



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Joh. Müller's Lehrbuch der kosmischen Physik

Müller, Johann Heinrich Jacob

Braunschweig, 1894

Fünftes Capitel. Die Satelliten.

[urn:nbn:de:hbz:466:1-96939](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-96939)

Fünftes Capitel.

Die Satelliten.

Die Trabanten. Mit dem Namen der Trabanten oder der 67 Satelliten bezeichnet man solche Himmelskörper, welche die Planeten nach denselben Gesetzen umkreisen, wie die Planeten selbst die Sonne, Himmelskörper also, welche die Planeten auf ihren Bahnen begleiten. Vor der Entdeckung der Fernrohre war nur ein einziger derartiger Satellit bekannt, nämlich der Mond, dessen Centrkörper die Erde ist. Zu den ersten Entdeckungen aber, welche Galilei mit dem neu erfundenen Fernrohre machte, gehört die, dass der Jupiter von vier Trabanten in ähnlicher Weise umkreist wird, wie die Erde von einem einzigen. Später wurden auch noch Trabanten des Saturn, des Uranus, des Neptun und des Mars entdeckt.

Scheinbare Bahn des Mondes. Nächst der Sonne ist für uns 68 unstreitig der Mond das wichtigste aller Gestirne. Wie die Sonne schreitet er in der Richtung von West nach Ost unter den Sternen des Thierkreises fort, aber weit rascher als die Sonne, indem er von einem Tage zum anderen fast um 13 Grade in der angegebenen Richtung vorrückt.

Fig. 3, Tab. 7 stellt die scheinbare Bahn des Mondes vom 1. bis zum 27. Januar 1855 dar. Man sieht zunächst daraus, dass der Mond stets rechtläufig ist und dass in seiner Bahn keine Schlingen und Schleifen vorkommen, wie wir sie bei den Planetenbahnen beobachten.

Die scheinbare Bahn des Mondes bildet (wenn man vor der Hand von kleinen Abweichungen absieht) einen grössten Kreis an der Himmelskugel, welcher die Ekliptik in zwei Punkten, den Knoten, schneidet. In unserer Figur sehen wir den aufsteigenden Knoten bei *c*, den niedersteigenden bei *d*.

Da die zweite Ungleichheit bei der scheinbaren Mondbewegung ganz fehlt, da letztere uns ebenso einfach erscheint, wie die Bewegung der verschiedenen Planeten von der Sonne aus gesehen, so folgern wir, dass

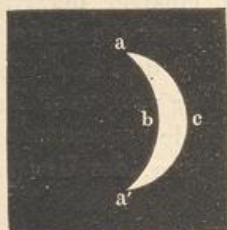
der Mond um die Erde kreist. Die siderische Umlaufszeit des Mondes, d. h. die Zeit, in welcher der Mond einen vollen Umlauf um die Erde vollendet, beträgt 27 Tage 7^h 43^m $11,5^s$.

Der Mond kommt mit der Sonne sowohl in Conjunction als auch in Opposition. Diese beiden Stellungen des Mondes zur Sonne werden mit dem gemeinschaftlichen Namen der Syzygien bezeichnet.

Die synodische Revolution oder die synodische Umlaufszeit des Mondes ist die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden Conjunctionen des Mondes und der Sonne verstreicht. Sie ist grösser als die siderische Umlaufszeit, denn während der Mond, von einer Conjunction mit der Sonne ausgehend, einen vollen Umlauf von 360° zurücklegt, ist die Sonne auch weiter nach Osten fortgerückt, der Mond muss also über die 360° hinaus sich noch weiter fortbewegen, um die Sonne wieder einzuholen. Die synodische Revolution des Mondes beträgt 29 Tage 12^h 44^m $2,8^s$.

69 **Phasen des Mondes.** Je nach den verschiedenen Stellungen des Mondes zur Sonne bietet er uns verschiedene Anblicke dar, welche man mit dem Namen der Phasen bezeichnet.

Fig. 104.



Der Mond selbst ist dunkel; das Licht, welches er uns zusendet, ist reflectirtes Sonnenlicht; der Anblick des Mondes muss sich also ändern, je nachdem er uns mehr die dunkle oder die erleuchtete Seite zuwendet. Befindet sich der Mond mit der Sonne in Conjunction, so ist er uns vollkommen unsichtbar, wenn er nicht gerade unmittelbar vor der Sonnenscheibe steht. Es ist dann Neumond. Alsbald entfernt sich der Mond nach Osten hin von der Sonne und erscheint uns nun als eine Sichel, Fig. 104, deren

Fig. 105.

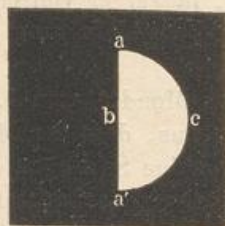


Fig. 106.

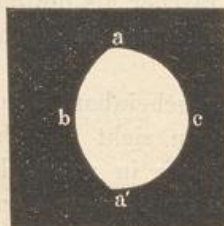


Fig. 107.



Wölbung gegen die Sonne, also gegen Westen gekehrt ist. Anfangs ist die Sichel ganz schmal; sie wird aber allmählich breiter und wenn der Mond in Quadratur ist, so erscheint er uns wie ein leuchtender Halbkreis, Fig. 105. Es findet dann das erste Viertel statt. Der erleuchtete Theil des Mondes wächst nun immer noch, Fig. 106, bis er uns endlich zur Zeit der Opposition als eine volle, kreisförmige, glänzende Scheibe erscheint, Fig. 107. Es ist dies der Vollmond.

Bald nach der Opposition nimmt der Mond auf der Westseite ab, Fig. 108, bis er in der zweiten Quadratur wieder nur halb erscheint, aber jetzt die gewölbte Seite nach Osten kehrend, Fig. 109. Es ist dies

Fig. 108.

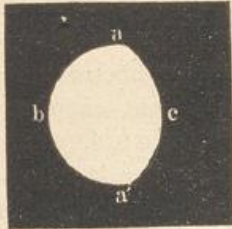


Fig. 109.

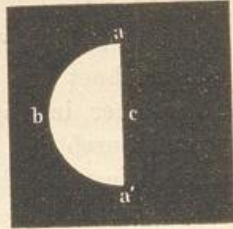
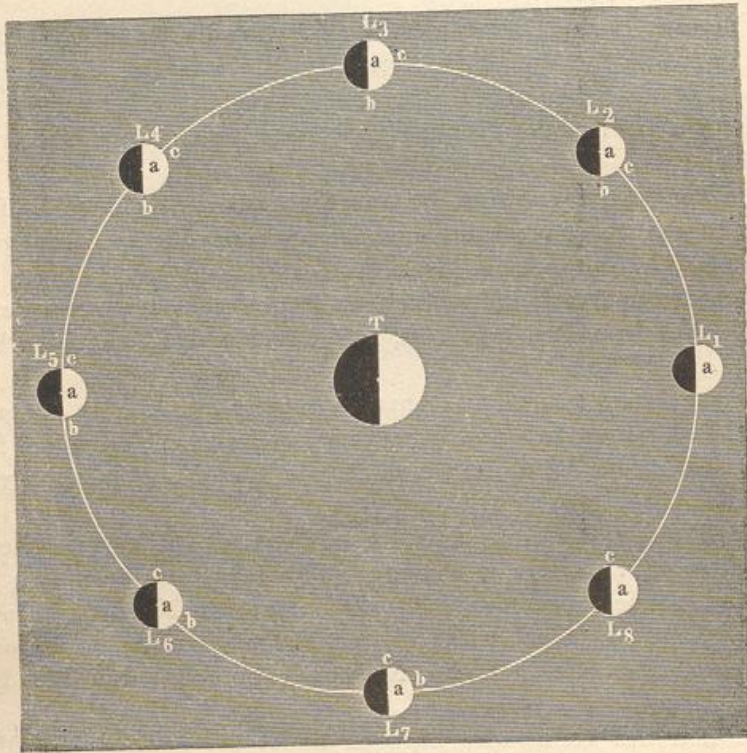


Fig. 110.



das letzte Viertel. Nun wird die Sichel, ihre Wölbung immer noch nach Osten kehrend, wieder schmaler und schmaler, Fig. 110, bis sie endlich zur Zeit des Neumondes wieder ganz verschwindet.

