

Die Mondlibrationen

Obleich uns der Mond ständig dasselbe Gesicht zeigt, kennen wir dennoch mehr als nur die Hälfte seiner Oberfläche. Unser Satellit scheint sich dauernd in einer leicht wiegenden Bewegung zu befinden, einmal um die Nord-Süd-Achse, einmal um die Ost-West-Achse. Der erste Anteil dieser scheinbaren Bewegung ist einer Rotation vergleichbar, wie sie abwechselnd im einen und anderen Sinne eine Drehwaage ausführt, nur ist der jedesmalige Ausschlag beim Monde viel kleiner. Der zweite Anteil jener Mondbewegung erweckt den Eindruck, als ob sich der Mond immer wieder nach vorn und nach hinten verneigt. Diese wiegenden oder pendelnden Bewegungen gestatten, daß der Sichtbarkeitsbereich auf dem Monde nach links und rechts sowie nach oben und unten ausgedehnt wird. Sie werden auf drei Ursachen zurückgeführt und heißen mit einem zusammenfassenden Ausdruck die Librationen.

Entsprechend dem Gesetz der Fahrstrahlen beschreibt der Mond seine Ellipsenbahn nicht mit konstanter Geschwindigkeit, aber zugleich ist die Rotation um seine eigene Achse völlig regelmäßig. Daraus ergibt sich, daß das Verhältnis zwischen dem Winkel, um den sich der Mond in einer gewissen Zeit dreht, und demjenigen Bahnbogen, den er in der gleichen Zeit durchläuft, nicht gleich groß bleibt. Während der einen Hälfte einer Lunation zeigt sich uns die linke Seite des Mondes breiter, während der ande-

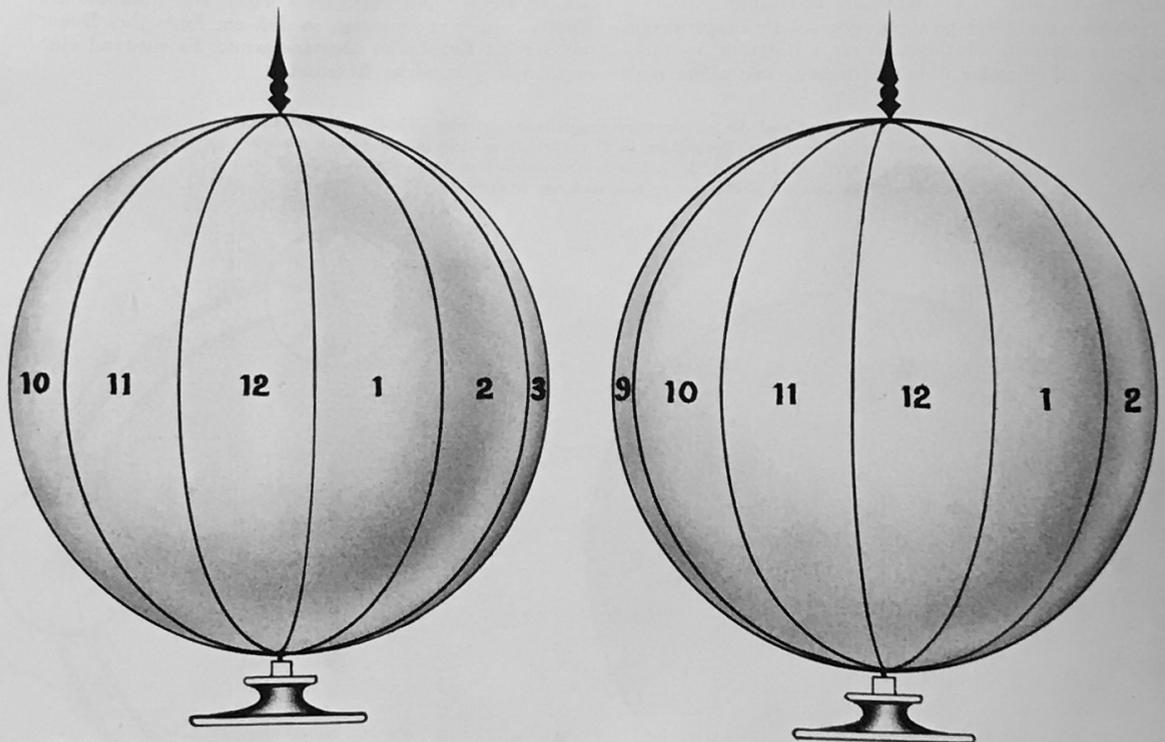


Abb. 20. - Auswirkung einer Ungleichheit von Umlauf und Umdrehung. Wenn durch eine zusätzliche Übersetzung Umlauf- und Umdrehungsbewegung unabhängig gemacht werden und deren beider Winkelgeschwindigkeit periodisch wechselt, so ändert sich der Anblick der Kugel in Abb. 19 im gleichen Maße. Erhöht sich die Umlaufgeschwindigkeit, so werden neue Kugelsektoren rechts sichtbar; vermindert sich die Umlaufgeschwindigkeit, so erscheinen links neue Teile der Kugeloberfläche.

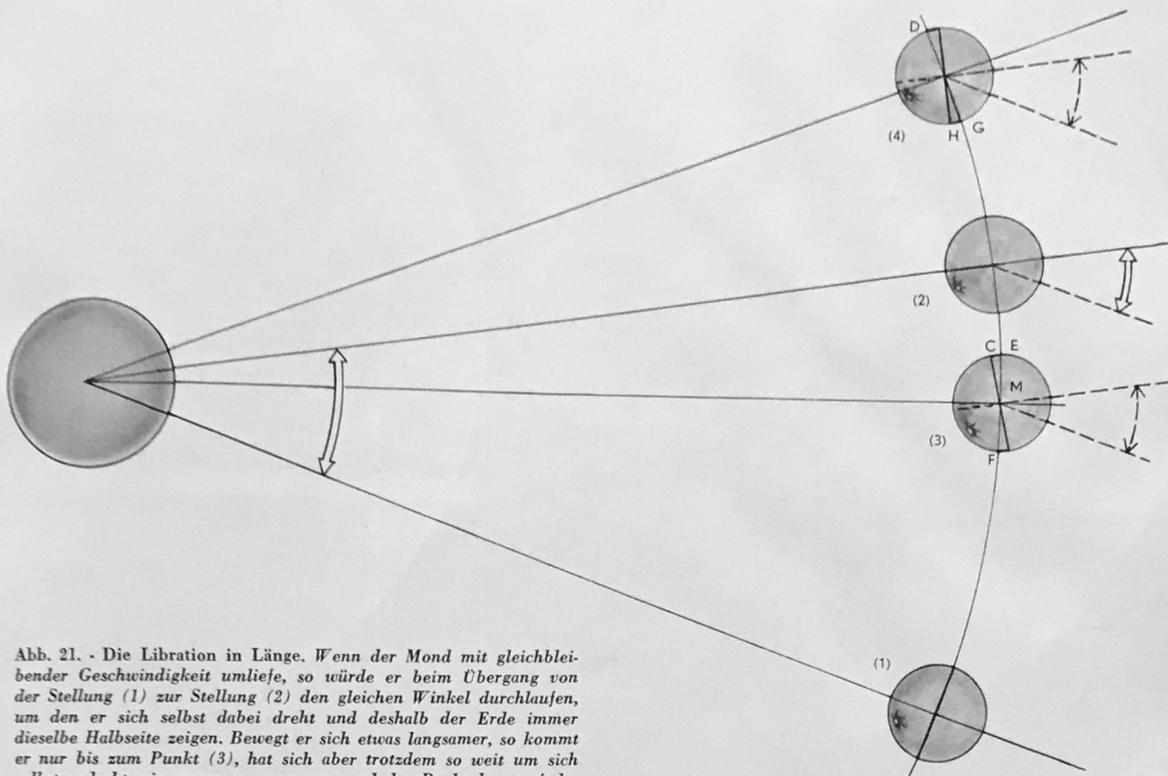


Abb. 21. - Die Libration in Länge. Wenn der Mond mit gleichbleibender Geschwindigkeit umliefe, so würde er beim Übergang von der Stellung (1) zur Stellung (2) den gleichen Winkel durchlaufen, um den er sich selbst dabei dreht und deshalb der Erde immer dieselbe Halbseite zeigen. Bewegt er sich etwas langsamer, so kommt er nur bis zum Punkt (3), hat sich aber trotzdem so weit um sich selbst gedreht wie zuvor angenommen, und der Beobachter auf der Erde sieht dann gleichsam etwas hinter den linken Mondrand. Der Winkel CME stellt dann den Librationsausschlag dar, und der halbe Kreisumfang ECF kennzeichnet den Teil, der von der Erde sichtbar ist. Bewegt sich der Mond etwas schneller, so daß er in die Stellung (4) gelangt, so tritt das umgekehrte Ergebnis ein, der Beobachter sieht ein wenig mehr nach rechts herum, und die Halbkugel zum Bogen DHG ist sichtbar.

ren Hälfte der Lunation tritt das Gegenteil ein (Abb. 20). Um diesen Vorgang besser zu verstehen, kann man sich an das Beispiel des Schwanes halten, der auf dem Weiher schwimmt, den wir uns jetzt elliptisch vorstellen. Auch wenn sich der Schwan bei jedem Umgang gleichmäßig schnell einmal um sich gedreht hat, so kommt er doch nicht gleich schnell auf seiner Bahn voran, wenn das Gesetz der Fahrstrahlen gilt. Der Beobachter auf der Insel sieht zwar den Schwan immer von dessen linker Seite, aber während der einen Hälfte der Runde sieht der Betrachter zusätzlich ein wenig von der Vorderseite, danach ein wenig von der Hinterseite des Schwanes (Abb. 21).

Die damit erklärte wiegende Bewegung des Mondes nennt man Libration in Länge; ihr Ausschlag ist $7^{\circ}54'$. Mit anderen Worten: zwei entgegengesetzte Teile der Mondoberfläche, jeder als Sichel mit einem Öffnungswinkel von knapp 8° , sind abwechselnd östlich und westlich der Nord-Süd-Achse sichtbar und verborgen (Photos 12 und 13).

Zweite Ursache der Mondlibrationen ist, daß die Drehachse des Mondes nicht senkrecht auf der Bahnebene des Mondes steht. Das ist die gleiche Situation, die uns bei der Erdachse begegnet, obwohl die Neigung der Mondachse weniger ausgeprägt ist. Bildet die Rotationsachse der Erde mit der Ekliptik einen Winkel von rund 67° , so ist derselbe zwischen Mondachse und Mondbahnebene 83° . Ebenso wie sich Nord- und Südpol der Erde abwechselnd ein halbes



Links :

Photos 12 und 13. - Die Libration in Länge. Auf dem Photo 12 sind die Randregionen links vom Mare Crisium besser zu sehen als auf dem Photo 13.

(Photo 12 : Observatorien Mount Wilson und Palomar, 250 cm Spiegel.)

(Photo 13 : Sternwarte Paris.)

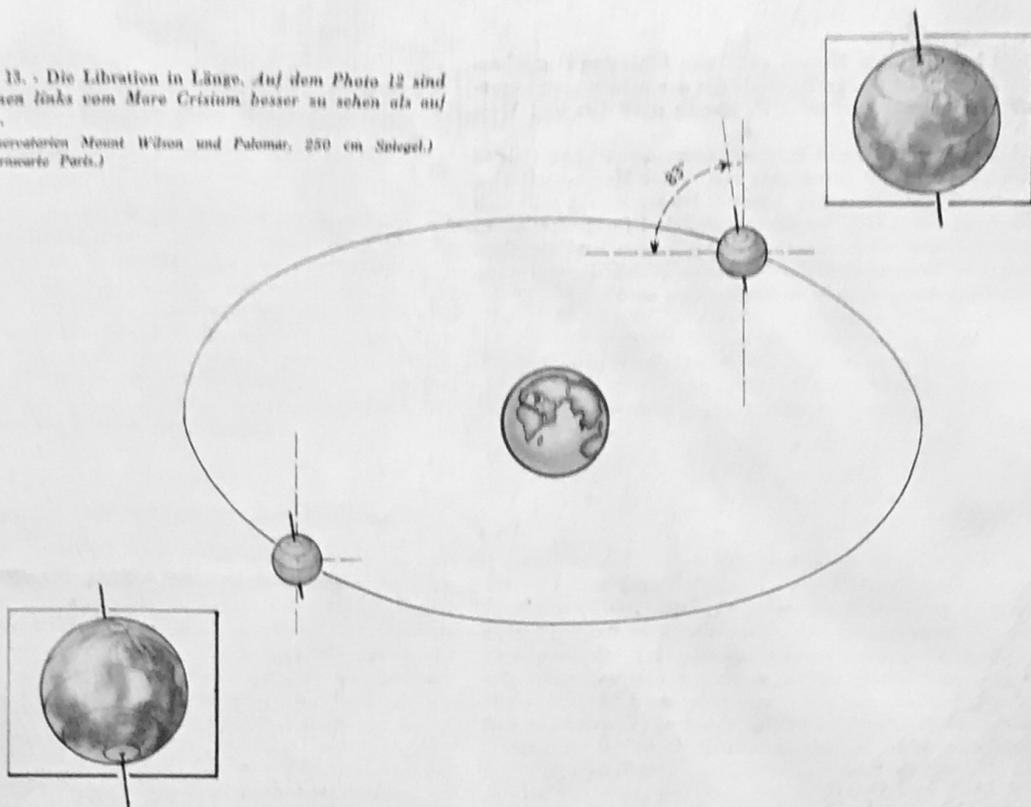


Abb. 22. - Die Libration in Breite. Weil die Umdrehungsachse des Mondes nicht senkrecht auf der Umlaufbahn steht, neigt der Mond während einer halben Lunation seinen Nordpol, während der anderen Hälfte seinen Südpol zur Erde hin. Die sichtbare Hälfte erstreckt sich deshalb abwechselnd über den Nordpol oder über den Südpol hinaus.

Jahr lang zur Sonne neigen, so neigen sich auch die Mondpole abwechselnd eine halbe Lunation lang zur Erde hin. Dieses scheinbare Hin- und Herwiegen hat einen größten Ausschlag von $6^{\circ}50'$. Es hat den Namen Libration in Breite erhalten, weil sich in diesem Falle die sichtbare Oberfläche des Mondes in ihrer lunaren Breite ausdehnt (Abb. 22 und Photos 14 und 15).

