grösste Entfernung und tritt beim **Mindest-Limit von ca.15,5°** in den Halbschatten (Abbildungen 5 und 7c,  $hm = \beta_{\min} + \mu_{\min}$ ).

Das ist die gleiche Bedingung wie für die Existenz einer partiellen Sonnenfinsternis. Dürfte man die Halbschatten-Ereignisse mitzählen, so wären die Mondfinsternisse gleich häufig wie die Sonnenfinsternisse.

#### 4. Zyklus-Bildung bei Sonnenfinsternissen

Abbildung 8 enthält graphische Lösungen sowohl für die Bildung des **Semester-Zyklus** als auch für die Ermittlung der Limiten. Die Ausgangsgrößen sind Mittelwerte (in der Abbildung angegeben). Innerhalb der Limiten folgen sich Finsternisse mit Semester-Periode (entsprechende Knotendistanz-Änderung= $4,023^\circ$ ).

Ausgegangen ist von einer idealen Finsternis (0. in Abb.1), die genau im absteigenden Knoten stattfindet. Die nächste Finsternis (+1) findet nach Passage der Sonne durch den aufsteigenden Knoten statt. Weiter mit Knotenwechsel folgen die Finsternisse +2 und +3. Die vierte Finsternis ist +5, denn eine Lunation vorher kommt es bereits auf der anderen Seite des absteigenden Knotens zu einer partiellen Sonnenfinsternis (+4). Der gezeichnete Semester-Zyklus begann mit der Finsternis -4 und endet mit +5 (Summe = 9 Finsternisse). Der nächste Semester-Zyklus beginnt mit der Finsternis +4 und führt über +6 bis +12 (Summe = 8). Eine Überlappung mit dem dritten Zyklus findet nicht statt. Semester-Zyklen mit 8 oder 9 Sonnenfinsternissen folgen sich unregelmäßig. Unregelmäßig ist auch, dass sie sich überlappen.

Die ideale Ausgangsfinsternis ist auf der Erde vom Punkt O (Abb.2) aus zu sehen. +1 ist etwas nördlicher als zentrale Finsternis zu sehen. Bei +3 ist das Limit für zentrale Finsternisse überschritten. Befindet sich der Beobachter bereits am äussersten Punkt P (Abb.2) in der Arktis, so sieht er dennoch nur eine partielle Finsternis. Dort ist auch +5 partiell, und eine Semester-Periode später findet keine Finsternis mehr statt.