Fig. 111.



Der Zeitraum von einem Neumond bis zum nächsten wird mit dem Namen einer Lunation bezeichnet.

Es ist leicht, die Phasen des Mondes zu erklären. In Fig. 111 sei T die Erde, $L_1, L_2, L_3 \dots L_8$ der Mond in acht verschiedenen Stellungen, welche er während eines Umlaufes um die Erde passirt. Nehmen

wir an, die Sonne befände sich auf der rechten Seite unserer Figur und zwar in grosser Entfernung. Wenn der Mond sich in L_1 , also zwischen der Erde und der Sonne befindet, so wendet er der Erde seine dunkle Seite zu, wir haben Neumond; ist aber der Mond in die Stellung L_2 gelangt, so erscheint er uns in der Gestalt Fig. 104, denn in dieser Stellung ist der uns sichtbare Theil der erleuchteten Mondhälfte begrenzt durch den Halbkreis aca' (a bezeichnet den scheinbar höchsten Punkt des Mondes, a' den tiefsten, welcher in Fig. 111 nicht sichtbar ist, weil er vertical unter a liegt) und durch den Halbkreis aba' . Ersterer erscheint uns als voller Halbkreis, die westliche Grenze der Mondscheibe bildend; letzterer aber, die Ostgrenze bildend, zur Ellipse verkürzt, welche gleichfalls ihre Wölbung nach Westen kehrt.

Ist der Mond in die Stellung L_3 gelangt, so erscheint die westliche Grenze noch immer als ein voller Halbkreis. Der Halbkreis aba' aber, welcher auf der uns zugekehrten Mondhälfte Licht und Schatten scheidet, erscheint uns zur geraden Linie verkürzt; wir sehen also den Mond in der Gestalt Fig. 105.

Wird der Winkelabstand des Mondes von der Sonne noch grösser, kommt er in die Stellung L_4 , so erscheint uns nun die Grenzlinie aba' wieder elliptisch; aber die Wölbung jetzt nach Osten kehrend, während die westliche Grenze des Mondes noch immer ein voller Halbkreis ist, Fig. 106.

Zur Zeit der Opposition ist uns die ganz erleuchtete Hälfte des Mondes zugekehrt, er erscheint uns also als eine volle kreisförmige helle Scheibe.

Nach diesen Auseinandersetzungen hat es wohl keine Schwierigkeit mehr, die Mondgestalten Fig. 108, 109, 110 aus den Stellungen bei L_6 , L_7 und L_8 abzuleiten.

Wegen der so schnellen eigenen Bewegung des Mondes ändert sich auch die Zeit seines Auf- und Unterganges sehr rasch; an jedem folgenden Tage geht der Mond fast eine Stunde später auf, als am vorhergehenden.

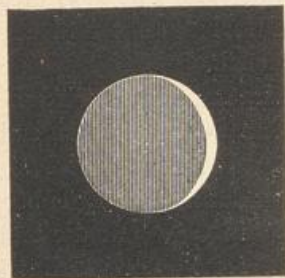
Die Stunden des Auf- und Unterganges des Mondes stehen mit seinen Phasen in engster Beziehung. Zur Zeit des Neumondes gehen Mond und Sonne zusammen auf und unter; der Mond ist also während des Tages — über, während der Nacht — unter dem Horizont, die Nächte sind zur Zeit des Neumondes nicht durch Mondschein erhellt.

Zur Zeit des Vollmondes dagegen findet der Aufgang des Mondes ungefähr zur Zeit des Sonnenunterganges statt; der Vollmond leuchtet uns also die ganze Nacht hindurch.

Zur Zeit des ersten Viertels culminirt der Mond ungefähr, wenn die Sonne untergeht, der Untergang des Mondes findet alsdann um Mitternacht statt; das erste Viertel glänzt also am westlichen Himmel in der ersten Hälfte der Nacht.

Zur Zeit des letzten Viertels findet der Aufgang des Mondes um Mitternacht statt, das letzte Viertel erhellt also die letzte Hälfte der Nacht.

Wenn der Mond der Conjunction sehr nahe ist, wenn er uns also nur als eine ganz schmale Sichel erscheint, so ist der Rest der Mondscheibe nicht völlig dunkel, sondern man sieht ihn durch einen schwachen aschfarbigen Schimmer erhellt, wie Fig. 112 andeutet.



Es ist dies nicht etwa ein dem Monde eigenthümliches Licht, sondern es rührt daher, dass zur Zeit des Neumondes die ganze von der Sonne erleuchtete Erdhälfte gerade dem Monde zugekehrt ist. Die Mondnacht ist zu dieser Zeit durch den vollen Erdschein erleuchtet.

Gestalt der Mondbahn. Der scheinbare Durchmesser ⁷⁰ des Mondes variirt zwischen 29' und 34', die Entfernung des Mondes von der Erde ist also veränderlich und ebenso ist auch die Winkelgeschwindigkeit des Mondes in seiner scheinbaren Bahn nicht gleichförmig. Unter genauer Berücksichtigung aller dieser Umstände ergibt sich, dass die Bahn des Mondes in Beziehung auf die Erde eine Ellipse ist; die Excentricität der Mondbahn beträgt ungefähr $\frac{1}{18}$ der halben grossen Axe.

Die Ebene der Mondbahn macht im Mittel einen Winkel von $5^{\circ} 9'$ mit der Ekliptik.

Die Bewegung des Mondes um die Erde, welche nach dem Gesagten ziemlich einfach erscheint, ist aber in der That sehr verwickelt, weil die Elemente der Mondbahn sich sehr rasch ändern.

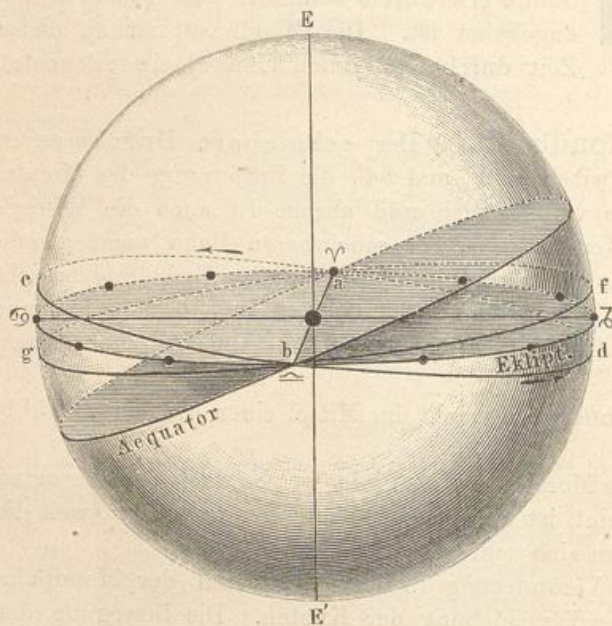
Die auffallendste Veränderung in den Elementen der Mondbahn ist zunächst die rasche Verschiebung der Knoten. Die Bewegung der Knotenlinie ist rückläufig und vollendet ihren ganzen Umlauf ungefähr in 18 Jahren 219 Tagen; die Ebene der Mondbahn dreht sich also gegen die Ordnung der Zeichen in einem Jahre etwas über 19° . So war die Länge des aufsteigenden Knotens im Januar 1855 ungefähr 49° (c, Fig. 3, Tab. 7). Bis zum Januar 1856 rückte der aufsteigende Knoten ungefähr um 19° dem Frühlingspunkte näher, so dass um diese Zeit seine Länge ungefähr nur noch 30° betrug. Ungefähr in der Mitte des Jahres 1857 erreichte der aufsteigende Knoten der Mondbahn den Frühlingspunkt; der niedersteigende Knoten fiel damals mit $0 \cong$ zusammen.