Endlich, von einem dritten Gesichtspunkt aus gesehen, wird uns eine wiegende Bewegung des Mondes durch die Erdrotation vorgetäuscht. Hier macht sich die endliche Entfernung des Mondes von der Erde geltend. So sieht z.B. ein Beobachter in Haiti nicht den gleichen Teil der Mondoberfläche als Vorderseite wie ein anderer Beobachter in Bangkok. Diese scheinbare seitliche Verschiebung heißt Parallaxe ; sie tritt uns auf der Erde entgegen, wenn der Betrachter einer weit entfernten Landschaft seinen Standpunkt weit genug quer verschiebt. Die Rotation der Erde hat genau genommen zur Folge, daß sich der Standort, von dem aus ein Beobachter zum Monde blickt, ständig verschiebt und der Mond deshalb immerfort einen anderen Anblick bietet. Von den beiden obengenannten Betrachtern befindet sich der zweite im Hinblick auf den Mond dort, wo sich der erste vor zwölf Stunden befunden hat. Während dieser zwölf Stunden hatten beide den Eindruck, daß es der Mond sei, der sich ein wenig um seine Achse herum verschiebe. Dieser dritten scheinbaren Bewe-

Links :

Photos 14 und 15. - Die Libration in Breite. Der Mond auf Photo 15 scheint sich im Verhältnis zur Stellung auf Photo 14 zum Betrachter herüberzuneigen. Die Regionen um die Wall- bzw. Ringebenen Clavius und Plato in der Nähe des Süd- bzw. Nordrandes lassen das klar erkennen.

(Photo 14 : Sternwarte Paris.)

(Photo 15 : Observatorien Mount Wilson und Palomar, 250 cm Spiegel.)

VI Die Bahn des Mondes am Himmel

Die Bahn, die der Mond am Himmel beschreibt, ist einzigartig abwechslungsreich; hätte sie ein Mensch erdacht, so würde sie seiner Erfindungsgabe alle Ehre machen. Er geht Tag für Tag zu einer anderen Zeit auf und unter, ohne daß die Verspätung von einem Tag zum nächsten die gleiche ist. Er kann die Dauer seiner Sichtbarkeit für einen Erdbewohner innerhalb von vierzehn Tagen von acht Stunden bis zu 16 Stunden steigern. Bald steigt er am Himmel hoch hinauf, bald erhebt er sich - immer im rhythmischen Wechsel - nur wenig über den Horizont.

Alle diese Schwankungen haben ihre Ursache in Veränderungen, denen die Orientierung der Mondbahnebene unterliegt. Manche dieser Veränderungen vollziehen sich wirklich, andere werden uns nur vorgetäuscht. Die Ebene der Mondbahn ist der Ebene der Ekliptik benachbart. Diese wiederum sehen wir von der Erde aus in einer immer wechselnden Lage zum Gesichtskreis unseres Standpunktes, so daß uns zugleich eine Änderung der Mondbahnorientierung im einen oder andern Sinn vorgetäuscht wird.

Angenommene Schwankungen der Erdkugel

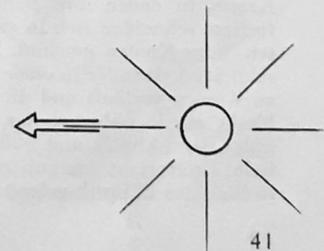
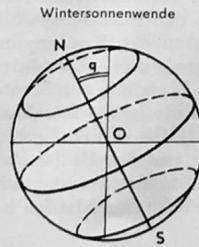
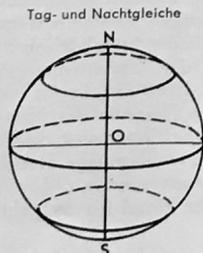
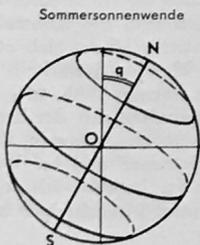
Wenn sich die tägliche Umdrehung unserer Erde um eine Achse vollzöge, die auf der Ekliptikebene senkrecht stünde, so würde der Ablauf eines Jahres von der Allgemeinheit nicht bemerkt werden; es gäbe keine Jahreszeiten, überall auf der Erde wäre der Tag immer so lang wie die Nacht, und für alle Orte der Erde wäre die Sonnenbahn von Tag zu Tag dieselbe. Die jahreszeitlichen Veränderungen sind einzig der Neigung der Erdachse gegen die Ekliptikebene zuzurechnen, und die jährliche Umdrehung der Erde um die Sonne hat fast nur zur Wirkung, daß der Winkel verändert wird, unter dem die Sonnenstrahlen auf die Erde auftreffen. Das alles vollzieht sich so, als ob die Erde nicht um die Sonne liefe, vielmehr auf ihrer Bahn stehen bliebe und sich im Laufe eines Jahres einmal hin und her um je $23^{\circ}27'$ neigte, so daß Nord- und Südpol je einmal zur Sonne hingewendet würden. Nichts kann deshalb unser Einbildungsvermögen daran hindern, über diese Fiktion nachzudenken und den jeweiligen Winkel zwischen der Erdachse und der Ekliptiksenkrechten als eine charakteristische Eigenheit jedes Tages im Jahreslaufe anzusehen. Der Winkel ändert sich von $-23^{\circ}27'$ bis zu $+23^{\circ}27'$, wobei diese Werte an den Solstitien erreicht werden, der Mittelwert 0° aber zur Zeit der Äquinoktien (Abb. 24).

Beim Ablaufe einer Rotation beschreiben alle Punkte der Erdoberfläche Bahnen, die mit Parallelkreisen zusammenfallen. Hätte die Erde genau die Kugelform, so würde jede Vertikale in einem beliebigen Punkt jedes Parallelkreises aus der Erdkugel einen Kegel heraus schneiden, dessen Spitze im Erdzentrum läge. Ein Beobachter auf der Erdoberfläche kann sich sehr wohl der Vorstellung von der ruhenden Erde hingeben, obwohl er ständig an der Revolution der Erde teilnimmt, und er kann annehmen, daß sich stattdessen das Himmelsgewölbe herumdreht und mit diesem alles, was dazugehört, wie z.B. die Ekliptiklinie. Könnte er längs dieser Schnittlinie von Ekliptikebene und Himmelsgewölbe einen großen Reifen legen, so würde sich dieser in einer taumelnden Bewegung zeigen, so als ob er auf einem Kreisel aufläge und somit dessen doppelte Bewegung, Drehen und Taumeln, mitmachte. Aus dem Anblick dieser Kreiselbewegung gewinnt der unvoreingenommen beobachtende Erdbewohner den Eindruck, als ob sich die Ekliptiklinie im Laufe eines Tages allmählich hebt und senkt, wie von einer gewaltigen Woge auf- und abgetragen. Es läßt sich leicht zeigen, daß der periodische Ausschlag dieser Bewegung doppelt so groß ist wie der Winkel von $23^{\circ}27'$ (Abb. 25).

Die scheinbare Mondbahn im Sommer und im Winter

Man kann die Bahnen, die der Mond während der verschiedenen Jahreszeiten am Himmel beschreibt, leicht verstehen, wenn man zunächst einmal die nur annähernd richtige Annahme macht, er bewege sich immer in der Ekliptik. Das ist nicht abwegig, weil der Winkel zwischen der Mondbahnebene und der Ekliptikebene nur $5^{\circ}8'48''$ beträgt und weil dieser Neigung bei der Erklärung der Mondbahnen zusätzlich leicht Rechnung getragen werden kann. Als Neumond sehen wir unseren Satelliten genau oder

annähernd in der Richtung zur Sonne; daraus folgt, daß er im Sommer zusammen mit der Sonne hoch am Tageshimmel hinaufsteigt, während er sich im Winter nur wenig über den Horizont erhebt. Sehen wir ihn aber als Vollmond, so zieht er 12 Stunden hinter der Sonne her. Das ist der zeitliche Abstand, in dem sich die Ekliptik am Himmel in ihren entgegengesetzten Verlauf zu verlagern scheint oder auch: der Mond steht als Vollmond dort auf der Ekliptik, wo die Sonne ein halbes Jahr vorher stand



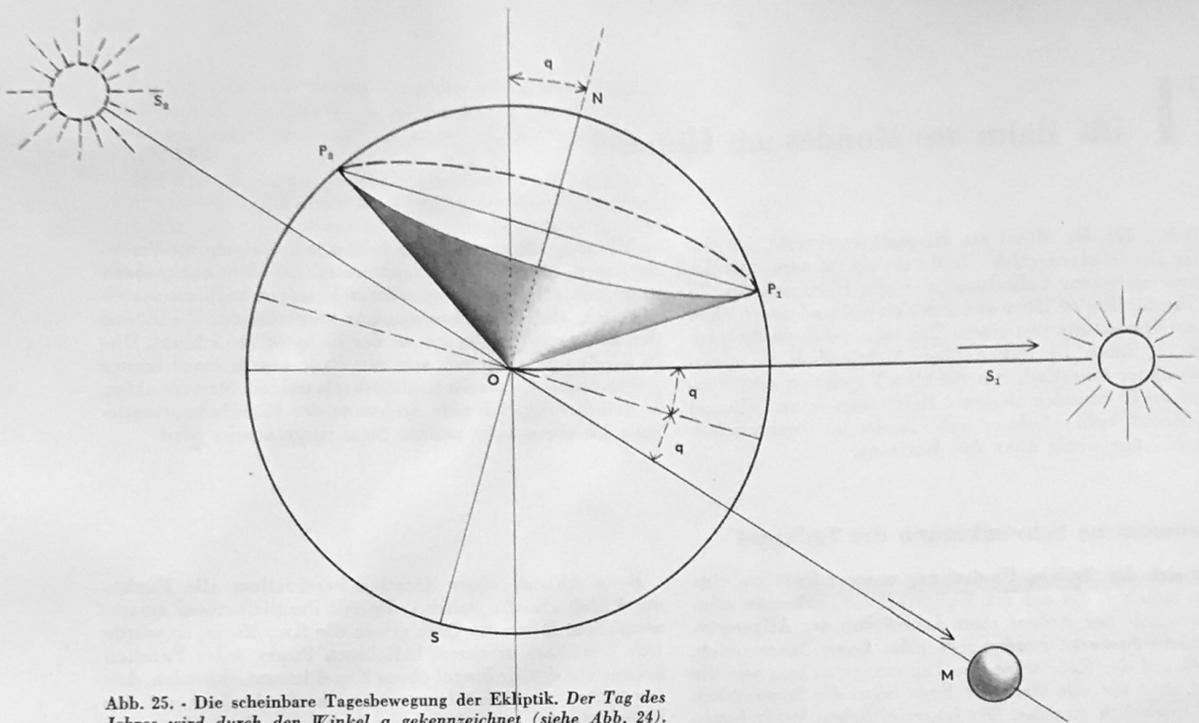


Abb. 25. - Die scheinbare Tagesbewegung der Ekliptik. Der Tag des Jahres wird durch den Winkel q gekennzeichnet (siehe Abb. 24). Zu Mittag sieht ein Beobachter in P_1 die Sonne in der Richtung OS_1 . Zu Mitternacht befindet sich dieser Beobachter in P_2 , wobei der Erdradius zu ihm die Hälfte eines Kegels mit der Spitze im Erdmittelpunkt beschrieben hat. Für den Beobachter hat sich jedoch die Sonne bewegt, ist hinter dem Horizont verschwunden und steht nun in Richtung OS_2 . Zur Zeit des Vollmondes geht dieser 12 Stunden hinter der Sonne her. Er steht dann ihr gegenüber, d.h. in der Verlängerung von S_2O , und der Beobachter in P_1 sieht ihn in der Richtung OM . Der Winkel S_1OM , um den sich die Ebene der Ekliptik verlagert zu haben scheint, ist dann $2q$.

oder ein halbes Jahr nachher steht. Im Sommer beschreibt also der Vollmond am Himmel nahezu dieselbe Bahn wie die Sonne im Winter und umgekehrt. Zur Zeit der Solstizien, d.h. zur Zeit von Sommer- oder Wintersonnenwende, ist dieser Gegensatz zwischen Sonnen- und Mondbahn am größten, und deshalb sehen wir auch niemals im Sommer einen vollen Mond hoch am Himmel, während wir ihn zur Winterszeit hoch droben erblicken. Aus dem gleichen Grunde erreicht der Mond seine größte Höhe über dem Horizont im ersten Viertel zu Frühlingsanfang und im letzten Viertel zu Herbstanfang.

In einzelnen geographischen Breiten unserer Erde zeigen die Mondbahnen einzigartige Eigenheiten. So läuft zur Zeit der Äquinoktien, d.h. zu Frühlings- und Herbstbeginn, die Sonne mit dem Neumond genau über dem Erdäquator

am Himmel; zur Mittagszeit entsteht dann kein Schatten. Als zunehmender oder abnehmender Mond dagegen weicht der Mond vom Äquator nach Norden oder Süden ab und zieht auf paralleler Bahn zu ihm, wenn man nur die Tagesbewegung des Mondes berücksichtigt. Zur Zeit der Solstizien erscheint die Sonnenbahn $23^{\circ}27'$ vom Himmelsäquator nach Norden oder Süden entfernt, und der Mond läuft dann als zunehmender oder abnehmender Mond auf paralleler Bahn südlich oder nördlich davon. In den polnahen Gegenden der Erde schafft der Vollmond während der Zeit der ununterbrochenen Nacht einen Ausgleich für das fehlende Sonnenlicht. Bleibt die Sonne dann wochen- oder monatelang unter dem Horizont, so erhebt sich der zunehmende Mond immer höher über den Horizont, erreicht als Vollmond die größte Höhe, senkt sich als abnehmender Mond wieder nach dem Horizont zu und scheint mindestens eine halbe Lunation ununterbrochen. Am Pol selbst liegen die Bahnen des Mondes vom ersten bis zum letzten Viertel während der halbjährigen Nacht parallel zum Horizont, wenn man die Verschiebung des Mondes auf seiner Bahn um die Erde einmal außer Betracht läßt. Dann wirft auch die kleinste Unebenheit des polaren Eises lange Schatten, und hell treten die weißen Spitzen und Kanten im direkten Mondlicht hervor.