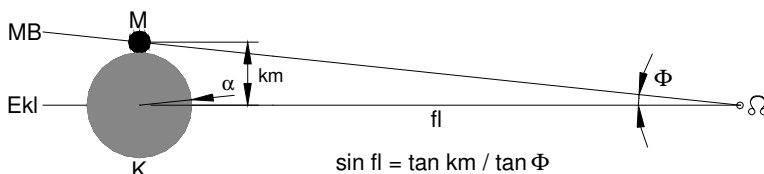


Abb.7b partielle Mondfinsternis

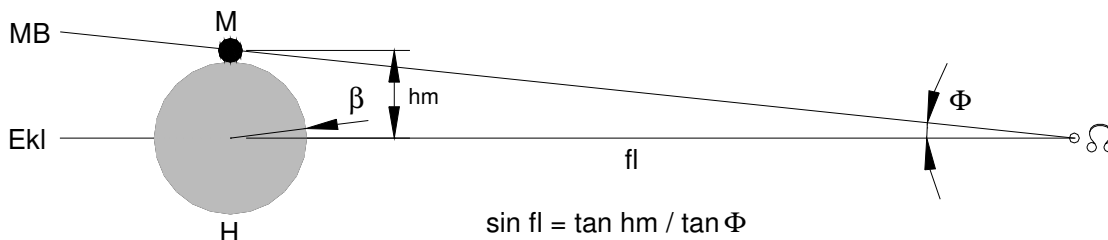


Abb.7c Halbschatten-Mondfinsternis

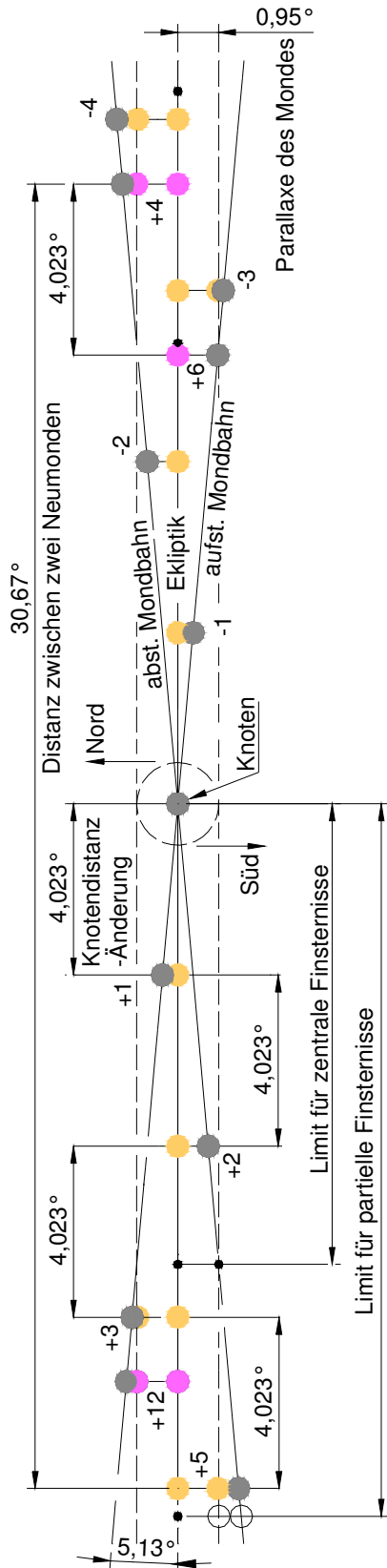


Abb.8 Sonnenfinsternis: Semester-Zyklus

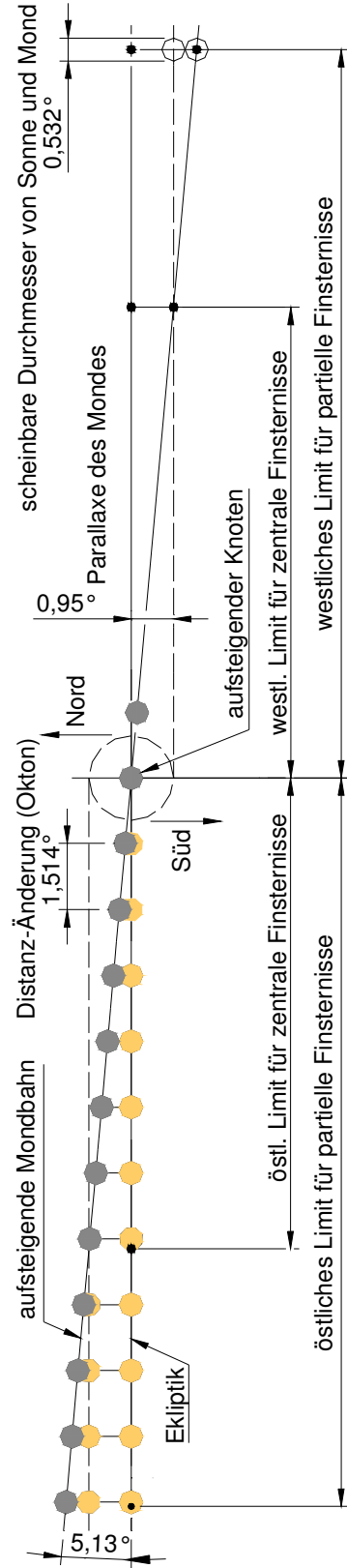


Abb.9 Sonnenfinsternis: Okton-Zyklus

Die Schnittpunkte zwischen den Mondbahnen und einer Parallele zur Ekliptik im Abstand der Parallaxe des Mondes bezeichnet das Limit für Zentrale Finsternisse. Um das Limit für partielle Finsternisse zu finden, hat man diesen Abstand um die scheinbaren Radien von Sonne und Mond zu vergrößern.