Zu einer Zeit, in welcher der aufsteigende Knoten der Mondbahn, wie dies in den Jahren 1857 und 1875 der Fall war und wie es im Jahre 1894 wieder der Fall sein wird und wie es in Fig. 2, Tab. 8 dargestellt ist, mit $0 \vee$, der absteigende aber mit $0 \cong$ zusammenfällt,

erreicht sowohl die nördliche als auch die südliche Declination ein Maximum; denn der Winkel, welchen die Mondbahn mit dem Himmelsäquator macht, ist in diesem Falle gleich dem Winkel, welchen die Mondbahn mit der Ekliptik macht, + dem Winkel zwischen Ekliptik und Aequator, also $23^{\circ} 27' + 5^{\circ} 9' = 28^{\circ} 36'$. Die Mondbahn geht alsdann von $0 \vee$ (siehe die Sternkarte, Tab. IV) über die Plejaden dicht unter β Tauri und β Geminorum vorbei durch den Herbstpunkt und über α Virginis und α Scorpii zum Frühlingspunkte zurück.

Die Neigung der Mondbahn gegen den Himmelsäquator wird ein Minimum, nämlich $23^{\circ} 27' - 5^{\circ} 9' = 18^{\circ} 18'$, wenn der niedersteigende Knoten mit dem Frühlingspunkte zusammentrifft. Der Mond tritt alsdann (Fig. 1, Tab. 8)

Fig. 113.



in $0 \vee$ auf die Südseite der Ekliptik, und seine scheinbare Bahn geht nun ungefähr über Aldebaran etwas nördlich von γ Geminorum vorbei nach $0 \cong$ über γ Librae und dann zwischen α und β Capricorni hindurch. Es war dies zuletzt in den Jahren 1866 und 1885 der Fall.

Zur Erläuterung der eben besprochenen Verhältnisse dient noch Fig. 113, welche die Himmels-

kugel sammt dem Aequator und der Ekliptik darstellt. Diese beiden Ebenen sind der Deutlichkeit wegen schattirt. $abcd$ ist die auf die Himmelskugel projectirte Mondbahn zu einer Zeit, in welcher, der Fig. 2, Tab. 8 entsprechend, der aufsteigende Knoten der Mondbahn mit dem Frühlingspunkte zusammenfällt; der Winkel, welchen die Ebene der Mondbahn mit dem Aequator macht, ist alsdann $28^{\circ} 36'$.

In dieser Stellung bleibt aber die Mondbahn nicht stehen, sie bewegt sich so, als ob sie bei unveränderter Neigung gegen die Ekliptik um die Axe EE' derselben gegen die Ordnung der Zeichen gedreht würde, so dass der aufsteigende Knoten allmählich von \vee nach ζ und dann weiter von ζ nach \cong rückt. Ist der aufsteigende Knoten in $0 \cong$, also in b angelangt, so hat nun die Ebene der Mondbahn die Lage $agbf$, sie macht zu dieser Zeit nur noch einen Winkel von $18^{\circ} 18'$ mit dem Aequator.

Hier mag noch die Bemerkung Platz finden, dass der Mond den nördlichen Wendepunkt seiner Bahn im Sommer um die Zeit des Neumondes, im Winter zur Zeit des Vollmondes passirt. Der Vollmond steht also in den Wintermonaten zur Zeit seiner Culmination viel höher, und bleibt weit länger über dem Horizont, als in den Sommermonaten.

Die Apsidenlinie (die grosse Axe) der Mondbahn ändert ihre Lage gleichfalls sehr rasch. Das Perigäum schreitet rechtläufig in jedem Jahre fast um 41° voran, so dass es in 8 Jahren 310 Tagen 14 Stunden einen vollständigen Umlauf um den ganzen Himmel herum macht.

Ferner ist die Excentricität und die Neigung der Mondbahn gegen die Ekliptik innerhalb gewisser Grenzen veränderlich. Diese und noch manche andere Unregelmässigkeiten des Mondlaufes, auf die wir zum Theil zurückkommen, wenn von den physikalischen Ursachen derselben die Rede sein wird, machen, dass die genaue Berechnung der Mondörter eine äusserst verwickelte ist.

Sternbedeckungen. Wenn der Mond zwischen der Erde und 71 einem Fixsterne oder einem Planeten hindurchgeht, so sagt man, dass der Mond dieselben bedecke. Solche Sternbedeckungen kommen ziemlich häufig vor.

Fig. 114.

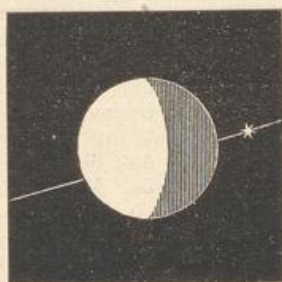
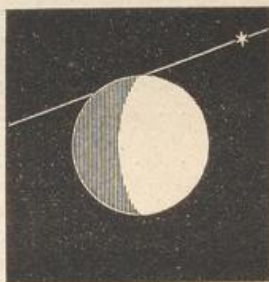


Fig. 115.



Da der Mond unter den Fixsternen in der Richtung von West nach Ost fortschreitet, so ist klar, dass die Sterne auf seiner Ostseite verschwinden und auf der Westseite wieder zum Vorschein kommen.

Fig. 114 und Fig. 115 stellen zwei Bedeckungen von α Scorpii dar, wie sie zu Berlin erschienen sind. Die erste fand am 26. März 1856 statt. Der Stern trat um $16^{\text{h}} 39,2^{\text{m}}$ am östlichen Rande des Mondes ein und um $17^{\text{h}} 58,6^{\text{m}}$ auf der Westseite wieder aus, die Bedeckung dauerte also 1 Stunde 19,4 Minuten. Bei der in Fig. 115 dargestellten Bedeckung, welche am 10. August 1856 stattfand, war die Zeit des Eintrittes $5^{\text{h}} 38,3^{\text{m}}$, die Zeit des Austrittes $6^{\text{h}} 9,7^{\text{m}}$ Berliner Zeit.

Das Verschwinden und das Wiedererscheinen der Sterne erfolgt plötzlich; besonders scharf lassen sich die Eintritte beobachten, wenn sie am dunklen Rande stattfinden, wie in dem Fig. 115 abgebildeten Falle.

Von den Sternen erster Grösse können vier bedeckt werden, nämlich Aldebaran, Regulus, Spica und Antares. Ein besonders interessantes Schauspiel bietet die Bedeckung der Plejaden dar.