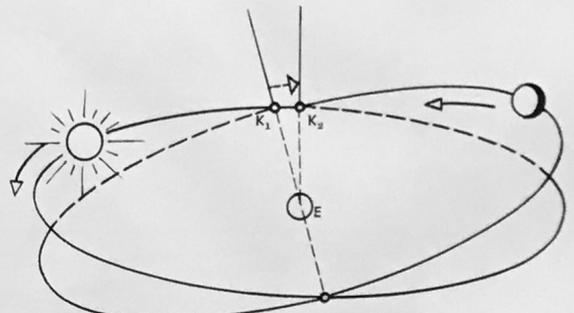
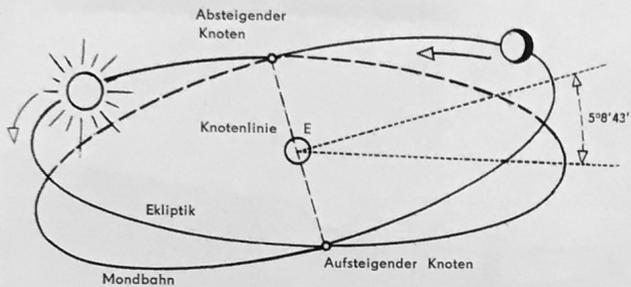
Die aufsteigenden und absteigenden Knoten der Mondbahn

Die Neigung zwischen der Mondbahnebene und der Ekliptikebene springt sofort in die Augen, wenn man Sonne und Mond monatelang am Himmel verfolgt. Die beiden Kreise, in denen ihre Bahnebenen das Himmelsgewölbe treffen, schneiden sich in zwei Punkten, den Knotenpunkten, kurz Knoten genannt. Die Bahnebenen selbst durchschneiden einander in einer geraden Linie, die von Knoten zu Knoten verläuft und die Knotenlinie heißt. Der Mond bleibt somit während der einen Hälfte seines Umlaufs unter der Ekliptik und während der anderen Hälfte oberhalb. Er erreicht den aufsteigenden Knoten, wenn er seine südlich der Ekliptik gelegene Bahnhälfte durchlaufen hat,

und passiert den absteigenden Knoten im entgegengesetzten Falle. Aber die Mondbahnebene behält ihre Lage zur Ekliptik nicht unverändert bei. Auch sie ist in einer kreiselartigen Taumelbewegung, so daß sich die Knotenlinie beständig im gleichen Sinne dreht. Sie dreht sich entgegen der Umlaufbewegung des Mondes innerhalb von 18 Jahren 224 Tagen einmal ganz herum (Abb. 26). Diese Neigung der Mondbahn zusammen mit der kreiselartigen Bewegung verändert die vorausgehenden Darlegungen über den Mondlauf im Sommer und im Winter nur unwesentlich. Um die Höhe zu kennen, bis zu der unser Mond für uns am Nordhimmel hinaufsteigen kann,

muß man den Winkel zwischen Äquator und Ekliptik und den zwischen Ekliptik und Mondbahn zusammennehmen. Diese größte Höhe wird erreicht, wenn der Frühlingspunkt, d. i. der Punkt, in dem die Sonne auf ihrer Jahresbahn von der Südhalbkugel des Himmelsgewölbes zur Nordhalbkugel übertritt, mit dem aufsteigenden Knoten der Mondbahn zusammenfällt. Der Mond erhebt sich dann bis zu einer Höhe von $23^{\circ}27' + 5^{\circ}9'$, somit bis zu $28^{\circ}36'$ über den Himmelsäquator empor. Fällt dagegen der absteigende Knoten der Mondbahn mit dem Frühlingspunkt zusammen, so steigt der Mond um $5^{\circ}9'$ weniger hoch am Himmel empor, als die Sonne es höchstens vermag, nämlich um $23^{\circ}27' - 5^{\circ}9'$, d. i. $18^{\circ}18'$. Das zeigt deutlich, daß die Abweichungen der Sonne vom Himmelsäquator noch von denjenigen des Mondes übertroffen werden.

Es existieren weitere Ursachen, die ebenfalls zu Ungleichmäßigkeiten der Mondbahn führen, jedoch kann man sie hier nicht alle aufzählen. Es sind ihrer mehr als tausend, was in der Tatsache seine Erklärung findet, daß sich der Mond praktisch niemals den gleichen Einflüssen der anderen Himmelskörper ausgesetzt sieht. Seine Stellung zur Erde ändert sich ebensosehr und ununterbrochen wie dieselbe zu den anderen Planeten und zur Sonne, und das ändert jeweils die Wirkung der anderen Gestirne auf ihn. Wenn diese Störungen in der Mehrzahl aller Fälle auch nicht sehr bedeutend sind, so müssen die Astronomen nichtsdestoweniger einige hundert von ihnen berücksichtigen, wenn sie die »Orter« des Mondes am Himmel vorausberechnen wollen.



Unter diesen weniger bedeutenden Bewegungen des Mondes ist eine, die eine gewisse Bedeutung beim Wiedereintreten von Finsternissen erlangt: die Rotation der Mondbahnebene um ihre eigene Achse. Die Ebene dreht sich im gleichen Sinne, wie der Mond umläuft, und die Dauer einer Umdrehung beläuft sich auf 8 Jahre 10 Tage (Abb. 27).

Als letzte nicht zu vernachlässigende Ursache der Ungleichmäßigkeiten in der Mondbewegung sei hier die Veränderung der Mondbahnneigung angeführt. Der oben angegebene Wert von $5^{\circ}8'43''$ ist nur ein mittlerer Wert. Im Ablaufe einer Periode von 173 Tagen schwankt der wirkliche Wert zwischen $5^{\circ}0'11''$ und $5^{\circ}17'35''$.

Die Mondaufgänge und die Monduntergänge

Nichts würde besser die Schwankungen in den scheinbaren Bewegungen des Mondes aufzeigen als die Zeiten des täglichen Mondaufganges und -unterganges, die man zusammen mit den Zeiten des Meridiandurchganges einem Kalender entnimmt. Trägt man die angegebenen Zeiten als Punkte in einem Diagramm ein und verbindet die eingetragenen Punkte, so erhält man drei Kurven, deren Verlauf auf den ersten Blick verblüfft (Abb. 28). Während die beiden äußeren Kurven ausgesprochen wellenförmig verlaufen, ist die mittlere, die der Meridiandurchgänge des Mondes, nahezu gerade. Das bedeutet, daß der zeitliche Abstand zwischen zwei Meridianpassagen praktisch konstant ist, was auch aus den Kalendern folgt. Jeder dieser Augenblicke markiert den Zeitpunkt, an dem der Mond den Großkreis am Himmel erreicht, dessen Ebene durch den Standpunkt seines Betrachters und durch die beiden Erdpole geht. Mit anderen Worten ist es der Augenblick, in dem sich der Mond auf halbem Wege zwischen Aufgang und Untergang befindet und den höchsten Stand seiner Tagesbahn einnimmt (wenn man von der Bewegung des Mondes in seiner Bahnebene absieht). Die Länge der Zeit, die einen Meridiandurchgang vom folgenden trennt, hängt sowohl von der Geschwindigkeit der Erdumdrehung, welche fast restlos regelmäßig abläuft, ab als auch von der Geschwindigkeit des Mondes in seiner Bahnebene. Diese letztere ist aber nicht gänzlich gleichförmig. Die daraus folgenden Unregelmäßigkeiten erklären, warum die mittlere Kurve des Diagramms nicht genau eine Gerade ist.

Abb. 26. - Die scheinbaren Bahnen von Sonne und Mond; Knotenrücklauf. Die erste Zeichnung zeigt die scheinbaren Bahnen von Sonne und Mond, wenn es keine Kreisbewegung der Mondbahnebene gäbe. Die zweite zeigt diese Bewegung und damit den Rücklauf der Bahnknoten. Ein voller Umlauf der Knotenlinie dauert 18 Jahre 224 Tage.

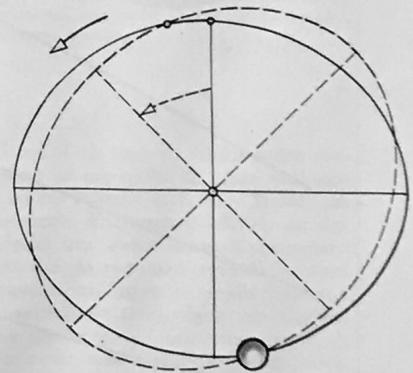


Abb. 27. - Die Drehung der Mondbahn. In 8 Jahren 10 Tagen macht die ellipsenförmige Mondbahn eine volle Umdrehung um ihren Mittelpunkt und in ihrer Ebene.

Der wellenförmige Verlauf der beiden anderen Kurven des Diagramms läßt sich gut erklären, wenn man die Kurven der Sonnenaufgangs- und Sonnenuntergangszeiten damit vergleicht. In der Hauptsache ist es die Neigung der Ekliptikebene gegen den Erdäquator, die das tägliche Verfrühen des Aufgangs und das Verzögern des Untergangs in dem einen Halbjahr und das entgegengesetzte Verhalten in dem anderen Halbjahr verursacht. Ebenso führt die Neigung der Mondbahnebene gegen den Erdäquator zu den unaufhörlichen Veränderungen der Mondaufgangs- und Monduntergangszeiten. Die großen Unterschiede in diesen Zeiten rühren von den unterschiedlichen Umlaufzeiten von Sonne und Mond her; die Sonne benötigt rund 365 Tage zu einem Umlauf in ihrer Jahresbahn, der Mond dagegen nur etwa 29 Tage. Die täglichen Veränderungen in den Aufgangs- und Untergangszeiten des Mondes sind deshalb viel beträchtlicher, und sie folgen in einem schnelleren Rhythmus aufeinander. Überdies kombinieren sie sich noch mit der wechselhaften Bahngeschwindigkeit des

Mondes und machen die in Frage stehenden Zeiten noch verwickelter.

Schließlich zeigt sich bei den Aufgangs- und Untergangszeiten des Mondes eine weitere Tatsache, die auch bei der Sonne auftritt: Das Ausmaß, in dem diese Zeiten schwanken, ist für jene Gegenden um so größer, je näher sie zu einem der Erdpole hin liegen. In der geographischen Breite von 40° variiert z.B. die tägliche Verzögerung des Mondaufgangs zwischen 13 und 80 Minuten. In noch weiter nördlich gelegenen Ländern vergrößert sich dieser Zeitunterschied, und zu gewissen Zeiten beläuft sich der geringste Wert auf nur wenige Minuten. Diese Erscheinung ist im nördlichen Teil der britischen Inseln als Herbstmond, auch Jägermond oder Erntemonat, bekannt und zur Erntezeit sehr geschätzt. Gegen Ende September geht der volle Mond einige Tage lang fast zum gleichen Zeitpunkt auf, in dem die Sonne untergeht; er verlängert so ein wenig die Zeit der Tageshelle.

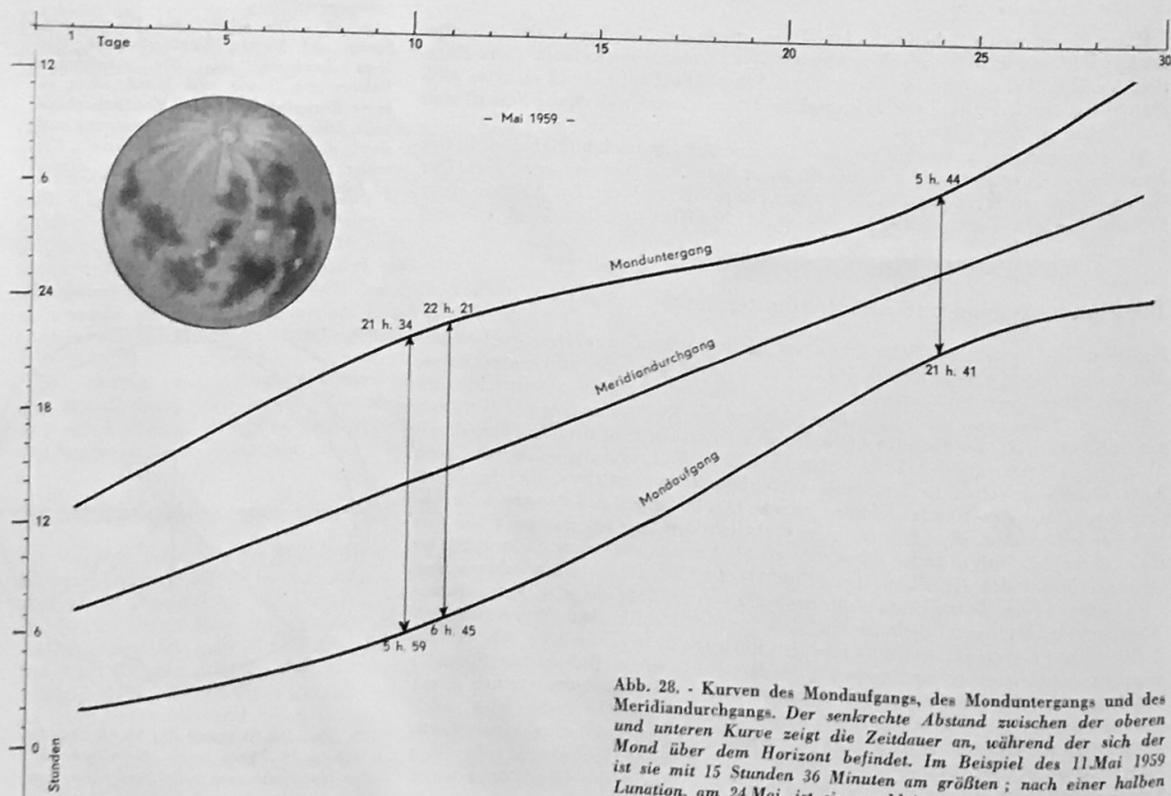


Abb. 28. - Kurven des Mondaufgangs, des Monduntergangs und des Meridiandurchgangs. Der senkrechte Abstand zwischen der oberen und unteren Kurve zeigt die Zeitdauer an, während der sich der Mond über dem Horizont befindet. Im Beispiel des 11. Mai 1959 ist sie mit 15 Stunden 36 Minuten am größten; nach einer halben Lunation, am 24. Mai, ist sie am kleinsten; 8 Stunden 3 Minuten. Man beachte den nahezu geradlinigen Verlauf der mittleren Kurve.

VII Der Ablauf der Verfinsterungen

Wenn die Mondbahn eins wäre mit der Ekliptik, so würden sich die drei Weltenkörper Sonne, Erde und Mond bei Eintritt eines jeden der beiden Syzygien - so nennt man Vollmond und Neumond mit einem gemeinsamen Namen - in eine gerade Linie ausgerichtet haben. Als Neumond würde sich unser Satellit genau zwischen Sonne und Erde stellen und jedesmal den Erdbewohnern die Sonne verdecken, während bei Vollmond unsere Erde zwischen ihrem Tagesgestirn und ihrem Satelliten zu stehen käme und diesen mit ihrem Schatten überziehen würde. Im

Ablauf jeder Lunation gäbe es zwei Verfinsterungen : eine Sonnenfinsternis und eine Mondfinsternis (Abb. 29).