Abbildung 9 enthält einen **Okton-Zyklus**. Bei ihm ist im Schnitt nur knapp jede achte Finsternis berücksichtigt (Die Periodendauer beträgt 47 anstatt bisher 6 Lunationen). Die Knotendistanz-Änderung ist nur noch 1,514°. Entsprechend größer ist die Zahl der Finsternisse. Der gezeichnete Zyklus enthält total 23 Finsternisse: je 11 beidseits des Knotens plus 1 im Knoten. 15 Finsternisse sind zentral, 8 sind partiell. Alle Finsternisse finden in der Nähe des aufsteigenden Knotens statt, die ersten (partiellen) in der Antarktis, die letzten in der Arktis. Mit der fast achtfachen Perioden-Dauer und der ebenfalls größeren Zahl von Finsternissen ist die Dauer eines Okton-Zyklus etwa das zwanzigfache eines Semesters.

Zyklen sind Zusammenstellungen ausgewählter Finsternisse. Ihre Kenngröße ist ihre Periode, ihr Merkmal die Ähnlichkeit sich folgender Finsternisse, die umso größer, je kleiner die Knotendistanz-Änderung ist. Letztere ist umso kleiner, je besser folgende Gleichung erfüllt ist:

$x s = y d$  (x und 2y = ganze Zahlen)  
 s=**synodischer**; d=**drakonitischer** Monat  
 (siehe auch: 5. Saros-Zyklus)

Geeignete Zahlenpaare x/y findet man durch Kettenbruchrechnung:

Semester:	6s ≈ 6,5d (+4,023°)
Hepton:	41s ≈ 44,5d (-2,509°)
Okton:	48s ≈ 51,0d (+1,514°)
Anonymos:	88s ≈ 95,5d (-0,977°)
Tritos:	135s ≈ 146,5d (+0,518°)
Saros:	223s ≈ 242,0d (-0,477°)
Inex:	358s ≈ 388,5d (+0,041°)

## 5. Der Saros-Zyklus

Der Saros-Zyklus mit fast identischen Sonnenfinsternissen nach je 18 Jahren und 11 1/3 Tagen (18.03 Jahre) war schon den Babyloniern bekannt. Wir sind heute voller Bewunderung darüber, dass sie (wie ihre frühen Nachfolger auch) durch einfachste Beobachtungen, *"mit Jahrhunderte langem astronomischen Kopfweh so viel (hier über Finsternisse) enträtselt haben"* [2].

Meistens muss man sehr lange warten, bis

Zeitspannen verschiedener astronomischer Vorgänge in einem gemeinsamen Vielfachen zu finden sind. Das erstaunliche ist, dass beim Saros nicht nur in einer relativ kleinen Zeitspanne (fast) ganzzahlige Vielfache von zwei Vorgängen enthalten sind, sondern sogar ein dritter hinzukommt.

Die ersten beiden Klein-Perioden sind die Lunation (**synodischer** Monat: 29,5306 Tage) und das aufeinanderfolgende Passieren des gleichen Mond-Knotens (**drakonitischer** Monat: 27,2122 Tage). Es gelten folgende Multiplikationen:

$223 \cdot 29,5306 = 6.585,3238 \text{ Tage} \approx 6.585,3524 \text{ Tage} = 27,2122 \cdot 242$ :

Nach der 223. Lunation besteht fast wieder die ideale Situation wie am Anfang (0. in Abb.1).

Die Abweichung zwischen Knoten und Neumond beträgt nur ca.0,477°.

Hinzu kommt drittens, dass der Mond nach dieser Zeit auch wieder fast dieselbe Position auf seiner elliptischen Bahn bzw. fast wieder die gleiche scheinbare Grösse hat. Die Bahn dreht sich nämlich ebenfalls langsam im Raum. Der Mond ist deshalb z.B. schon nach 27,5546 Tagen wieder im Apogäum (**anomalistischer** Monat). Multiplikation:

$239 \cdot 27,55455 = 6.585,5375 \text{ Tage}$ .