Die Bedeckungen von α Tauri finden statt, wenn die Neigung der Mondbahn gegen den Aequator sehr klein ist, wenn also ihr aufsteigender Knoten sich in der Nähe von 0° befindet, wie in Fig. 1, Tab. 8; dagegen werden die Plejaden bedeckt, wenn der Winkel, welchen die Ebene der Mondbahn mit dem Aequator macht, seinem grössten Werthe nahe ist, wenn also der aufsteigende Knoten in der Nähe des Frühlingspunktes liegt, Fig. 2, Tab. 8, wie dies z. B. im Jahre 1857 der Fall war.

Es ist bereits oben in §. 18 (S. 58) angeführt worden, dass die Sternbedeckungen ein ausgezeichnetes Mittel zur Längenbestimmung sind; aus diesem Grunde werden die Bedeckungen (Occultationen) der Fixsterne erster bis sechster Grösse auf mehrere Jahre vorausberechnet. In den Ephemeriden findet man den Moment des Eintrittes und den Moment des Austrittes der Fixsterne oder Planeten nach der Zeit der entsprechenden Sternwarte ausgedrückt.

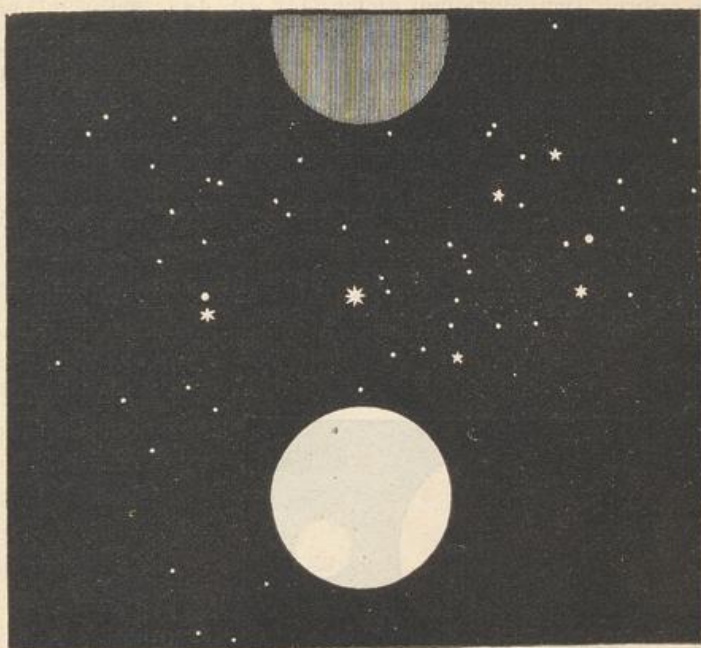
In den Jahren 1894 und 1895 finden für Berlin folgende Sternbedeckungen statt:

Datum	Grösse des Sterns	Name des Sterns	Eintritt m. Berl. Zt.	Austritt m. Berl. Zt.
1894 Januar 16.	4 $\frac{1}{2}$	ζ Arietis	10 ^h 37 ^m Ab.	nach Monduntergang
" 17.	5	τ' Arietis	12 53 M.	1 ^h 49 ^m M.
März 23.	1	α Virginis	vor Sonnenaufgang	6 12 M.
" 26.	5	A Scorpii	3 45 M.	5 6 M.
August 24.	4	27 Tauri	1 54 M.	2 47 M.
September 17.	4	ϵ Piscium	3 5 M.	3 59 M.
October 7.	5	A Sagittarii	7 35 Ab.	8 29 Ab.
November 13.	4	27 Tauri	9 27 Ab.	10 27 Ab.
December 15.	4 $\frac{1}{2}$	γ Cancr	7 55 Ab.	8 41 Ab.
1895 Januar 7.	5	23 Tauri	4 58 Ab.	6 2 Ab.
" 7.	3	η Tauri	5 35 Ab.	6 39 Ab.
" 7.	4	27 Tauri	6 18 Ab.	7 21 Ab.
Februar 9.	4 $\frac{1}{2}$	γ Cancr	5 35 Ab.	6 28 Ab.
Mai 10./11.	3	π Scorpii	11 36 Ab.	12 15 M.
Juni 6./7.	3 $\frac{1}{2}$	τ Scorpii	11 42 Ab.	12 24 M.
" 26.	1 $\frac{1}{2}$	α Leonis	8 57 Ab.	9 48 Ab.
September 29.	3	δ Capricorni	10 0 Ab.	11 15 Ab.
" 30.	5	σ Aquarii	10 49 Ab.	10 50 Ab.
October 6.	3	ϵ Arietis	10 29 Ab.	11 34 Ab.
" 8.	3	η Tauri	8 13 Ab.	8 44 Ab.
November 11.	4	ρ Leonis	4 35 M.	5 34 M.
" 27.	4 $\frac{1}{2}$	δ Piscium	6 36 Ab.	7 54 Ab.
December 7.	1 $\frac{1}{2}$	α Leonis	10 26 Ab.	11 16 Ab.

72 Parallaxe, Entfernung und Grösse des Mondes. Der Mond steht der Erde so nahe, dass er, gleichzeitig von verschiedenen

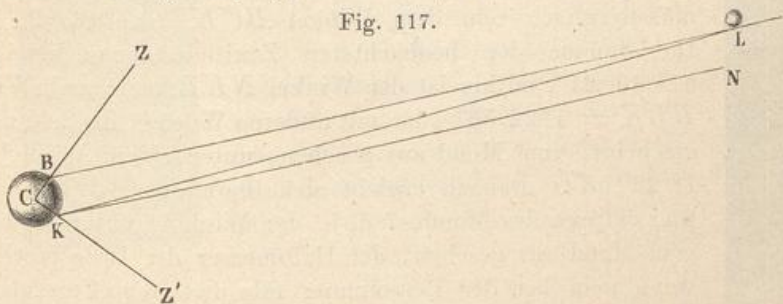
Orten der Erdoberfläche aus betrachtet, an verschiedenen Stellen des Himmelsgewölbes projicirt erscheint; wenn zu Berlin ein Stern eben den nördlichen Mondrand berührt, so wird der Mond, vom Cap der guten Hoffnung aus betrachtet, noch nördlich von jenem Sterne gesehen werden, und zwar wird der Abstand des Sternes vom südlichen Mondrande noch

Fig. 116.



ungefähr 50' betragen. Wenn der Mond, von Berlin aus gesehen, an der Stelle der Plejadengruppe erscheint, welche in Fig. 116 durch den

Fig. 117.



ganz weissen Kreis bezeichnet ist, so sieht man ihn gleichzeitig vom Cap der guten Hoffnung aus an der Stelle des schraffirten Kreises.

Es geht daraus hervor, dass die Mondparallaxe sehr bedeutend ist, und daher kommt es auch, dass sie schon sehr früh annähernd genau bestimmt worden war. Schon Hipparch bestimmte sie zu 47,5 bis 55,5 Minuten, während ihr mittlerer Werth in Wirklichkeit etwa 57 Minuten beträgt.

Am einfachsten erhält man die Mondparallaxe dadurch, dass zwei Beobachter an zwei möglichst weit von einander entfernten Orten, welche nahezu auf demselben Meridian liegen, an demselben Tage die Zenithdistanz des Mondes zur Zeit der Culmination bestimmen.

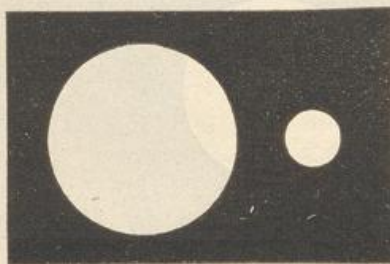
So fand z. B. den 6. December 1751 Lalande in Berlin die Zenithdistanz des südlichen Mondrandes beim Durchgange durch den Meridian gleich $41^{\circ} 15' 44''$, während auf dem Cap der guten Hoffnung an demselben Tage Lacaille bei der Culmination des Mondes die Zenithdistanz des südlichen Mondrandes gleich $46^{\circ} 33' 37''$ fand.