Weil aber in Wirklichkeit Mondbahn und Ekliptik nicht zusammenfallen, so sind solche Dreierstellungen selten, wiewohl sie sich zu ganz bestimmten Zeitabschnitten wiederholen. Meistens aber geht der Neumond ein wenig oberhalb oder unterhalb der Sonne vorbei, höchstens jedoch in einer Winkelentfernung von $5^{\circ}8'$, d. i. in dem Winkelabstand, den die beiden Ebenen der Mondbahn und der Erdbahn miteinander bilden.

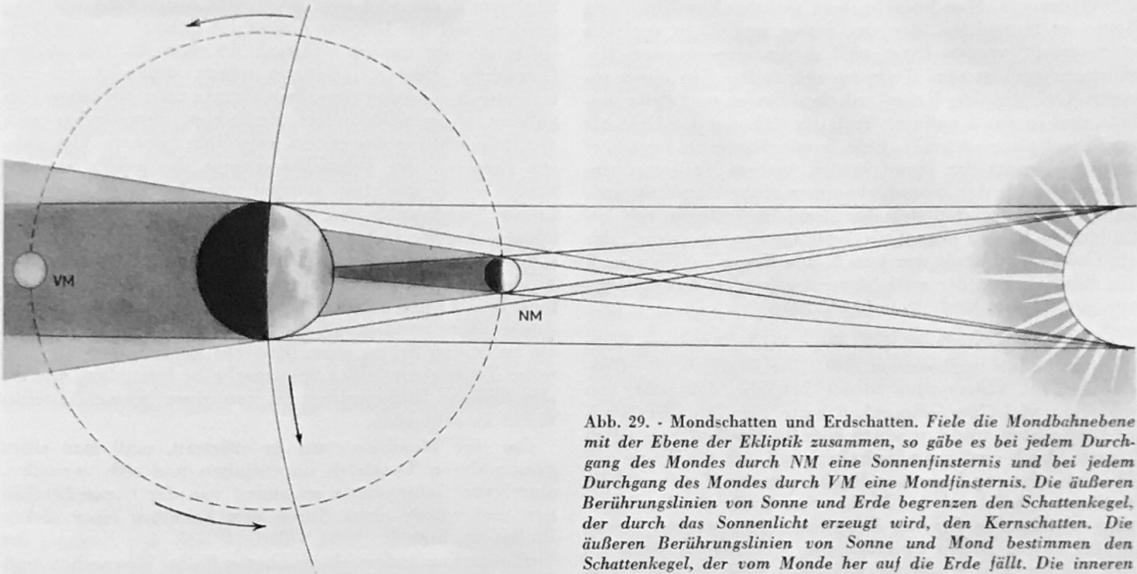


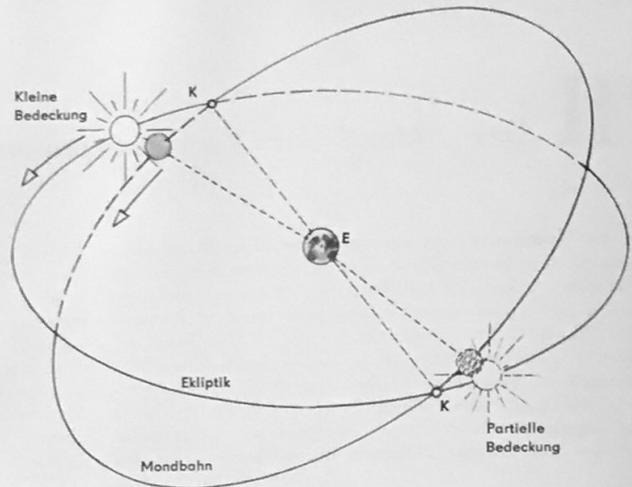
Abb. 29. - Mondschaten und Erdschaten. Fiele die Mondbahnebene mit der Ebene der Ekliptik zusammen, so gäbe es bei jedem Durchgang des Mondes durch NM eine Sonnenfinsternis und bei jedem Durchgang des Mondes durch VM eine Mondfinsternis. Die äußeren Berührungslinien von Sonne und Erde begrenzen den Schattenkegel, der durch das Sonnenlicht erzeugt wird, den Kernschatten. Die äußeren Berührungslinien von Sonne und Mond bestimmen den Schattenkegel, der vom Monde her auf die Erde fällt. Die inneren Berührungslinien von Sonne und Erde kennzeichnen einen weiteren Schattenraum, den Halbschatten. Ins Innere des Halbschattens dringt nur ein Teil des Sonnenlichtes ein, und es ist in ihm um so dunkler, je näher man dem Kernschatten kommt.

Totale und partielle Finsternisse

Die gegenseitige Stellung von Sonne, Erde und Mond in einer Geraden ist eine unerläßliche Voraussetzung für das Zustandekommen einer Finsternis ; der Mond muß sich somit in der Ebene der Ekliptik befinden. Das kommt auch in dem Wort »Ekliptik« (= das Verschwinden) zum Ausdruck. Es läuft zugleich darauf hinaus, daß der Mond die Knotenlinie seiner Bahnebene erreicht haben muß, wenn eine Finsternis eintreten soll. Diese Linie schneidet er wohl 25mal im Laufe eines Jahres, die Sonne aber überquert sie jährlich nur zweimal. Wenn uns auch Sonne und Mond als riesenhafte Himmelskörper bekannt sind, durch ihre großen Entfernungen von uns sehen wir sie doch nur als kleine Scheiben am Himmelsgewölbe. Die wenigen Grade, um die ihre Bahnebenen auseinanderklaffen, begünstigen die Voraussetzungen, daß sich selbst so

kleine Scheiben am Himmel ab und zu voreinander vorbeischieben. Meist kommt es gar nicht zu einer vollständigen Bedeckung, vielmehr schiebt sich der Mond am Himmel in ziemlich geringer Entfernung seitlich an der Sonne vorbei und bedeckt uns dann unser Tagesgestirn nur zum Teil. Das hat die Astronomen veranlaßt, zwei Arten von Verfinsterungserscheinungen zu unterscheiden : Sie sagen, eine Verfinsternis ist total, wenn ein Gestirn für kurze Zeit gänzlich unserem Anblick entzogen wird, wie die Sonne im Falle einer restlosen Bedeckung durch den Mond oder wie der Mond, wenn er gänzlich in den Erdschatten eintaucht. Als partiell gilt dagegen eine Verfinsternis, wenn selbst nur für einen Augenblick ein Bruchteil des verfinsterten Gestirns sichtbar bleibt (Abb. 30).

Abb. 30. - Nichteintreten und Eintreten einer Finsternis. Links oben stehen Sonne und Mond so, daß die Neumondstellung zu spät nach dem Durchgang des Mondes durch den absteigenden Knoten erreicht wird; es tritt keine Verfinsternung ein. Rechts unten ist der Neumond genügend nahe beim aufsteigenden Knoten, um die Sonne teilweise zu bedecken.



Häufigkeit der Sonnen- und Mondfinsternisse

Sonnenfinsternisse sind viel häufiger als Mondfinsternisse. Das erklärt sich aus den Umständen, unter denen sie zustandekommen. Man braucht dazu nur den kegelförmigen Raum zu betrachten, der um Sonne und Erde zugleich herumgelegt werden kann, und diesen gemeinsamen Berührungskegel in zwei Teile zu unterteilen: in einen inneren Teil, der den Raum zwischen Sonne und Erde umfaßt, und in einen äußeren Teil, der sich von der Erde bis zur Kegelspitze erstreckt. Eine Sonnenfinsternis kann nur eintreten, wenn der Mond in den inneren Teilraum eindringt, und für das Zustandekommen einer Mondfinsternis ist es notwendig, daß sich der Mond im äußeren Teil befindet. Die beiden genannten Teilräume haben zueinander ein Größenverhältnis wie 4 zu 3, und deshalb stehen auch die Häufigkeiten der zwei hier entstehenden Finsternisarten im gleichen Verhältnis (Abb. 31).

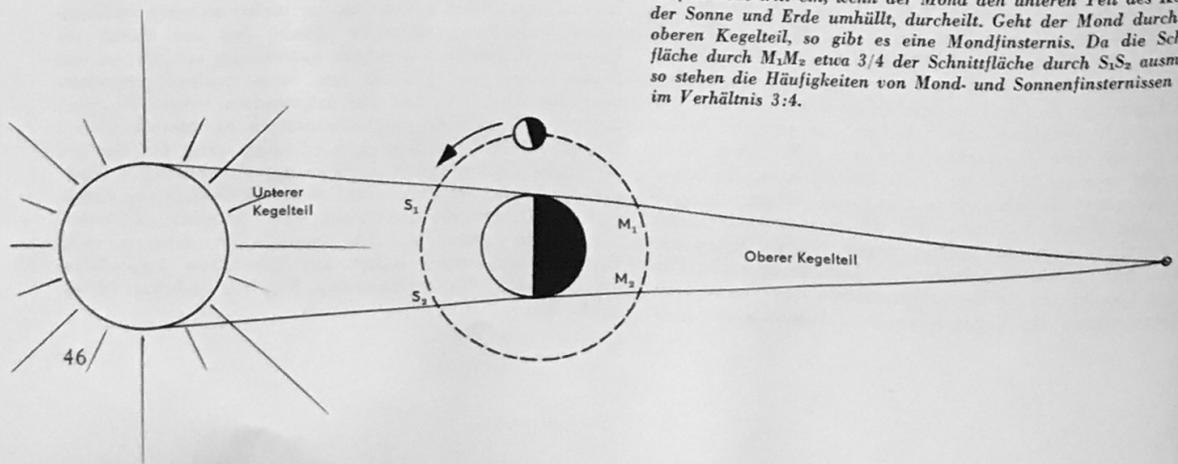
Man muß achtgeben, daß diese Schlußfolgerung kein Mißverständnis aufkommen läßt; ihr Ergebnis ist offensichtlich im Widerspruch zu der Tatsache, daß jeder von uns schon viel öfter Gelegenheit hatte, eine Mondfinsternis zu beobachten, und nur selten eine Sonnenfinsternis sehen konnte. Auch muß man festhalten, daß sich die Sonne nur für eine sehr eng begrenzte Region unserer Erdoberfläche verfinstert, während der Mond seine Rolle der Verfinsternung gleichzeitig für die Bewohner einer ganzen Hemisphäre spielt. Dieser grundlegende Unterschied zwischen den beiden Finsternisarten erfordert noch einige Erklärungen.

Beim Eintreten einer Sonnenfinsternis befinden sich die Bewohner der verschiedenen Erdgegenden in derselben Lage wie eine Gruppe von Personen, die sich lose in eine

Reihe nebeneinandergestellt haben, um eine ferne Gebirgskette zu betrachten. Da könnte es sich ereignen, daß ein Flugzeug in ein oder zwei Kilometer Entfernung mit Flugrichtung auf das Gebirge einem der Betrachter eine Bergspitze aus der ganzen Gebirgskette verdeckt. Ein anderer Betrachter derselben Gruppe würde vielleicht nur eine teilweise Bedeckung desselben Berges oder höchstens eine äußerst kurze vollständige Bedeckung unmittelbar nach der Beobachtung des ersten feststellen können. Alle anderen Personen der Betrachtergruppe, die weiter von den beiden ersten weg sind, würden niemals das Flugzeug von ihrem Standpunkt aus vor der Gebirgskette erblicken können. Ebenso verhält es sich mit einer Sonnenfinsternis; selbst im Falle einer totalen Verfinsternung wird dieses Schauspiel nur längs eines verhältnismäßig schmalen Streifens der Erdoberfläche, und zwar von allen dortigen Beobachtern nacheinander, gesehen. Die Nachbarbeobachter zu beiden Seiten jenes Streifens können nur eine teilweise Verdunkelung der Sonnenscheibe feststellen, und für alle übrigen Erdbewohner ist von einer Sonnenfinsternis nichts zu bemerken.

Um eine Mondfinsternis zu erörtern, muß man einen ganz anderen Vergleich heranziehen und sich vorstellen, eine ferne Gebirgskette sei zuerst von der Sonne beschienen und würde dann durch den Schatten einer dicken Wolke verdunkelt. Jetzt vollzieht sich das Ereignis der Verfinsternung anders als im obigen Falle. Was soeben noch hell beleuchtet war, ist nun plötzlich verdunkelt, und alle Beobachter haben dieses Ereignis gleichzeitig bemerkt. So sind auch alle Bewohner der Erdhalbkugel, für die der Mond zur selben Zeit sichtbar ist, gleichzeitig Augenzeuge seiner Verfinsternung.

Abb. 31. - Häufigkeit der Sonnen- und Mondfinsternisse. Eine Sonnenfinsternis tritt ein, wenn der Mond den unteren Teil des Kegels, der Sonne und Erde umhüllt, durchheilt. Geht der Mond durch den oberen Kegelteil, so gibt es eine Mondfinsternis. Da die Schnittfläche durch M_1M_2 etwa $3/4$ der Schnittfläche durch S_1S_2 ausmacht, so stehen die Häufigkeiten von Mond- und Sonnenfinsternissen etwa im Verhältnis 3:4.



Die Voraussage von Finsternissen

Unseren Vorfahren waren Finsternisse Zeichen des Schreckens. So tief die Furcht bei ihrem Anblicke war, so tiefe Bewunderung zollten sie den Weisen, die die Finsternisse vorhersagten. Dank jahrhundertelanger Beobachtungen seitens der Männer der Wissenschaft gelang es einigen Astronomen der Antike, eine Regel über die periodische Wiederkehr gewisser Finsternisse aufzustellen. Sie beschränkten ihre Voraussagen einzig und allein auf Mondfinsternisse, denn sie waren nicht in der Lage, in jedem Fall die Sichtbarkeitsgebiete von Sonnenfinsternissen auszumachen, und übersahen demzufolge, daß sich letztere ebenso wie die ersten wiederholen. Gegenwärtig kennen die Astronomen alle Umstände, die die Bewegungen der Gestirne bestimmen, und sie können deshalb auch mit sehr großer Genauigkeit die Augenblicke bestimmen, in denen Finsternisse jeglicher Art eintreten.

Die Periodizität von Finsternissen zu bestimmen, heißt nichts anderes, als nach dem Zeitraum zu fragen, an dessen Ende Sonne, Mond und Erde dieselben Stellungen zueinander wieder einnehmen wie zu seinem Beginn. Da sich die Bewegung unseres Satelliten aus mehreren periodischen Einzelbewegungen zusammensetzt, so ist der gesuchte periodische Zeitabschnitt nichts anderes als das kleinste gemeinsame Vielfache aller zu berücksichtigenden Einzelperioden.