Sogar die scheinbare Grösse der Sonne ist nicht sehr viel anders, denn die Erde ist fast auf demselben Platz ihrer Bahn um die Sonne (Differenz nur ca.11 Tage).

Im Zyklus des Saros folgen sich also fast identische Sonnenfinsternisse. Eine nach 3 mal 18,03 Jahren folgende Finsternis findet sogar fast am gleichen Ort statt (dazwischen jeweils um ca.120 Längengrade verschoben). In der Zwischenzeit von 18,03 Jahren gibt es bis 40 andere Finsternisse, wovon jede einem anderen Saros-Zyklus angehört (jeder Zyklus trägt eine Nummer). Ein Saros "lebt" wie jeder Finsternis-Zyklus nicht ewig, er beginnt mit einer partiellen Finsternis, in der Mitte handelt es sich um zentrale, zum Schluss sind es wieder nur partielle Finsternisse. Zu einem Saros gehören ca.73 Finsternisse, woraus sich seine Lebensdauer zu 18,03·73 gleich ca.1.316 Jahre ergibt.

## 6. Der zeitliche und örtliche Verlauf einer totalen Sonnenfinsternis

Bei einer Sonnenfinsternis bewegt sich der Schatten des Mondes grob gesagt von West nach Ost. Die tägliche Bewegung von Sonne und Mond verläuft umgekehrt und spiegelt die

Drehung der Erde um sich selbst. Also hat die Fahrt einer Finsternis eine andere Ursache: es ist die Rundfahrt des Mondes um die Erde. Die scheinbare Jahres-Bewegung der Sonne um die Erde hat zwar die gleiche Richtung, ist aber ca. 12 mal langsamer (ein Jahr hat etwas mehr als 12 Lunationen). Der Mond überholt die Sonne. Sein Schatten würde mit ca. 3.400km/h über die (nicht drehende) Erde rasen (Anmerkung 6). Hier hilft nun die nach Osten gehende Eigendrehung der Erde, die auf dem Äquator mit knapp 1700km/h (40.000km/24h) maximal ist.

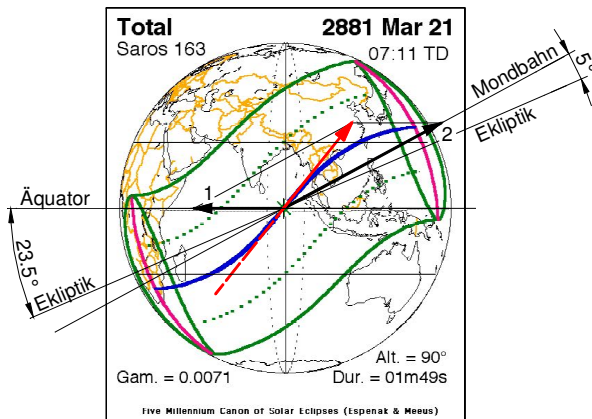


Abb.10 totale Finsternis am Frühlingsanfang

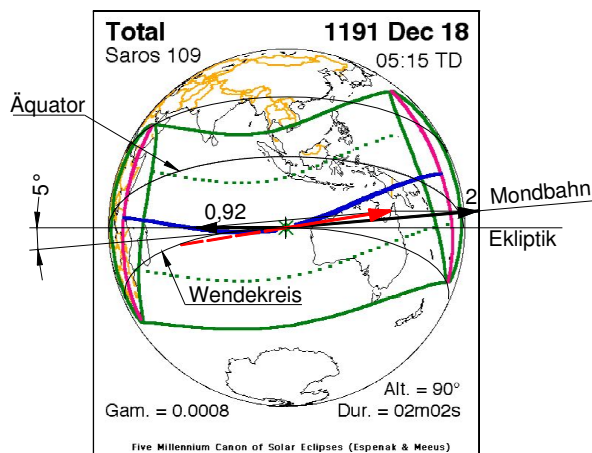


Abb.10 totale Finsternis am Winteranfang

Die Abbildungen 10 und 11 enthalten die von der NASA [4] berechneten Schattenbahnen von zwei sehr nahe am Knoten stattfindenden Finsternissen. Solche Finsternisse sind zwar sehr selten, eignen sich aber, die Richtung und die Geschwindigkeit der Mondbahn auf einfache Weise für wenigstens einen Ort/Moment zu erklären.