Die Polhöhe des Beobachtungsortes in Berlin war $52^{\circ} 31' 13''$ nördl.

Die Polhöhe desjenigen am Cap war $33^{\circ} 55' 15''$ südl.

In Fig. 117 (a. v. S.) sei C der Mittelpunkt der Erde, B Berlin, K das Cap der guten Hoffnung, L der südliche Mondrand.

Fig. 118.



ZBL ist die zu Berlin und $Z'KL$ ist die auf dem Cap beobachtete Zenithdistanz des südlichen Mondrandes. — Wäre der Mond unendlich weit entfernt, so wären die nach ihm von B und K aus gerichteten Visirlinien BL und KL einander parallel und die Summe der Zenithdistanzen ZBL und ZKL müsste gleich sein dem Winkel BCK , also $86^{\circ} 26' 28''$. Die Summe der beobachteten Zenithdistanzen ist aber $87^{\circ} 49' 21''$, mithin ist der Winkel NKL , also auch Winkel $BLK = 1^{\circ} 22' 53''$ oder mit anderen Worten, die Sehne BK erscheint, vom Mond aus gesehen, unter einem Winkel von $1^{\circ} 22' 53''$. Danach ergibt sich dann die Horizontalparallaxe des Mondes, d. h. der Winkel, unter welchem, vom Mond aus gesehen, der Halbmesser der Erde erscheint, wenn man bei der Berechnung alle nöthigen Correctionen anbringt, gleich $0^{\circ} 58' 44,2''$.

Da die Entfernung des Mondes von der Erde variirt, so ist auch die Horizontalparallaxe des Mondes veränderlich; der mittlere Werth derselben ist $0^{\circ} 57' 2,3''$, und demnach ist die mittlere Entfernung des Mittelpunktes des Mondes von dem Mittelpunkte der Erde gleich 60,270 Halbmessern des Erdäquators oder 384400 km.

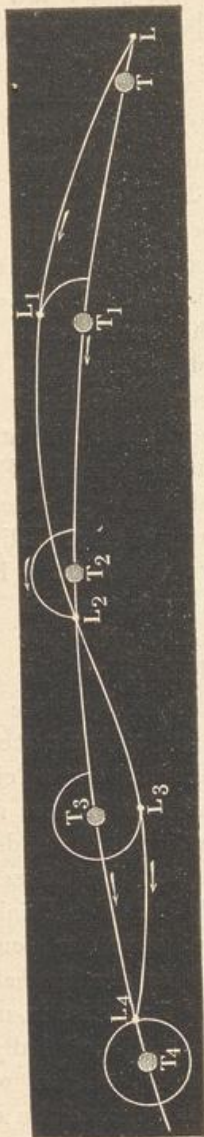
Da nun die Entfernung des Mondes von der Erde und der scheinbare Durchmesser bekannt ist, unter welchem er uns erscheint, so kann man auch den wahren Durchmesser desselben berechnen, welcher sich gleich 0,2728 Erddurchmessern oder gleich 3480 km ergibt.

Der Durchmesser des Mondes ist also ungefähr $\frac{3}{11}$, die Oberfläche desselben $\frac{3}{40}$ und das Volumen desselben $\frac{2}{97}$ von den entsprechenden Grössen der Erde.

Fig. 118 dient dazu, um das Grössenverhältniss der Erde und des Mondes anschaulich zu machen.

Fig. 119 stellt die Erde, den Mond und ihre gegenseitige Entfernung im richtigen Verhältnisse dar.

Fig. 120.



Bahn des Mondes im Sonnensystem. 73

Wir haben oben die Bewegung des Mondes nur in Beziehung auf die Erde betrachtet; da aber die Erde selbst eine fortschreitende Bewegung hat, da sie um die Sonne kreist, so ist die Bahn des Mondes im Raume oder vielmehr in Beziehung auf die Sonne eine Epicycloide (§. 47). Die Mondcycloide zeigt aber keine Verschlingungen, wie wir sie oben kennen lernten, weil der Halbmesser des Deferenten sehr gross ist im Vergleich zum Radius des Epicykels, und weil die Geschwindigkeit des Mondes im Epicykel sehr gering ist gegen die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn. Der Charakter der Mondcycloide ist aus Fig. 120 zu ersehen, deren Construction nach §. 47 wohl leicht verständlich sein wird; doch ist hier noch zu bemerken, dass diese Figur die Mondcycloide noch keineswegs im richtigen Verhältnisse zeigt, vielmehr ist der Abstand des Mondes von der Erde in dieser Figur noch viel zu gross genommen im Vergleich zum Halbmesser der Erdbahn. Sollte in der Zeichnung das richtige Verhältniss eingehalten werden, so müsste der Radius des Epicykels $\frac{1}{400}$ vom Radius des Deferenten, es müsste TL, T_1L_1 u. s. w. $\frac{1}{400}$ des Halbmessers sein, mit welchem der Bogen TT_4 gezogen ist; die Mondcycloide ist also in der That viel flacher, als die in unserer Figur dargestellte Curve und zwar so flach, dass sie gegen die Sonne immer concav und nur an einigen Stellen weniger gekrümmt ist als an anderen.

Die Geschwindigkeit, mit welcher der Mond in seiner Bahn um die Erde fortschreitet, ist ungefähr 30 mal geringer, als die Geschwindigkeit der Erde auf ihrem Wege um die Sonne.

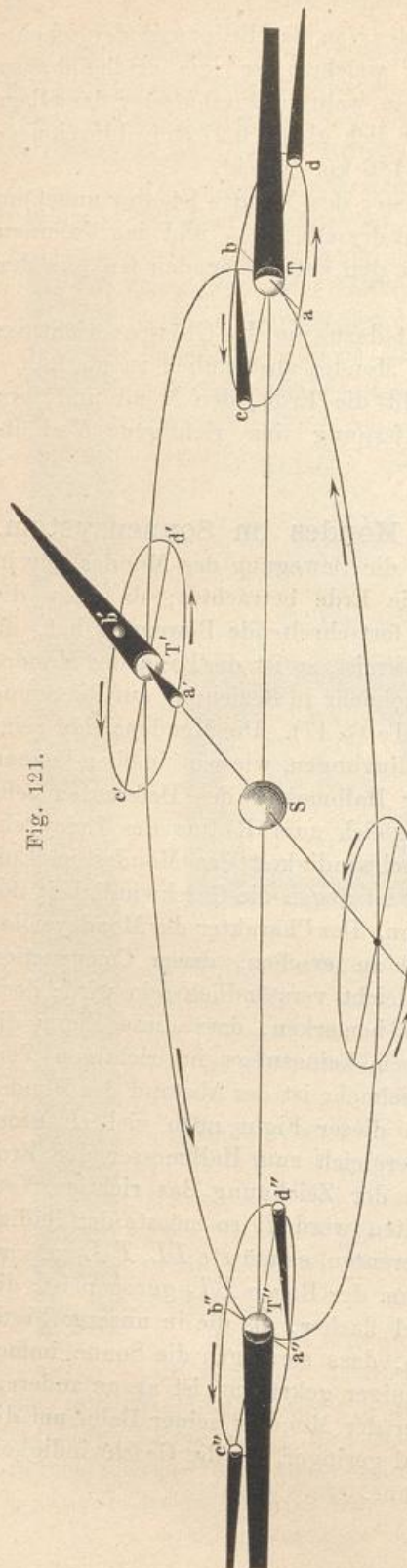


Fig. 121.