Die grundlegende Bedingung für die Wiederkehr einer Finsternis ist, daß der Mond wieder die gleiche Phase zeigt; es muß demnach eine Vielzahl von Lunationen, d. i. von synodischen Umläufen um die Erde, vergehen; deren Dauer aber ist 29 Tage 12 Stunden 44 Minuten; in Tagesbruchteilen sind das 29,5306 Tage. Zweitens muß der Mond erneut durch die Knotenlinie hindurchgehen. Das wäre nach einem siderischen Umlauf der Fall, wenn sich die Knotenlinie nicht fortgesetzt verlagern würde. Im vorausgehenden wurde gezeigt, daß sie in 18 Jahren 224 Tagen eine volle Umdrehung, und zwar entgegengesetzt der Bewegung des Mondes, in seiner Bahnebene vollführt. Deshalb erreicht der Mond die Knotenlinie, bevor er einen

siderischen Umlauf vollendet hat, nämlich in 27 Tagen 5 Stunden 5 Minuten; in Tagesbruchteilen: 27,1222 Tage. Diese Zeitspanne heißt drakonitischer Umlauf.

Die Entfernung Erde-Mond ändert sich ununterbrochen, weil der Mond auf elliptischer Bahn umläuft. Soll der Mond genau dieselbe Finsternis wie eine vorausgegangene herbeiführen, so muß er auch die gleiche Entfernung wieder einnehmen. Die deshalb zu berücksichtigende weitere Periode ist nicht die des siderischen Umlaufs, weil sich die Bahnellipse des Mondes selbst dreht, und zwar so, daß seine Ellipsenachse in knapp 9 Jahren 360° durchläuft. Weil sich diese Drehung im Sinne der Mondbewegung vollzieht, benötigt der Mond etwas mehr als einen siderischen Umlauf, um denselben Punkt auf seiner Bahnellipse wieder zu erreichen. Diese Zeitspanne nennt man einen anomalistischen Umlauf; er dauert 27 Tage 13 Stunden 18 Minuten oder 27,5545 Tage.

Auch der Abstand Erde-Sonne ändert sich periodisch, weil die Erdbahn ebenfalls elliptisch ist. Auch diese Abstandsänderung muß berücksichtigt werden, will man wissen, wann der Mond nach einer Finsternis dieselbe Stellung zu Erde und Sonne wieder einnehmen wird. Es ist deshalb nötig, eine vierte Periode bei der Berechnung ins Auge zu fassen. Diese aber ist nichts anderes als unser Kalenderjahr, in dem sich der Abstand Erde-Sonne wiederholt.

Wenn man sich nunmehr strikt an die Regel vom kleinsten gemeinsamen Vielfachen hält, bekommt man als Perioden der Wiederholung einer Finsternis sehr große Zahlen. Man rechnet leicht nach, daß bereits bei der Berücksichtigung der zwei erstgenannten Perioden das gesuchte gemeinsame Vielfache eine beachtliche Zahl ist; die Lösung ist einfach: Nach 272 122 synodischen oder 295 306 drakonitischen Umläufen, d. h. nach etwa 22 000 Jahren, hätte der Mond seine erste Stellung wieder erreicht und erzeugte aufs neue dieselbe Finsternis, wenn unsere beiden Ausgangsperioden in dieser Weise zur Berechnung herangezogen werden dürfen.

Der Saros

Es ist nicht nötig, die Wiederkehr derselben Finsternis in aller Strenge zu berechnen. Begnügt man sich mit einer Näherungsrechnung, so heißt das z. B., daß eine näherungsweise errechnete Sonnenfinsternis nicht genau in derselben Sichtbarkeitszone auftreten wird. Dazu ersetzt man den

Bruch $\frac{272122}{295306}$ durch einen anderen gemeinen Bruch von

nahezu demselben Werte, jedoch von kleineren ganzen Zahlen gebildet. Wer mit Kettenbrüchen umzugehen versteht, kann sogar eine ganze Reihe von Näherungswerten finden, deren Genauigkeit von einem zum anderen größer wird und unter denen man sich jeweils denjenigen ausucht, dessen Genauigkeit zufriedenstellend ist. Rechnet

man auf diese Weise den Bruch $\frac{272122}{295306}$ um, so erhält man

folgende Brüche: $\frac{47}{51}, \frac{223}{242}, \frac{939}{1019}, \dots$

In diesen Brüchen stellen die Zähler und Nenner die Anzahl der synodischen bzw. drakonitischen Umläufe dar, nach denen der Mond wieder die gleiche Stellung zu Sonne und Erde einnimmt und wiederum Verfinsterungen von Sonne und Mond eintreten. Der erste in der Reihe dieser Brüche gibt dieses Zeitintervall nur sehr grob an und ist nicht zuverlässig, aber der zweite entspricht einer vielbe-

nutzten Vorhersagerregel, die im Altertum bereits den Chaldäern bekannt war. Man überzeugt sich leicht, daß 223 synodische Umläufe bis auf eine Stunde genau 242 drakonitischen Umläufen entsprechen, das sind 18 Jahre 11 Tage 8 Stunden. Sie werden Sarosperiode genannt; nach ihrem Ablauf kehren Sonnen- und Mondfinsternisse in derselben Ordnung und Folge wieder (vgl. Seite 55).

Was ist der Grund, daß der Saros so zuverlässig ist, obwohl zu seiner Berechnung nur zwei der grundlegenden Perioden in der Mondbewegung herangezogen wurden? Warum muß man hier nicht, entgegen dem oben Gesagten, das kleinste gemeinsame Vielfache der synodischen, drakonitischen, anomalistischen Periode sowie der Erdenjahre aufsuchen? Hier hat ein geheimnisvoller Zufall mitgewirkt und die Verhältnisse in einzigartiger Weise vereinfacht, er hat sogar in zweifacher Weise gewirkt. Der Zufall besteht darin, daß 223 synodische Umläufe nicht nur einer ganzzahligen Anzahl drakonitischer Umläufe entsprechen, sondern zugleich auch einer ganzzahligen Anzahl, nämlich 229, anomalistischer Umläufe (bis auf eine Ungenauigkeit von einigen Stunden). Damit ist auch der dritten Bedingung Rechnung getragen worden, nach der der Mond dieselbe Entfernung von der Erde haben muß, soll die gleiche Finsternis wieder eintreten. Weil endlich die Sarosperiode nahezu 18 Jahre umfaßt, ist auch die

vierte Bedingung, die die Entfernung Erde-Sonne betrifft, erfüllt. Sollten sich die Verfinsterungen somit nach den Regeln der Wahrscheinlichkeit nur in sehr großen Zeitin-

tervallen wiederholen, so haben zwei günstige Umstände diese Zeitspanne auf weniger als zwanzig Jahre zurückgeführt.

Die Anzahl der Finsternisse in einem bestimmten Zeitabschnitt

Nach der Sarosregel kehrt eine bestimmte Finsternis alle 18 Jahre wieder, alle anderen, im gleichen Zeitraum eintretenden Finsternisse folgen aber derselben Regel. Will man nun die Anzahl aller in einer bestimmten Zeitspanne, z.B. in einem Jahr, eintretenden Finsternisse errechnen, so sieht man sich einem äußerst lehrreichen, geometrischen Problem gegenübergestellt. Man löst es, indem man die sich verfinsternden Gestirne am Himmelsgewölbe betrachtet und fragt, wie weit die Sonne von einem Knoten der Mondbahn entfernt sein darf, damit noch eine Finsternis zustandekommt. Man kommt zu dem Ergebnis, daß die Entfernung am Himmel unter $18^{\circ}30'$ liegen muß und daß dabei sogar eine totale Sonnenfinsternis eintritt, wenn die Entfernung 10° nicht übersteigt. Das bedeutet aber, daß die Punkte, an denen sich Sonne und Mond zu einer Finsternis einfinden, nicht ausschließlich die Knoten der Mondbahn sind, sondern vielmehr einen Bereich von 37° Breite längs der Ekliptik, d.h. $18^{\circ}30'$ zu beiden Seiten jeden Knotens der Mondbahn, überdecken (Abb. 32).

Nach je 29 Tagen erreicht der Mond jeden dieser beiden knotennahen Bereiche, die Sonne dagegen schreitet durch jeden nur einmal pro Jahr hindurch. Weil sie zum Umschreiten der ganzen Ekliptik ein Jahr benötigt, so kommt sie täglich $360^{\circ} : 365$, d.h. etwa einen Bogengrad, voran und hält sich deshalb 37 Tage lang in jedem der beiden knotennahen Bogenstücke auf. Während der beiden Zeiträume von je 37 Tagen muß der Mond mindestens einmal eben-

falls durch den Bereich hindurchkommen, und somit folgt, daß der Mond mindestens zweimal in jedem Jahr die Sonne verfinstert. Nähert sich der Mond einem der genannten Ekliptikabschnitte, wenn sich die Sonne gerade anschickt, ihn ebenfalls zu durchlaufen, so findet der Mond Gelegenheit, nach 29 Tagen die Sonne nochmals darin anzutreffen, woraus folgt, daß sehr wohl 4 Sonnenfinsternisse pro Jahr eintreten können. Das Jahr 1964 liefert dafür ein Beispiel: Sonnenfinsternisse am 14. Januar, 10. Juni, 9. Juli und 4. Dezember. Schließlich können im Laufe eines Jahres sogar 5 Sonnenfinsternisse stattfinden, wenn die Umstände dazu günstig sind und die erste Verfinsterung bereits in die ersten 11 Tage des Januar fällt.

Was die Mondfinsternisse betrifft, so sind die Ekliptikbogen, in denen sich die Sonne oder der Mond befinden müssen, wenn eine Mondfinsternis zustandekommen soll, weniger groß, wie aus der geometrischen Betrachtung des Erdschattens folgt. Eine der vorausgehenden entsprechenden Betrachtung zeigt, daß im Laufe eines Jahres höchstens 3 Mondfinsternisse eintreten können, daß es aber auch zuweilen keine einzige gibt.

Um zusammenzufassen: ein Jahr kann bis zu 7 Finsternisse aufweisen, die sich wie folgt aufteilen: Entweder sind es 4 Sonnenfinsternisse und 3 Mondfinsternisse, oder es sind 5 Sonnenfinsternisse und 2 Mondfinsternisse. Die Mindestanzahl sind 2 Finsternisse, beide die der Sonne.

Die Größe einer Finsternis

Um das Ausmaß einer partiellen Finsternis anzugeben, d.h. um genau zu sagen, bis zu welchem Grade eine Finsternis einer Totalität nahekommt, benutzen die Astronomen den Begriff der Größe einer Finsternis. Sie wird in Form eines Dezimalbruches angegeben, wie z.B. 0,3 ; 0,75 ; 0,87 ... und führt leicht zu Mißverständnissen. Man ist ohne weiteres versucht anzunehmen, daß damit der verfinsterte Flächenanteil der Sonnen- oder Mondscheibe gemeint ist, muß sich aber belehren lassen, daß der Begriff Größe einer Finsternis die Größe des bedeckenden Durchmesseranteils der verfinsterten Scheibe, gemessen am Durchmesser der verfinsterten Scheibe, bezeichnet.

Bezieht sich eine solche Angabe auf eine partielle Sonnenfinsternis, so wird die Größe der Finsternis z.B. mit

0,5 angegeben, wenn der Mond den halben Durchmesser der Sonnenscheibe in dem Augenblick bedeckt, in dem die Finsternis ihr größtes Ausmaß erreicht hat. Es ist leicht festzustellen, daß damit nicht viel mehr als ein Drittel der gesamten Sonnenscheibe unseren Blicken entzogen ist.

Bei Mondfinsternissen wird die Finsternisgröße gekennzeichnet, indem man den betroffenen Durchmesseranteil des Kernschattenkegels in Beziehung zu dem Durchmesser des verfinsterten Mondes setzt. Der Quotient aus diesen beiden Größen führt zu einem Bruch, der größer als eins sein kann. Sein größter Wert 1,89 wird erreicht, wenn Schattenzentrum und Mondzentrum zusammenfallen (Abb. 33 und 35).

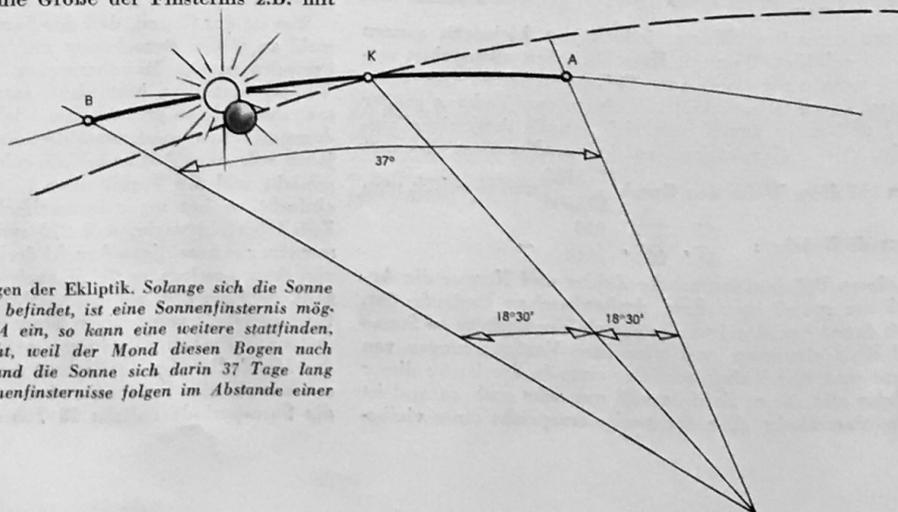


Abb. 32. - Der Finsternisbogen der Ekliptik. Solange sich die Sonne auf dem Ekliptikbogen AB befindet, ist eine Sonnenfinsternis möglich. Tritt eine solche bei A ein, so kann eine weitere stattfinden, bevor die Sonne B erreicht, weil der Mond diesen Bogen nach 29 Tagen wieder erreicht und die Sonne sich darin 37 Tage lang aufhält. Zwei derartige Sonnenfinsternisse folgen im Abstände einer Lunation aufeinander.