Ort der größten Totalität und Subsolarer Punkt sind identisch. Sie befinden sich in der Mitte des

Bildes der Erdkugel. Die Achse des Mondschattens ist dort senkrecht zum Horizont, im Bild senkrecht zur Zeichenebene. Die Geschwindigkeitsvektoren lassen sich unverzerrt einzeichnen und addieren. Die ausgewählten Finsternisse finden zudem zu besonderen Jahresdaten statt: einmal zur Frühlings-Tag-Nacht-Gleiche, einmal zur Wintersonnenwende. An diesen Tagen ist die Lage der Ekliptik relativ zum Erd-Äquator leicht angebar.

Abbildung 10 enthält eine Finsternis zur Tag-Nacht-Gleiche. Die Ekliptik schneidet den Äquator mit dem Ekliptik-Winkel  $\epsilon=23,5^\circ$ . Sie wird selbst von der Mondbahn unter ca.  $5^\circ$  geschnitten. Als Größe der Schattengeschwindigkeit ist das Doppelte der Erdgeschwindigkeit angenommen. Von ihr ist der einfache Teil abzuziehen, der infolge der Erddrehung nach Westen zeigt. Die resultierende Geschwindigkeit ist etwa 1,22 und weicht mehr als  $50^\circ$  von der Ostrichtung ab. Bei einer Sonnenwende (Abb.11) sind Äquator und Ekliptik momentan parallel. Die Erdgeschwindigkeit ist auf einem Wendekreis kleiner als am Äquator: ca. 0,92 ( $=\cos\epsilon$ ). Die Resultierende ist etwa 1,09 und weicht etwa  $10^\circ$  von der Ostrichtung ab.

In beiden Bildern stimmt die Richtung der Resultierenden (roter Pfeil) gut mit der von der NASA angegebenen Richtung (blaue Linie) der Schattenbahn am Ort der maximalen Finsternis überein.

Abbildung 10 enthält eine Finsternis zur Tag-Nacht-Gleiche. Die Ekliptik schneidet den Äquator mit dem Ekliptik-Winkel  $\epsilon\approx 23,5^\circ$ . Sie wird selbst von der Mondbahn unter ca.  $5^\circ$  geschnitten. Als Größe der Schattengeschwindigkeit ist das Doppelte der Erdgeschwindigkeit angenommen. Letztere zeigt relativ zur Schattenbewegung nach Westen. Die resultierende Geschwindigkeit ist etwa 1,22 und weicht mehr als  $50^\circ$  von der Ostrichtung ab.

Bei einer Sonnenwende (Abb.11) sind Äquator und Ekliptik momentan parallel. Die Erdgeschwindigkeit ist auf einem Wendekreis kleiner als am Äquator: ca. 0,92. Die Resultierende ist etwa 1,09 und zeigt geringfügig nördlicher als die Bahn der Schattenachse.

Die resultierende, dennoch hohe Geschwindigkeit ist Ursache dafür, dass eine totale Sonnenfinsternis in sehr kurzer Zeit über einen Ort hinweg geht. Als grösst-möglicher Kernschatten-Durchmesser werden 264km [3] und als längste mögliche Zeit für eine in Äquator-Nähe stattfindende



dende totale Sonnenfinsternis 7,67min [2] angegeben. Es handelt sich dabei also nicht um einen der untersuchten Sonderfälle und auch nicht um nur einen Fall, in dem beide Extremwerte gleichzeitig auftreten würden.