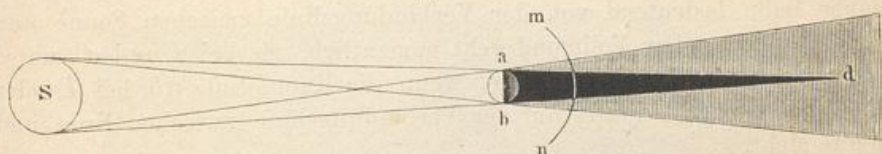
In Fig. 120 ist die Bahn des Mondes im Sonnensystem so dargestellt, als ob sie ganz mit der Ebene der Erdbahn zusammenfiel oder vielmehr ist in Fig. 120 die Projection der Mondbahn auf die Ebene der Ekliptik dargestellt. Um eine richtige Vorstellung von der wahren Lage der Mondbahn im Raume zu geben, muss man dieselbe, wenn man nicht zu einem Modelle seine Zuflucht nehmen will, perspectivisch darstellen, wie dies (natürlich ohne Einhaltung der richtigen Grössenverhältnisse) in Fig. 121 geschehen ist. S stellt die Sonne dar, um welche die Erde in einem Kreise sich bewegt, welcher in unserer Figur zu einer Ellipse $TT'T''$ verkürzt erscheint. Für den Moment, in welchem sich die Erde in T befindet, sei $adbc$ die Lage der Mondbahn, welche die Ebene der Erdbahn in der Linie ab schneidet. ab ist also die Knotenlinie der Mondbahn, deren eine Hälfte bca über der Ebene der Erdbahn liegt, während die andere Hälfte adb sich auf der Südseite der Erdbahn befindet. Der Winkel cTS , welchen die Ebene der Mondbahn mit der Ebene der Erdbahn macht, beträgt $5^{\circ} 9'$; er ist in unserer Figur der Deutlichkeit halber zu gross aufgetragen; ebenso wie der Durchmesser der Mondbahn im Verhältnisse zu dem der Erdbahn viel zu gross gezeichnet ist. Ebenso ist in unserer Figur der Durchmesser der Sonne, der Erde und des Mondes im Verhältniss zum Abstände TS der Erde von der Sonne zu gross dargestellt.

Es ist also $adbc$ der epicyklische Kreis, dessen Umfang der

Mond in 27 Tagen 7^h und 43^m durchläuft, während die im Mittelpunkte dieser Bahn stehende Erde im Deferenten $TT'T'$ fortrollt. Wenn die Erde nach T' gekommen ist, so hat nun (wenn man von der Bewegung der Knotenlinie abstrahirt) der epicyklische Kreis die Lage $a'd'b'c'$, er hat die Lage $a''d''b''c''$, wenn die Erde nach T'' gekommen ist.

Mondfinsternisse. Da die Erde ein dunkler, undurchsichtiger Körper ist, so muss sie einen Schatten geben, welcher, da die Erde kleiner ist als die Sonne, die Gestalt eines Kegels abd , Fig. 122, hat, dessen kreisförmige Basis durch den Umfang der Erde gebildet ist. In diesen Raum abd dringt kein Sonnenstrahl, es ist der Kernschatten. Dieser Kernschatten ist ringsum von einem Halbschatten umgeben, welcher diejenigen Stellen umfasst, an welchen nur ein Theil der Sonnenscheibe sichtbar ist, an welchen also weder vollkommener

Fig. 122.



Ausschluss der Sonnenstrahlen, noch eine volle Erleuchtung stattfindet.

Die Länge des Kernschattens beträgt ungefähr 216 Erdhalbmesser; sie wird grösser, wenn die Erde im Aphelium, kleiner, wenn sie im Perihelium sich befindet.

Durch diesen Schatten geht nun der Mond von Zeit zu Zeit hindurch und erscheint uns dann verfinstert. Solche Mondfinsternisse können natürlich nur stattfinden, wenn ☾ ☉ ☽, also zur Zeit des Vollmondes.

Dass aber nicht bei jedem Vollmond eine Mondfinsterniss eintritt, ist leicht einzusehen. Der Mond ist 60 Erdhalbmesser von der Erde entfernt; in dieser Entfernung aber ist der Durchmesser des Kernschattens gleich 0,72 Erddurchmessern oder gleich 2,9 Monddurchmessern. Von der Erde aus gesehen erscheint also der Halbmesser des Kernschattens an jener Stelle unter einem Winkel von ungefähr 44 Minuten.

Der Mittelpunkt des Erdschattens befindet sich natürlich stets auf der Ekliptik, und zwar der Sonne diametral gegenüberstehend. Wenn sich also der Mondrand zur Zeit des Vollmondes der Ekliptik wenigstens bis auf 44 Minuten genähert hat, so tritt er in den Erdschatten ein; wenn aber, wie dies meistens und auch in dem Fig. 3, Tab. 7 dargestellten Stücke der Mondbahn der Fall ist, zur Zeit der Opposition (also des Vollmondes) der Mond weiter von der Ekliptik entfernt ist, so geht er entweder über oder unter dem Erdschatten vorüber, und es findet alsdann keine Mondfinsterniss statt.

Eine Mondfinsterniss kann also nur dann stattfinden, wenn sich der Mond zur Zeit seiner Sonnenopposition in der Nähe des aufsteigenden oder des niedersteigenden Knotens seiner Bahn befindet, wenn also zur Zeit des Vollmondes die Knotenlinie der Mondbahn nahezu mit der Verbindungslinie zwischen Sonne und Erde zusammenfällt, wie dies bei T' , Fig. 121, der Fall ist. Passirt der Mond den aufsteigenden Knoten b' , während gleichzeitig die Knotenlinie $a'b'$ mit $T'S$ zusammenfällt, so geht der Mond durch den Erdschatten, es findet eine Mondfinsterniss statt.

Ebenso wird eine Mondfinsterniss stattfinden, wenn der Mond zur Zeit der Opposition den niedersteigenden Knoten passirt, während also die Knotenlinie der Mondbahn wiederum in einer geraden Linie mit der Verbindungslinie zwischen Erde und Sonne liegt.

Es findet dagegen keine Mondfinsterniss statt, wenn zur Zeit, in welcher der Mond mit der Sonne in Opposition kommt, die Knotenlinie seiner Bahn bedeutend von der Verbindungslinie zwischen Sonne und Erde abweicht. Der Vollmond geht namentlich, wie bei d und c'' , unter oder über dem Erdschatten her, wenn die Knotenlinie ab bei T oder $a''b''$ bei T'' rechtwinklig auf der Verbindungslinie zwischen Erde und Sonne steht.

Das Wesen der Mondfinsternisse wird wohl am besten durch die Betrachtung einzelner Fälle erläutert.

Zur Construction des Verlaufes der Mondfinsterniss, welche am 3. September 1876 stattfand, enthält der Nautical Almanac folgende Data:

☾ ☉ in R. A.	8 ^h 32,5 ^m ,
☾ Decl.	8° 3,8' südlich,
☉ Decl.	7° 12,6' nördlich,
☾ stündl. Bew. in R. A. . . .	28,1',
☉ stündl. Bew. in R. A. . . .	2,25',
☾ stündl. Bew. in Decl. . . .	14,5' nördlich,
☉ stündl. Bew. in Decl. . . .	0,9' südlich.

Da der Erdschatten der Sonne diametral gegenübersteht, so ist die südliche Declination des Erdschattens gleich der nördlichen Declination der Sonne; im Moment der Mondopposition steht also der Mittelpunkt des Mondes um $51,2' = 8° 3,8' - 7° 12,6'$ südlicher, als der Mittelpunkt des Erdschattens.