VIII Mondfinsternisse

Der Schatten und der Halbschatten der Erde

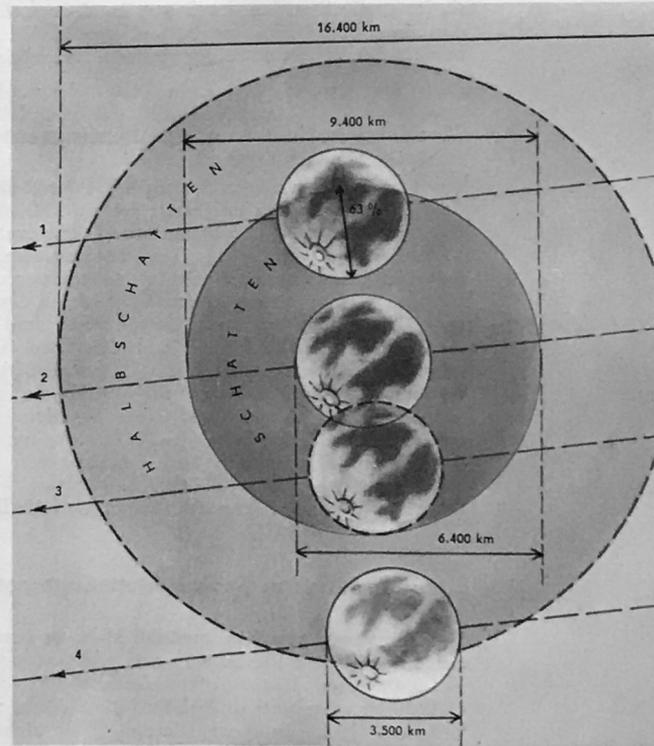
Wäre hinter dem Mond ein gigantischer, leichter Schleier ausgebreitet, der weit über die Mondscheibe am Himmel hinausreicht, so könnten wir diesen Schirm nachts sehen, weil er immer von der Sonne beleuchtet würde. Wenn wir Vollmond haben, würde ein riesiger, kreisrunder schwarzer Fleck auf ihm erscheinen; es wäre der Kernschatten der Erde, der von einem gleichfalls dunklen, aber weniger satten Kreisring umgeben ist. Diesen letzteren nennt man den Halbschatten der Erde. Weil die Sonne keine punktförmig leuchtende Lichtquelle ist, entsteht nämlich auf dem phantastischen Schirm ein Gebiet, das beim Vorbeigang der Erde vor der Sonne teils beleuchtet und zugleich teils beschattet ist. Es empfängt nur einen Teil der Sonnenstrahlung, und seine verschiedenen, ringförmigen Zonen sind um so weniger aufgehellte, je näher sie dem Schatten selbst liegen (Abb. 29).

Zufolge der unterschiedlichen Größen des Sonnenballs und der Erdkugel hat der Schattenkegel, der von der Erde aus in den Weltraum hinausdringt, eine Gesamtlänge von nahezu 1 400 000 km, das sind 217 Erdradien. In der Mondentfernung hätte sein Querschnitt auf unserem Phantasieschirm einen Durchmesser von 9 400 km, das ist das 2,7-fache des Monddurchmessers. In der Sprache der Geometrie ausgedrückt: die Mondscheibe kann leicht als Kreis dem Kegelquerschnitt einbeschrieben werden. Der Kegel des Halbschattens, der sich im Gegensatz zum erstgenannten Schattenkegel zum Monde hin ausweitet, hat in der Mondentfernung einen Durchmesser von 16 400 km, was das 4,7-fache des Monddurchmessers darstellt.

Diese Zahlengrößen lassen ohne weiteres verstehen, warum der Weg des Mondes durch die Zonen des Schattens und des Halbschattens verhältnismäßig lang ist, und diese Tatsache stellt einen der wesentlichen Punkte dar, in denen sich Sonnenfinsternis und Mondfinsternis voneinander unterscheiden. Der Mond benötigt maximal 4 Stunden, um Kernschatten und Halbschatten nacheinander zu durchlaufen, aber nur etwa 2 Stunden, um den Kernschatten allein zu durchstreifen.

Man unterscheidet drei Arten von Mondfinsternissen; sie unterscheiden sich voneinander durch die Bahnen, auf denen der Mond durch die beiden Schattengebiete hindurchzieht. Wie oben bereits dargelegt, zieht der Mond meistens etwas oberhalb oder etwas unterhalb der Schattenquerschnitte am Himmel dahin. Wenn ihn aber sein Weg durch diese kreisförmigen Querschnitte des Erdschattens hindurchführt und wenn er sich dabei dem gemeinsamen Zentrum von Kern- und Halbschatten so weit annähert, daß die Mondscheibe völlig in den Kernschatten eintaucht, dann tritt eine totale Mondfinsternis ein. Wenn aber unser Satellit wohl den Kernschatten durchdringt, ohne daß er gänzlich darin untertaucht, seine Bahn somit vom Kernschattenmittelpunkt zu weit entfernt bleibt, so spricht man von einer partiellen Mondfinsternis. Wenn schließlich der Mond nur durch die Halbschattenzone streift, entsteht eine Halbschattenfinsternis. Welche der drei genannten Finsternisarten sich auch einstellen mag, immer muß der Mond durch die Zone des Halbschattens hindurchgehen. Jede Mondfinsternis umfaßt zudem mehrere Phasen; die größte Anzahl hat die totale Mondfinsternis, nämlich: Eintritt in den Halbschatten, Eintritt in den Kernschatten, Beginn, Mitte und Ende der Totalität,

Abb. 33. - Die drei Arten von Mondfinsternissen. Läuft der Mond auf der oberen hier eingezeichneten Bahn, so ist nur eine teilweise Verfinsternung möglich. Im Augenblick der größten Phase sind 63% des Monddurchmessers im Kernschatten; die Größe der Finsternis beträgt in diesem Beispiel 0,63. Wenn die Mondbahn durch den Mittelpunkt des Schattenquerschnittes verläuft, so ist die Finsternis total und ihre Größe übersteigt 1. Definiert man diese Größe genauso wie eine solche der partiellen Finsternis, nämlich: Abstand Mondrand-Schattenrand zu Monddurchmesser, so erhält man in diesem Beispiel $\frac{6400}{3500} = 1,83$. Das ist nahezu der größte aller erreichbaren Werte. Folgt der Mond der dritten Bahn, so ist die Größe der entstehenden Finsternis 1, wie die Abbildung erkennen läßt. Auf der vierten Bahn tritt eine Verfinsternung durch den Halbschatten ein.



Austritt aus dem Kernschatten und Austritt aus dem Halbschatten (Abb. 33).

Die Halbschattenfinsternisse sind nur für den Astronomen von Bedeutung und können nicht ohne Zuhilfenahme spezieller Instrumente beobachtet werden. Deshalb kündigt man sie auch nicht der Öffentlichkeit an. Doch ist immerhin wichtig, daß ihre Gesamtzahl so groß ist wie die Anzahl aller Sonnenfinsternisse.

Für die Bewohner der nördlichen Erdhalbkugel verschiebt sich der Mond vor den Sternen am Himmelsgewölbe von rechts nach links, so daß diese bei Mondfinsternissen beobachten, wie der Erdschatten von links nach

rechts über die Mondscheibe hinweggleitet. In Wirklichkeit wandert der Erdschatten in der gleichen Richtung wie unser Satellit am Himmel, nur langsamer. Lediglich zufol-

ge einer optischen Täuschung haben wir den Eindruck, als ob sich der Erdschatten in entgegengesetzter Richtung über einen scheinbar stillstehenden Mond hinwegzieht.

Der Anblick des verfinsterten Mondes

Sobald der Mond den ersten Kontakt zum Kernschatten erreicht hat, bedeckt der dunkle Kreisfleck des Erdschattens mehr und mehr die Mondscheibe, ohne daß der verfinsterte Teil so stark abgedunkelt wird, daß er vor dem dunklen Nachthimmel verschwindet. Seine Färbung ist vorerst leicht grau, wandelt sich allmählich in ein Kupferrot und wird schließlich bei einer totalen Mondfinsternis zu einem rötlichen, sehr dunklen Braun. Diese Färbung erscheint um so ungewöhnlicher, als den Mond in diesen Augenblicken kein Sonnenlicht mehr trifft. Genauer gesagt trifft das Sonnenlicht nicht mehr auf direktem Wege den Mond, sondern einiges davon gelangt noch auf indirektem Wege zu ihm. Für diese seltsame Erscheinung ist die Atmosphäre, die unsere Erde umgibt, verantwortlich zu machen. Sie spielt dabei die Rolle einer optischen Linse, lenkt die Strahlen der Sonne in einer Weise ab, daß diese zum Mond hinkommen, und diese Strahlenbrechung bewirkt im Verein mit einer gewissen Absorption die cha-

rakteristische Färbung des verfinsterten Gestirns, bei der die blauen und violetten Farbtöne ausgeschlossen bleiben. Selbstredend sind für die Astronomen die Farben, mit denen sich der Mond im Verlaufe einer totalen Verfinsternung schmückt, um so mehr von Bedeutung, je mehr sie zu besseren Erkenntnissen über die Zusammensetzung unserer Atmosphäre führen. Das folgende Beispiel liefert einen zweifelfreien Beweis dafür: Im August des Jahres 1883 ereignete sich der unglaublich heftige Ausbruch des Krakatau-Vulkans, dessen Rauch- und Staubwolken sich in der Erdatmosphäre verteilten und sie durchgehend verunreinigten. Daraufhin waren während der Mondfinsternisse, die in den Jahren 1884 und 1885 stattfanden, die Verfärbungen des Mondes von einer ausnehmend grauen Tönung. Das aber kann nur aufzeigen, daß die Sonnenstrahlen unseren Satelliten indirekt beleuchteten und die mit Staub und Asche verunreinigte Erdatmosphäre durchlaufen hatten.

Mondfinsternisse vom Monde aus gesehen

Eines der wunderbarsten Schauspiele, die sich den Blicken des Menschen, sollte er jemals seinen Fuß auf unseren Satelliten setzen, von seinem fernen Observatorium aus bieten werden, dürfte eine Verfinsternung sein, die seine irdischen Mitmenschen eine totale Mondfinsternis nennen. Für den Mann auf dem Monde wird es sich dann um eine totale Sonnenfinsternis von langer Dauer und von überwältigendem Anblick handeln. Dabei wird es die Erdscheibe sein, die, sobald sie vor die Sonne tritt, seine Bewunderung erregt, und zwar nicht allein weil die Größe der Erdscheibe die gewohnte Größe des Mondes am Himmel um das Dreieinhalbfache übertrifft, sondern auch, weil unsere Atmosphäre, im Gegenlicht von der Sonne erleuchtet, unseren Weltkörper mit einem leuchtenden Strahlenkranz umgeben wird. Zudem wird die Dunkelheit,

in die unser Mondfahrer getaucht sein wird, nicht vollständig sein, und besonders wird diese schwache Aufhellung zu dem kupferfarbenen Schein unserer Erdscheibe einen überaus feenhaften Charakter verleihen.

Der Reisende zum Mond wird aber auch noch in anderer Hinsicht etwas uns voraushaben: Während wir praktisch nichts von einer Halbschattenfinsternis des Mondes bemerken, wird er im Gegensatz zu uns Zeuge eines recht gut zu beobachtenden Schauspiels am Himmel werden, das nichts anderes sein kann als eine partielle Sonnenfinsternis. Die Verhältnisse liegen für unseren Mondbewohner so, daß den Zonen des Kernschattens und des Halbschattens auf der Mondkugel diejenigen Erdregionen entsprechen, in denen eine Sonnenfinsternis total oder partiell ist.

Eine Mondfinsternis bei Sonnenuntergang

Das Ereignis tritt in dem Augenblick ein, in dem der Mond aufgeht, während die Sonne noch nicht so weit ist, daß sie unter dem Horizont verschwindet. Diese Situation - scheinbar unwahrscheinlich, weil die Stellung von Sonne, Erde und Mond in einer Richtung hier nicht realisiert erscheint - erweist sich dennoch als möglich. Denn erstens tritt hier die Strahlenbrechung innerhalb der Erdatmosphäre in Wirkung. Beim Durchgang durch die Erdatmosphäre erleiden die Lichtstrahlen eine leichte Krümmung zur Erde hin, derart, daß wir in jedem solchen Falle die Gestirne, die sich in Wirklichkeit dicht unterhalb unseres Horizontes befinden, ein wenig darüber sehen. Im vorliegenden Falle sind auch Sonne und Mond, obwohl wir sie beide zugleich und einander entgegengesetzt erblicken, in Wirklichkeit noch unter dem Horizont. Zweitens ist der Erdschatten so breit, daß der Mond sehr wohl darin unter-

getaucht sein kann, obwohl sein Zentrum noch nicht die Achse des Schattenkegels erreicht hat. Nicht viele Menschen haben Gelegenheit, diesem seltsamen Schauspiel beizuwohnen, muß man sich doch dazu genau dort befinden, wo die Mondfinsternis im selben Augenblick einsetzt, in dem die Sonne soeben untergegangen ist oder sogleich aufgehen wird. Ein solches Schauspiel spielt sich in wenigen Minuten ab. So hat es sich am 15. Februar 1877 in Paris zugetragen, daß die Sonne erst um 17 Uhr 39 Minuten untergehen sollte, aber schon 17 Uhr 29 Minuten war der bereits verfinsterte Mond aufgegangen. Am 4. Dezember 1880 hat sich dasselbe unter noch selteneren Umständen ereignet. Mondaufgang war um 16 Uhr, Sonnenuntergang 2 Minuten später; dennoch war man zu diesem Zeitpunkt nahezu genau in der Mitte einer Mondfinsternis, die von 15 Uhr 3 Minuten bis 16 Uhr 33 Minuten dauerte.

IX Sonnenfinsternisse

Die verschiedenen Arten der Sonnenfinsternisse

Unter den zahlreichen zufälligen Übereinstimmungen, denen wir in der Astronomie begegnen, ist eine der auffallendsten und folgenreichsten die Übereinstimmung in der scheinbaren Größe, in der wir Sonne und Mond am Himmel sehen. Deshalb ist es gut verständlich, daß man im Altertum der Meinung war, diese beiden Himmelskörper wären ihrer Natur und ihrer Beschaffenheit nach dieselben. In Wirklichkeit hat aber der Sonnenball einen 400mal größeren Durchmesser als der Mond. Der höchst merkwürdige Zufall besteht nun darin, daß die Sonne auch 400mal weiter entfernt ist als der Mond, wodurch der scheinbare Größenunterschied genau ausgeglichen wird. Der Zufall hat die Dinge weiterhin so gestaltet, daß die Entfernungen zu Sonne und Mond veränderlich sind und deshalb die scheinbare Größe der Sonnenscheibe die der Mondscheibe bald ein wenig übertrifft, bald nicht ganz erreicht. Wenn die Erde von dem Perihel, d.i. der sonnennächste Punkt ihrer Bahn, zu dem Aphel, d.i. der sonnenernste Punkt, zieht, ändert sich der scheinbare Durchmesser der Sonnenscheibe von $32'30''$ bis zu $31'28''$. Was den Durchmesser des Mondes angeht, so ändert sich dieser weniger stark, nämlich von $33'30''$ bis $29'21''$, solange der Mond vom Perigäum zum Apogäum läuft. Diese Größen des Mond-

durchmessers umfassen diejenigen der Sonnenscheibe, und weil uns somit der Mond bald größer, bald kleiner als die Sonne erscheint, so sind die verschiedenen Anblicke, die uns Sonnenfinsternisse gewähren, wohl verständlich (Photos 16 und 17).