### 7. Sonnenfinsternis-Tourismus ist populär

Die folgende abschliessende Bemerkung ist die Übersetzung eines Zitats [2]:

*"Totale Sonnenfinsternisse sind nicht nur kurz, sie sind selten. Lasst uns überlegen, warum. Die Fläche einer typischen Sonnenfinsternis-Spur – 6.000 Meilen lang und 100 Meilen breit – beträgt 600.000 Quadrat-Meilen. Zum Vergleich, die Erdoberfläche ist 197 Millionen Quadrat-Meilen gross. Wer also immer an nur einem Ort der Erde leben und überhaupt nicht reisen möchte, für den ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass eine totale Finsternis seine Stadt passiert 600.000 zu 197.000.000 oder 1 zu 328. ... , totale Sonnenfinsternisse finden im Durchschnitt etwa alle 1,5 Jahre statt. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 1 zu 333 hat man 500 Jahre zu warten, bis eine totale Finsternis zu einem kommt. Kein Wunder, dass Sonnenfinsternis-Expeditionen so populär sind."*  
(Anmerkung 7)

### 8. Literatur

- [1] G. Van den Bergh: "Periodicity and Variation of Solar (and Lunar) Eclipses", Haarlem 1955
- [2] J.B. Zirker: "Total Eclipses of the Sun", Princeton University Press, 1981
- [3] A. Verdun: "Die totale Sonnenfinsternis vom 11. August 1999", Astron. Inst. Uni Bern, 99
- [4] <http://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>

### 9. Anmerkungen

#### Anmerkung 1

In Wirklichkeit ist die Sonne ca.400 mal grösser als der Mond, sie ist aber auch gleich viel weiter von uns entfernt als der Mond.

#### Anmerkung 2

Das ist ein sehr flüchtiger Moment, nämlich der Wechsel zwischen ringförmig und total, wenn sich der Mond-Schatten der "Kuppe" auf der Erd-Kugel nähert bzw. umgekehrt sich von ihr entfernt.

#### Anmerkung 3

Die im folgenden berechneten Werte sind durchweg kleiner als in der Literatur zu findende. Hier werden absolute Kleinstwerte ermittelt

(z.B. ist auch berücksichtigt, dass der Winkel zwischen Ekliptik und Mondbahn maximal 5°16' gross ist), in den Literaturwerten sind offensichtlich Ereignisse unterhalb einer bestimmten Wahrscheinlichkeit nicht beachtet.

#### Anmerkung 4

Die Parallaxe der Sonne verringert eigentlich das Limit. Sie ist aber wegen der im Vergleich zum Mond ca. 400 mal grösseren Entfernung von der Erde entsprechend klein, ihre Wirkung also vernachlässigbar.

#### Anmerkung 5

Die maximale Abweichung beträgt ca.15,3° (Mittelwert nach Lunationen 23 und 24, Abb.1)

#### Anmerkung 6

Diese Geschwindigkeit ist im synodischen Monat zu 29,5306Tagen enthalten. Der Mond hat auf seiner Bahn mit mittlerem Radius von 384.400km zur Sonne die relative Geschwindigkeit

$$2\pi \cdot 384.400 / 29,5306 = 81.788 \text{ km/Tag} = 3.408 \text{ km/h}$$

Da die Sonne sehr weit entfernt ist, rast der Mondschaten mit ähnlicher Geschwindigkeit über die (nicht drehende) Erde, er ist nur unwesentlich schneller.

#### Anmerkung 7

Der originale Text enthält etwas zu grosszügigen Umgang mit Zahlen, der korrigiert wurde (nicht kursiv).

Wem auch eine ringförmige Sonnenfinsternis genügt, für den ist die Chance für eine nicht nur partielle Sonnenfinsternis fast doppelt so hoch. Aber um sicher zu sein, ist doch eine Reise zu empfehlen. Manchmal findet eine Finsternis gerade dort statt, wo man ohnehin einmal hinwollte (z.B. nach China, totale Sonnenfinsternis am 22. Juli 2009, südlich Schanghai).

Mai 2008/Nov.08/Nov.09

Siegfried Wetzel, CH 3400 Burgdorf  
s.wet@gmx.net