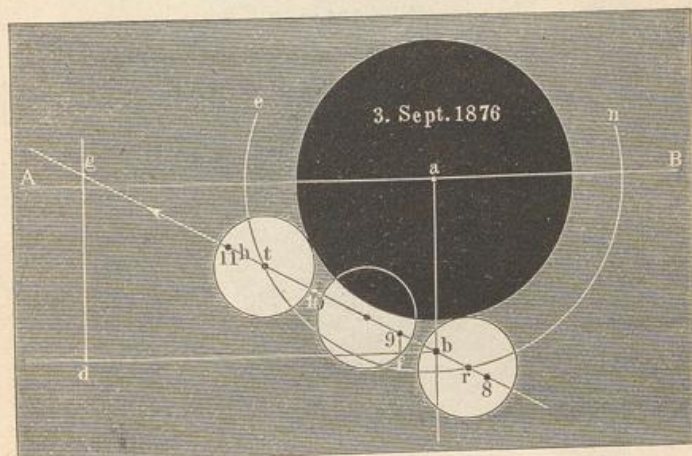
In Fig. 123 stelle nun a den Mittelpunkt des Erdschattens und die durch a gezogene Horizontale AB eine mit dem Himmelsäquator parallele Linie dar. Der Maassstab unserer Figur ist ein solcher, dass für fünf Bogenminuten eine Länge von 2 mm aufgetragen ist; auf der durch a rechtwinklig zu AB gezogenen Linie ist demnach die Länge $51,2 \cdot \frac{2}{5} = 20,5$ mm aufgetragen, um die Lage b des Mondmittelpunktes zur Zeit der Mondopposition zu finden.

In unserer Figur ist der Erdschatten als ein vollkommen schwarzer Kreis dargestellt, dessen Radius $44 \cdot \frac{2}{5} = 17,6$ mm gleich ist, da der Halbmesser des Erdschattens an der Stelle, wo ihn der Mond passirt, im Mittel $44'$ beträgt.

Es ist hier für den Halbmesser des Erdschattens an der fraglichen Stelle der Mittelwerth von $44'$ genommen worden. Wenn die Construction genaue Resultate geben sollte, so dürfte man sich mit diesem Mittelwerthe nicht begnügen, sondern man müsste ihn aus der Entfernung, in welcher sich zur Zeit der Finsterniss Sonne und Mond gerade befinden, erst berechnen. Die Elemente zu einer solchen Berechnung finden sich in den astronomischen Jahrbüchern.

Der Erdschatten steht aber nicht still, er schreitet in einer Stunde um $2,25'$ von West nach Ost, also in unserer Figur von der Rechten zur Linken fort. In einer Stunde bewegt sich aber der Mond in gleicher

Fig. 123.



Richtung um $28,1'$ vorwärts; wir können also, da es sich nur um die relative Bewegung des Mondes und des Erdschattens handelt, annehmen, dass der Erdschatten stillstände und dass der Mond parallel dem Aequator in einer Stunde nur um $28,1 - 2,25 = 25,85'$ nach Osten hin fortschritte.

In vier Stunden wird also die Rectascension des Mondmittelpunktes um $4 \cdot 25,85 = 103,4'$ mehr gewachsen sein, als die des Erdschattens, er wird sich also parallel mit BA gegen den Erdschatten um die Länge $bd = 103,4 \cdot \frac{2}{5} = 41,4$ mm fortbewegt haben.

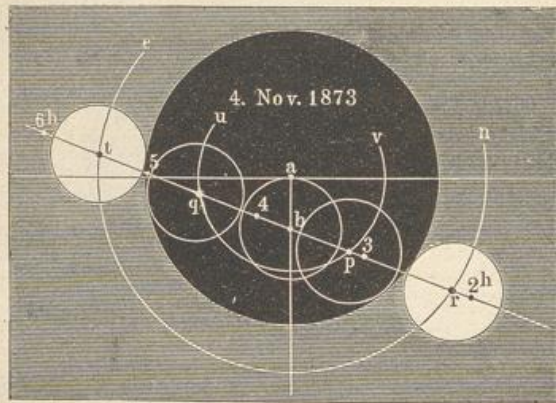
Der Mond bewegt sich ferner in jeder Stunde um $14,5'$, der Erdschatten aber um $0,9'$ nach Norden, in Beziehung auf den Erdschatten beträgt also die stündliche Bewegung des Mondes in Declination $14,5 - 0,9 = 13,6'$, in vier Stunden also $54,4'$, was in unserer Figur einer Länge von $54,4 \cdot \frac{2}{5} = 21,76$, oder in runder Zahl $21,8$ mm entspricht.

Trägt man nun von d in verticaler Richtung die Länge $dg = 21,8\text{mm}$ auf, so ist gb die Richtung, nach welcher sich der Mond gegen den Erdschatten bewegt.

In b steht der Mittelpunkt des Mondes um 8 Uhr 32,5 Minuten Greenw. m. Z., also um 27,5' vor 9 Uhr. In 27,5' bewegt sich aber, wie sich leicht berechnen lässt, der Mittelpunkt des Mondes gegen den Erdschatten um 11,86' nach Osten, was in unserer Figur einer Länge von $11,86^2/5 = 4,75\text{mm}$ entspricht. Misst man also auf bd die Länge $bf = 4,75\text{mm}$ ab, so trifft ein in f errichtetes Perpendikel die Linie bg in einem Punkte, in welchem der Mittelpunkt des Mondes um 9 Uhr anlangt. Macht man ferner den Abstand 9 bis 8, 9 bis 10, 10 bis 11 gleich $1/4\text{ }bg$, so erhält man die Punkte, in welchen der Mittelpunkt des Mondes um 8^h, 10^h, 11^h eintrifft.

Um die Punkte zu finden, in welchen der Mittelpunkt des Mondes beim Beginn und am Ende der Finsterniss steht, in den Momenten also,

Fig. 124.

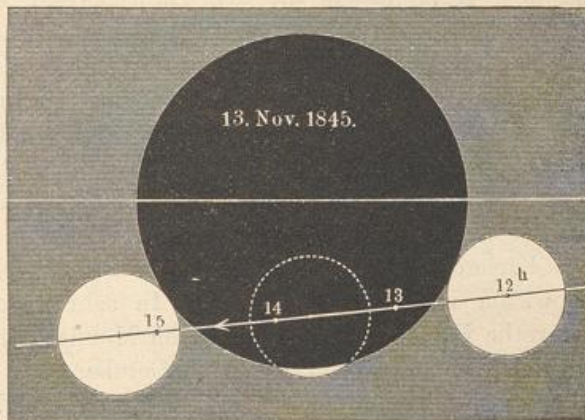


in welchen die Mondscheibe den Erdschatten beim Eintritt in denselben und beim Austritt aus demselben aussen berührt, hat man einen Kreisbogen en zu ziehen, dessen Radius um den Halbmesser der Mondscheibe grösser ist, als der Radius des Erdschattens. In den Punkten r und t , in welchen dieser Kreisbogen die Bahn des Mondmittelpunktes schneidet, steht der Mondmittelpunkt im Beginn und am Ende der Finsterniss. In dem Punkte, welcher zwischen r und t in der Mitte liegt, befindet sich der Mondmittelpunkt im Moment, in welchem der Mond am tiefsten in den Erdschatten eingetaucht ist.