Eine Sonnenfinsternis kann nur total sein, wenn der scheinbare Durchmesser des Mondes mindestens so groß ist wie derjenige der Sonne. Ist aber der Monddurchmesser kleiner, so ist die Finsternis ringförmig, und im Augenblick, in dem Sonne- und Mondscheibe am Himmel hintereinander stehen, bleiben uns die Ränder der Sonnenscheibe in Form eines Lichtkranzes sichtbar. Diese beiden Arten einer Sonnenfinsternis sind nur von engbegrenzten Gebieten unserer Erdoberfläche aus zu beobachten; in der Umgebung dieser begünstigten Erdstreifen erscheint die gleiche Finsternis jeweils nur als partielle Sonnenfinsternis (Abb. 34 und 35).

Zuweilen schiebt man zwischen die Begriffe der totalen und der ringförmigen Sonnenfinsternis noch einen weiteren ein, den der Perlschnurfinsternis. Sie trägt diese Bezeichnung, weil der Lichtkranz, der die Mondscheibe umgibt, den Anblick aneinandergereihter Perlen erweckt. Das

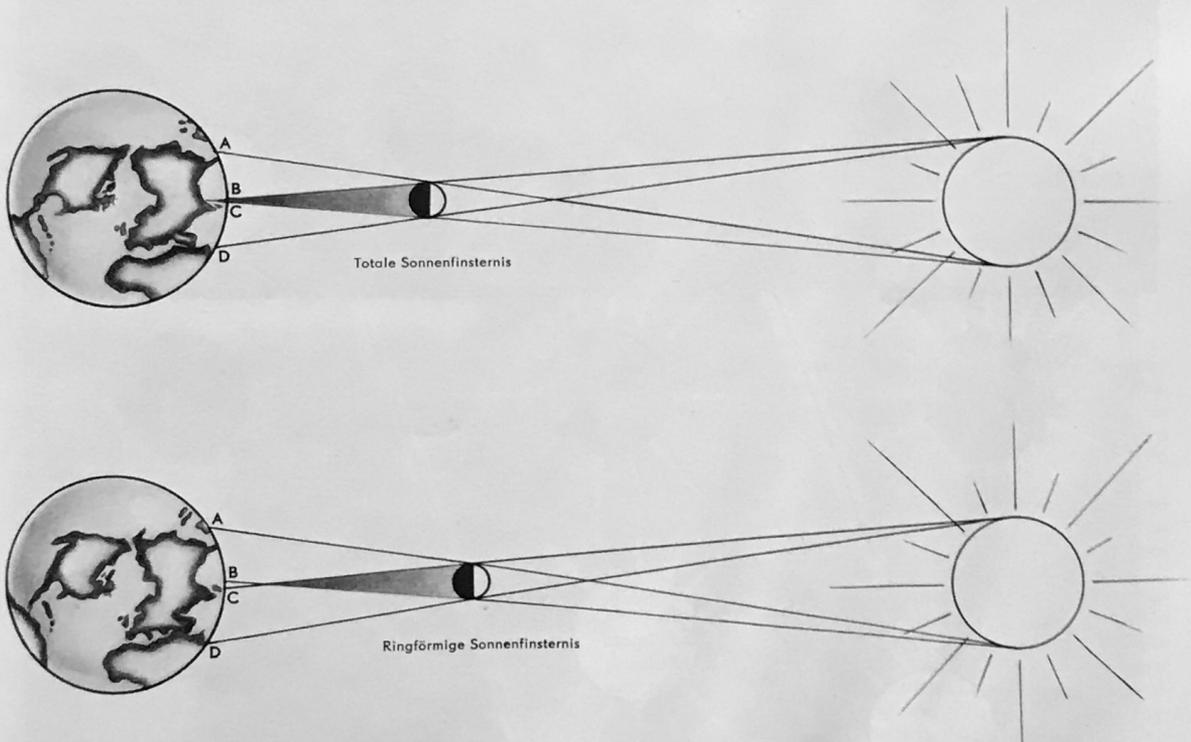


Abb. 34. - Totale und ringförmige Sonnenfinsternis. Wenn die Entfernung des Mondes von der Erde am kleinsten und diejenige der Sonne von der Erde am größten ist, so ist der scheinbare Durchmesser des Mondes am größten und der der Sonne am kleinsten. Die Spitze des Schattenkegels liegt dann im Innern der Erdkugel;

die Finsternis ist total in der Zone BC und partiell in den Zonen AB und CD. Sind aber die Entfernungen Erde-Mond und Erde-Sonne am kleinsten bzw. am größten, so reicht der Schattenkegel nicht bis in die Erdkugel hinein. Die Finsternis ist dann in der Zone BC ringförmig und in den Zonen AB und CD partiell.

muß darauf zurückgeführt werden, daß das Mondprofil alles andere als glatt ist. Übertrifft der Durchmesser der Sonnenscheibe den der Mondscheibe nur um ein wenig, so werden die Rauheiten, die die gebirgige Natur der Mondoberfläche erzeugt, so betont, daß der äußerst schmale Lichtkranz in zahllose Lichtpunkte auseinanderzubrechen scheint. Die Lichtperlen, die sich so formen, haben den Namen Bailys Perlen erhalten. Das gleiche

Phänomen kann gelegentlich einer totalen Sonnenfinsternis beobachtet werden. Die strahlenden Lichtperlen treten, kurz bevor die Bedeckung total wird, in Erscheinung und zeigen sich an demjenigen Rand der Mondscheibe, der in diesem Augenblick unseren Blicken noch eine äußerst dünne Zone der Sonne freigibt. Diese Szene dauert nur wenige Sekunden. Kurz nach Schluß der Totalität spielt sie sich noch einmal vor unseren Augen ab.

Formen und Geschwindigkeit des Mondschattens auf der Erde

Die Berechnung der Elemente einer Sonnenfinsternis ist viel umständlicher als die einer Mondfinsternis, denn sie erfordert außer sonstigen Rechenoperationen die Bestimmung der Finsterniszone. Die Ausmaße des Mondschattens, der bei einer Sonnenfinsternis auf die Erde auftritt, sind sehr unterschiedlich. Sind die scheinbaren Durchmesser der beiden Gestirne genau gleich groß, so berührt die Spitze des Schattenkegels die Erdoberfläche, und der Schatten vermindert sich theoretisch zu einem Punkt. Wenn dagegen die scheinbaren Durchmesser von Sonne und Mond ihre größten bzw. kleinsten Werte erreichen,

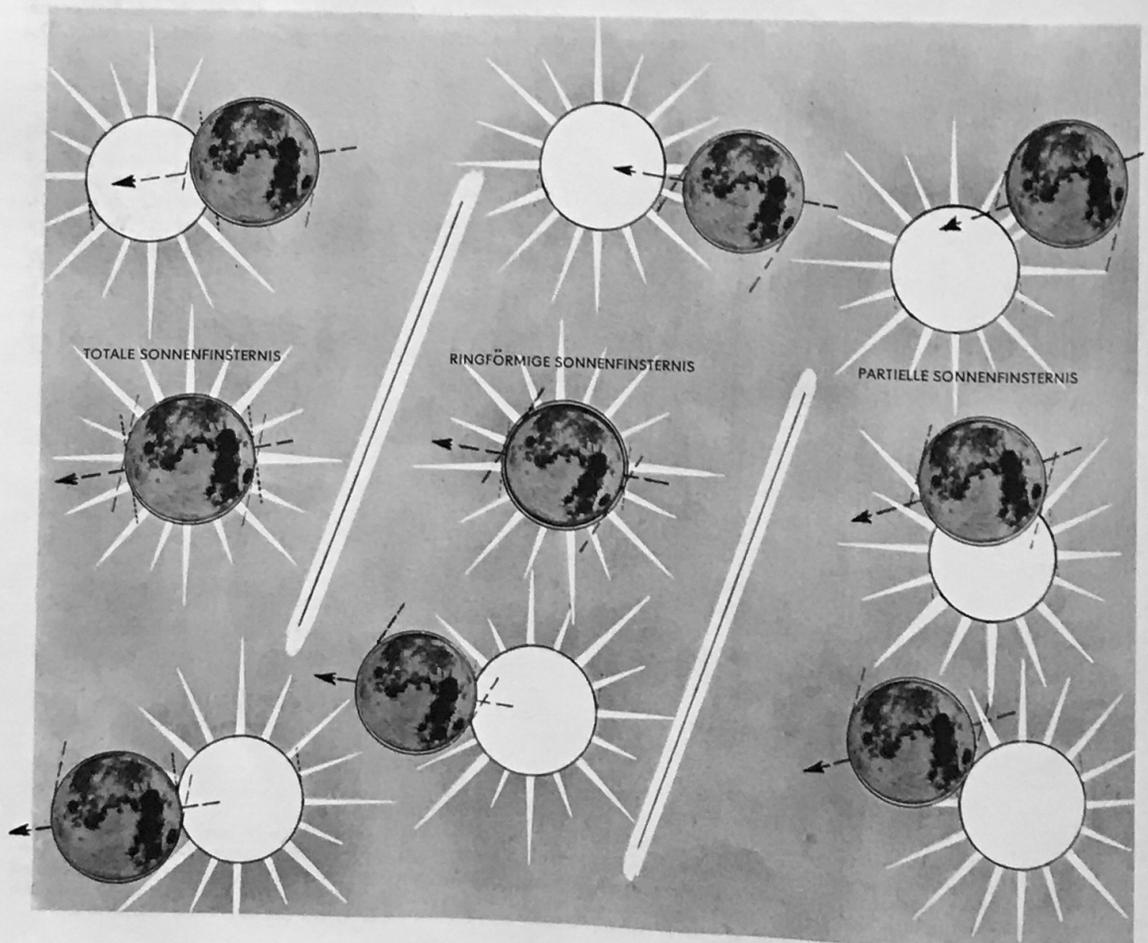
so nimmt der Schatten auf der Erde seine größte Ausdehnung an. Er hat dann die Form einer Ellipse, deren große Achse 270 km mißt. Die kreisartige Form dieses Schattens tritt nur ausnahmsweise ein, denn der Querschnitt des Schattenkegels auf der Erdoberfläche verläuft meist schräg zur Schattenachse.

Im Verlaufe der Finsternis gleitet der Schatten mit einer Schnelligkeit über die Erde hinweg, die von zwei entgegengesetzt wirkenden Faktoren abhängt: Es ist die Geschwindigkeit, mit der der Mond unsere Erde umläuft, und die Umdrehungsgeschwindigkeit unserer Erde um ihre

Abb. 35. - Die drei Arten von Sonnenfinsternissen. Verläuft die Mondbahn so, daß sich die Mittelpunkte von Sonne und Mond decken oder sehr nahe kommen, so entsteht eine totale Finsternis, sofern der scheinbare Durchmesser des Mondes größer ist als der der Sonne. Andernfalls ist die Finsternis nur ringförmig.

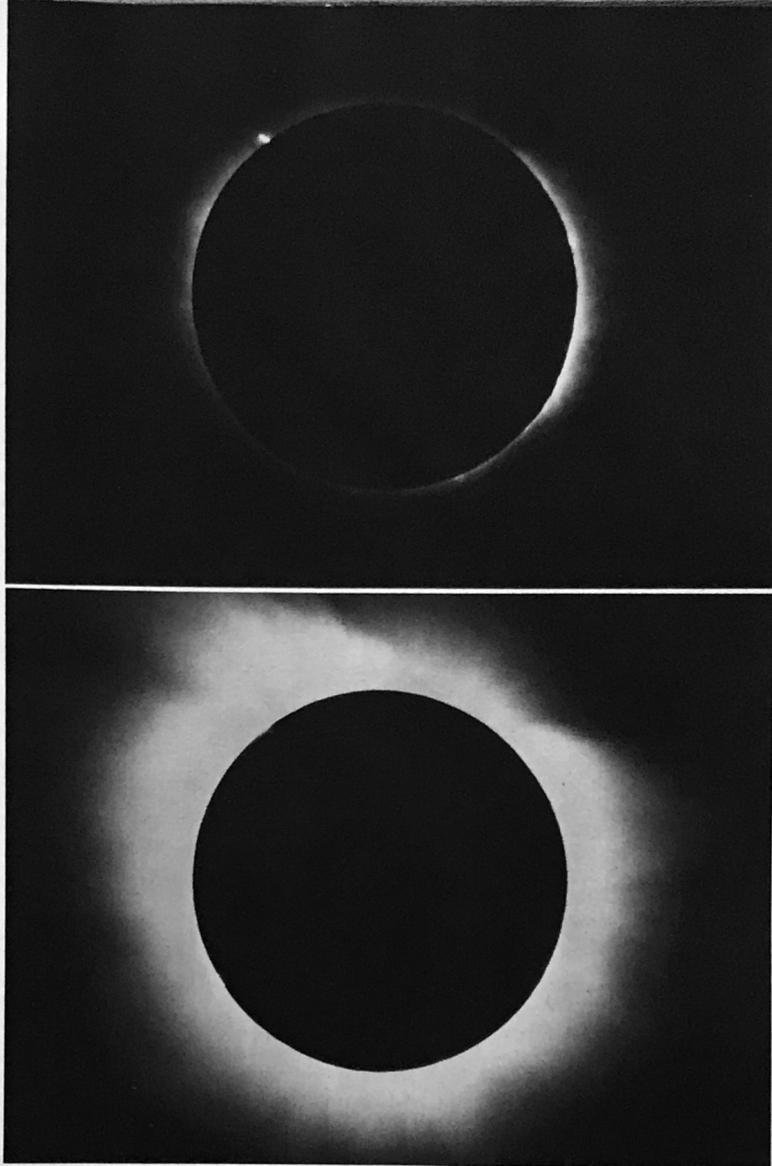
Die Größe der Sonnenfinsternis in der Abbildung Mitte-rechts ist rund 0,42, was besagt, daß 42 % des Sonnendurchmessers hinter dem Monde verschwinden.

Wie man aus der Abbildung ersehen kann, sind das nicht 42 % der Sonnenscheibe.



Photos 16-17. · Totale Sonnenfinsternis vom 15. Februar 1961. Wegen der Belichtungszeit von 1/8 Sekunde für Photo 16 und 7 Sekunden für Photo 17 sind auf der ersten Aufnahme Sonneneruptionen sichtbar und die zweite Aufnahme zeigt die Ausdehnung der Sonnenkorona.

(Aufgenommen in Laigueglia/Italien zwischen 7.34 und 7.35 Uhr Weltzeit von Joseph Ruland.)



Achse. Der Mond durchheilt seine Bahn mit einer Geschwindigkeit von etwa 1 km pro Sekunde, was bewirkt, daß sein Schattenbündel mit einer Geschwindigkeit von rund 3 400 km pro Sekunde nach Osten hin über uns hinwegfährt. Würden wir zufolge der Erdumdrehung mit der gleichen Geschwindigkeit nach Osten fortgerissen werden, so würde der Mondschaten immer auf uns ruhen ; aber diese zweite Bewegung ist weniger heftig als die erste und hängt außerdem noch von der geographischen Breite des Ortes ab. Während sie am Pol gleich Null ist, erreicht sie am Erdäquator ihren größten Wert, nämlich 1670 km pro Stunde. Wegen dieser in jedem Falle geringeren Geschwindigkeit der Erdumdrehung bewegt sich der Mondschaten immer von Westen nach Osten über die Erde hinweg. Er ist dabei um so langsamer, je näher er sich am Erdäquator bewegt, weil von seiner Geschwindigkeit, die er am Erdpol hätte, die zum Erdäquator hin anwachsende Umdrehungsgeschwindigkeit in Abzug zu bringen ist.

Den langen Streifen, den der Mondschaten auf der Erde aufzeichnet, hat man Zone der Totalität genannt ; sie wird beiderseits von den Zonen begrenzt, in denen die Finsternis nur partiell sichtbar ist und deren Breite sich auf mehr als 1000 km ausdehnen kann. Während der Schatten über

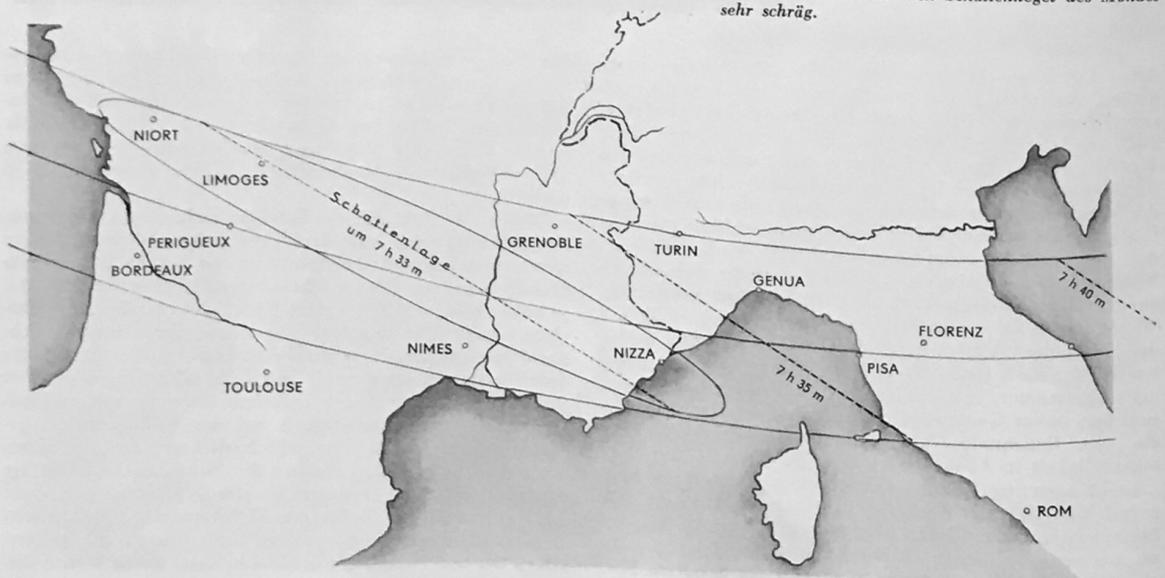
den Erdboden hinwegfährt, bleibt die Entfernung des Mondes zu den verschiedenen Auftreffpunkten des Schattens auf der Erde nicht unverändert ; demzufolge muß die Finsternis nicht unbedingt ihren Charakter beibehalten ; sie kann z.B. anfangs ringförmig sein, danach total werden und schließlich wieder die Ringförmigkeit zeigen (Abb. 36 und 37).

Die längste Zeit, die die Totalität einer Sonnenfinsternis beansprucht, wird von drei Umständen bestimmt. Zum ersten verschwindet die Sonne um so länger hinter dem Mond, je größer dessen scheinbarer Durchmesser ist, d.h. je näher sich der Mond dem Perigäum befindet. Im gleichen Sinne wirkt es, wenn die Sonne ihren größten Abstand von uns hat, d.h. wenn die Erde das Aphel ihrer Bahn durchläuft, was etwa am 1. Juli der Fall ist. Erinnern wir uns schließlich an das, was oben über die unterschiedliche Schattengeschwindigkeit auf der Erdoberfläche gesagt wurde, so ist uns verständlich, daß eine Sonnenfinsternis um so länger ist, je näher ihr Sichtbarkeitsgebiet am Äquator liegt. Sind diese drei Umstände günstig, so erreicht die Finsternisdauer 7 Minuten 58 Sekunden ; man braucht aber wohl kaum hinzuzufügen, daß dieser Fall äußerst selten ist. Die letzten Sonnenfinsternisse, deren Dauer die-



Abb. 36. - Die totale Sonnenfinsternis vom 17. April 1912. Diese Finsternis war auf dem Atlantik total und wurde ringförmig, sobald der Schattenkegel den europäischen Kontinent berührte.

Abb. 37. - Die totale Sonnenfinsternis vom 15. Februar 1961. Die Finsternis begann 7.31 Uhr Weltzeit 230 km südwestlich von Brest. Die Totalitätszone verlief durch Südfrankreich, Norditalien, Jugoslawien, Nordbulgarien, Südromänien, die Insel Krim bis nach Nordsibirien. Die totale Phase dauerte längstens 2 Minuten 45 Sekunden, nämlich in der Nähe von Rostow. Die Totalitätszone war zwischen 194 und 250 km breit. Diese verhältnismäßig hohen Werte kamen wegen der geringen Sonnenhöhe zustande. Die Erdoberfläche schnitt den Schattenkegel des Mondes sehr schräg.



sem größtmöglichen Werte nahegekommen sind, waren diejenigen vom 8. Juli 1937 und vom 20. Juni 1955 ; beide waren um ein wenig länger als 7 Minuten. Ihre Totalitätszonen lagen dicht am Äquator, aber zum Unglück für die Astronomen erstreckten sie sich fast restlos über den Stillen Ozean und berührten nur Indien und Siam für einige Sekunden. Um eine etwa gleichlange Sonnenfinsternis wieder mitzuerleben, müßte man sich bis zum Juni des Jahres 2150 gedulden und genösse dann das Schauspiel sieben und eine viertel Minute lang.

Hier muß eine Bemerkung eingeschoben werden : Wenn in der Aphelstellung der Erde und in der Perigäumstellung des Mondes die scheinbaren Durchmesser von Sonne und Mond am Himmel am größten sind und die Sonnenfinsternisdauer besonders groß machen, so liegt in diesen beiden Stellungen zugleich eine Ursache, die auf eine Verkürzung der Finsternisdauer hinwirkt. Sonne und Mond wandeln offensichtlich nicht so über den Himmel, daß sie einander begegnen, sondern sie gehen zwar in gleicher Richtung, doch mit recht verschiedener Schnelligkeit dahin, so daß sie einander nicht entgegengehen, sondern der eine den anderen überholt. Selbstredend ist ein solches Treffen um so kürzer, je schneller der überholende Himmelskörper und je langsamer der überholte ist, so wie es sich tatsächlich mit Mond und Sonne verhält. Nach dem 2. Keplerschen Gesetz erreicht bekanntlich der Mond seine größte Bahngeschwindigkeit, wenn er das Perigäum durchläuft, und die Sonne schiebt sich am langsamsten längs der Ekliptik vorwärts, wenn sich die Erde im Aphel ihrer Bahn befindet. Daraus ergibt sich zwangsläufig, daß die Vorteile, die sich aus den günstigen Umständen der Erd- und

Mondstellungen ergeben, um ein geringes vermindert werden durch die ungünstigen Geschwindigkeiten, in denen sich Mond und Sonne während des Überholens befinden.

Die Sichtbarkeitszone einer Sonnenfinsternis ist, wie gesagt, recht eng begrenzt, und deshalb dauert es oft sehr lange, zuweilen Jahrhunderte, bis ein und derselbe Erdort wieder Schauplatz einer Sonnenfinsternis wird. Die Älteren unter uns erinnern sich zweifellos der letzten in Deutschland sichtbar gewesen ringförmigen Finsternis. Aber erst am 11. August 1999 werden die Bewohner Deutschlands wieder Augenzeuge einer Sonnenfinsternis sein können. Weitere in Deutschland sichtbare treten erst am 23. September 2090 und am 4. Juli 2160 ein.

Partielle Sonnenfinsternisse sind bekanntlich viel häufiger ; jedermann hat schon solche gesehen. Meist handelt es sich dabei um totale Bedeckungen, von denen man nur die partielle Erscheinung wahrnimmt, wenn man sich nicht in die Zone der Totalität begibt. Es kommt allerdings auch vor, daß eine Sonnenfinsternis nur partiell ist, ganz gleich, wo sich ihre Betrachter auf der Erde befinden.

Diese letzteren Fälle sind nur in den polnahen Gebieten möglich. Wenn eine Finsternis überhaupt nicht total ist, so deshalb, weil die Erde nicht in den Schattenkegel des Mondes gerät, wohl aber in die Zone des Halbschattens eintaucht, der während einer Sonnenfinsternis genauso entsteht, wie das bei einer Mondfinsternis gezeigt wurde. Fegt dann der Schatten des Mondes durch den Weltraum und folgt einer Linie, die parallel dem jeweiligen Bahnbogen der Erde verläuft, so kann er sich der Erde, soll er sie nicht berühren, nur in den Polarregionen nähern.

Wiederkehr von Sonnenfinsternissen

Sowohl Sonnen- als auch Mondfinsternisse wiederholen sich nach Regeln, die oben bereits erläutert worden sind. Überblickt man sie alle miteinander, so lassen sie sich in Finsterniszyklen zusammenfassen, wobei jede nach rund 18 Jahren 12 Stunden folgende und deshalb zum gleichen Zyklus gehörige Finsternis die Wiederholung der vorausgehenden ist. Hierbei ist zu beachten, daß das Wiedererscheinen der zusammengehörigen Sonnenfinsternisse immer in eine andere Region der Erde fällt. Der Wechsel in der Sichtbarkeitszone betrifft sowohl die geographische Länge als auch die geographische Breite. Der Längenwechsel erklärt sich daraus, daß eine Sarosperiode eine ganze Anzahl von Tagen, vermehrt um rund ein Drittel eines Tages, umfaßt. Während dieser Zeitspanne vollführt die Erde Umdrehungen, deren Anzahl ebenso ganzzahlig, vermehrt um ein Drittel einer Umdrehung, ist, so daß sich die wiederkehrende Finsternis angesichts einer Erdgedend abspielt, die sich gegenüber dem vorhergehenden Schauplatz um 120 Grad nach Westen verschoben hat. Vollzüge sich nicht zugleich eine andere Verschiebung der Sichtbarkeitszone, nämlich die in der Breite, so müßten nach drei Sarosperioden, d. i. nach 54 Jahren, die zusammengehörigen Sonnenfinsternisse in derselben Erdgedend wieder zu sehen sein.

Die Verschiebung der Sichtbarkeitszonen in andere geographische Breiten hat ihre Ursachen in der Neigung der Mondbahn zur Ekliptik und in der Tatsache, daß eine Finsternis nur möglich ist, wenn die Sonne höchstens $18^{\circ}30'$ von einem der beiden Knoten entfernt ist. Nimmt ein neuer Saroszyklus seinen Anfang, so befindet sich die Sonne in der größten Entfernung vom Knoten, während die zweite und alle folgenden Finsternisse desselben Zyklus eintreten, wenn die Sonne mehr und mehr dem Knoten

nahe steht. Mit Einsetzen eines neuen Saroszyklus steht der Mond unmittelbar nördlich der Ekliptik, und die erste Finsternis dieses Zyklus ist nur am Nordpol sichtbar. Sie ist zunächst partiell, nimmt aber von Mal zu Mal zu. Am Ende einer gewissen Zahl von Wiederholungen wird die Sonnenfinsternis total und ist dann nicht mehr am Nordpol zu beobachten. Mit jeder Wiederkehr derselben Finsternis verschiebt sich vielmehr, wie oben gezeigt, die Sichtbarkeitszone um 120 Grad nach Westen und um 5 bis 10 Grad nach Süden. Dieser Vorgang setzt sich fort, die Zone der Totalität nähert sich immer mehr dem Äquator, die Dauer der Totalität vergrößert sich, bis sie in Äquatornähe ihren größten Wert erreicht hat. Dann verschiebt sich die Sichtbarkeitszone auf die südliche Halbkugel der Erde und verlagert sich von einem Wiedererscheinen der Finsternis bis zum nächsten in der gleichen Weise, nur daß die Dauer der totalen Phase jetzt mehr und mehr abnimmt. Endlich erscheint dieselbe Finsternis als partiell am Südpol und hat nunmehr nach einer ganz bestimmten Anzahl von partiellen Erscheinungen so abgenommen, bis schließlich keine Bedeckung mehr eintritt. Jetzt befindet sich die Sonne auf der anderen Seite des Knotens in einem Abstand von $18^{\circ}30'$. Man hat ausgerechnet, daß 81 Sarosperioden notwendig sind, damit sich ein Zyklus dieser Art vollständig abspielen kann. Das geschieht im Laufe von 1500 Jahren.

Es ist ganz offensichtlich, daß ein Saroszyklus auch vom Südpol aus gesehen kann. Dann verschieben sich die Sichtbarkeitszonen der geographischen Länge nach genauso, als ob der Ausgang am Nordpol gelegen hätte, jedoch ist die Verschiebung in der geographischen Breite nunmehr entgegengesetzt (Abb. 38). Auch ist leicht einzusehen, daß der Saroszyklus nicht der einzig mögliche ist. Man kann