Bei der Construction unserer Figur ist der scheinbare Durchmesser des Mondes zu 30' angenommen, also der Radius des Mondes in einer Länge von 6 mm aufgetragen. Wenn es sich um genaue Resultate handelt, darf man sich natürlich nicht mit Mittelwerthen begnügen, sondern man muss den Mondhalbmesser mit derjenigen Grösse auftragen, welche der jeweiligen Entfernung des Mondes von der Erde entspricht.

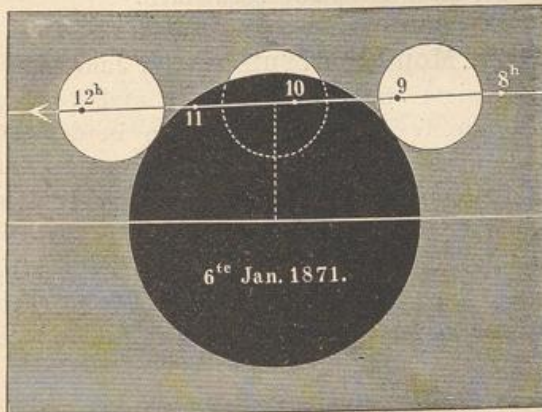
Die in Fig. 123 dargestellte Finsterniss war eine partielle, d. h. eine solche, bei welcher die Mondscheibe nur theilweise in den Erdschatten eintritt. In anderen Fällen tritt die ganze Mondscheibe in den Erdschatten ein, es ereignet sich eine totale Mondfinsterniss, wie dies z. B. am 4. November 1873 der Fall war. Der Verlauf dieser Finsterniss ist in Fig. 124 dargestellt. Die Punkte, in welchen der

Fig. 125.



Mittelpunkt des Mondes im Beginn und am Ende der totalen Finsterniss steht, sind die Punkte p und q , in welchen die Bahn des Mondmittelpunktes von dem Kreisbogen uv geschnitten wird, dessen Radius

Fig. 126.



um die Länge des Mondhalbmessers kleiner ist, als der Halbmesser des Erdschattens.

Um die Grösse einer partiellen Mondfinsterniss zu bestimmen, d. h. um anzugeben, der wievielste Theil der Mondscheibe verfinstert ist, denkt man sich den Durchmesser des Mondes, dessen Verlängerung durch den Mittelpunkt des Erdschattens geht, in 12 gleiche Theile

getheilt, welche man Zolle nennt und giebt dann an, wie viele dieser Zolle verfinstert sind. So hat das Maximum der Verfinsternung am 3. September 1876 etwas über vier Zoll betragen. Bei der Finsterniss vom 13. November 1845, Fig. 125 (a. v. S.), wurden gegen 11 Zoll, bei der am 6. Januar 1871, Fig. 126, gegen 10 Zoll verfinstert.

Die Grenze des Erdschattens erscheint auf dem Monde stets als Kreisbogen; er ist aber nie vollkommen scharf begrenzt, weil eben der Uebergang aus dem Kernschatten in den Halbschatten ein allmählicher ist.

Anfangs, wenn eben der Mond in den Erdschatten einzutreten beginnt, erscheint der verfinsterte Theil des Mondes von grauer Farbe und alle Flecken verschwinden. Wenn sich aber der Mond mehr und mehr in den Erdschatten einsenkt, geht dieses Grau in Roth über und dabei werden die Flecken wieder sichtbar, so dass, wenn die totale Finsterniss eingetreten ist, nun die ganze Mondscheibe eine eigenthümlich dunkelrothe Färbung zeigt, in welcher sich Einzelheiten auf der Mondoberfläche wieder unterscheiden lassen. In sehr ausgezeichneter Weise war diese rothe Färbung der verfinsterten Mondscheibe auch bei der nicht ganz totalen Mondfinsterniss vom 13. October 1856 wahrnehmbar; bei manchen totalen Mondfinsternissen ist aber die rothe Färbung nur äusserst schwach zu sehen gewesen.

Das rothe Licht des Mondes während einer totalen oder nahe totalen Verfinsternung rührt offenbar von dem zerstreuten Lichte her, welches die erleuchtete Erdatmosphäre noch in den Erdschatten hineinsendet, und die Intensität der Färbung hängt vermuthlich mit der grösseren oder geringeren Bewölkung der Erdatmosphäre zusammen.

75 Die nächsten Mondfinsternisse. Im Jahre 1894 finden zwei partiale Mondfinsternisse statt, am 31. März und 15. September, von denen aber nur die zweite in unseren Gegenden in den frühen Morgenstunden theilweise wird beobachtet werden können. Im Jahre 1895 werden zwei totale Mondfinsternisse stattfinden, am 11. März und 4. September, von denen die erste fast während ihres ganzen Verlaufes, von der zweiten aber nur der Beginn in Deutschland sichtbar sein wird. Von zwei partialen Mondfinsternissen im Jahre 1896 (Februar 21. und August 22.) wird nur die erste theilweise in Deutschland gesehen werden können.

76 Sonnenfinsternisse sind Erscheinungen, welche einerseits den Sternbedeckungen durch den Mond, andererseits dem Durchgang der unteren Planeten vor der Sonnenscheibe analog sind; sie treten ein, wenn die Erde durch den Schatten des Mondes hindurchgeht, können also nur zur Zeit des Neumondes stattfinden.

So wenig jeder Vollmond eine Mondfinsterniss bringt, so wenig ereignet sich auch bei jedem Neumond eine Sonnenfinsterniss, weil sich

der Mond so weit von der Ekliptik entfernt, dass sein Schatten meist über oder unter der Erde vorbeistreicht, ohne sie zu treffen. Eine Sonnenfinsterniss kann nur dann stattfinden, wenn der Mond zur Zeit seiner Conjunction mit der Sonne ganz in der Nähe der Ekliptik steht, oder mit anderen Worten, wenn der Neumond zu einer Zeit stattfindet, in welcher die Knotenlinie der Mondbahn nahezu mit der Verbindungslinie zwischen Sonne und Erde zusammenfällt, wie bei T' , Figur 121, Seite 190.

Im Mittel ist der scheinbare Durchmesser des Mondes 31,5, der der Sonne 32 Minuten, die Spitze des Mondkernschattens reicht demnach nicht immer bis auf die Erde. Wenn aber die Sonne in ihrer Erdferne, der Mond gerade in seiner Erdnähe ist, so ist der scheinbare Durchmesser der Sonne 31,5, der des Mondes 34 Minuten, und in diesem Falle ist der Kernschatten des Mondes länger, als der Abstand der Erde von demselben; der Kernschatten trifft also noch auf die Erdoberfläche, wie dies auch in der schematischen Fig. 127 der Fall ist, in welcher S die Sonne, L den Mond und T die Erde darstellt.

An den gerade vom Kernschatten des Mondes getroffenen Stellen der Erde ist die Sonnenscheibe vollständig durch den Mond verdeckt, es findet eine totale Sonnenfinsterniss an diesen Orten statt.

Für denjenigen Ort der Erde, von welchem aus gesehen die Mittelpunkte der Sonne und des Mondes sich decken, ist die Finsterniss eine centrale; natürlich kann sie nur für einen Augenblick central sein. Die centrale Finsterniss ist zugleich eine ringförmige, wenn gerade der scheinbare Durchmesser des Mondes kleiner ist, als der scheinbare Durchmesser der Sonne. Bisweilen kann es vorkommen, dass eine Finsterniss an den Stellen der Erdoberfläche, welche dem Monde und der Sonne am nächsten sind, total erscheint, während sie auf den übrigen Theilen der centralen Linie ringförmig gesehen wird.

Fig. 128 (a. f. S.) stellt die ringförmige Sonnenfinsterniss vom 15. März 1858 dar, wie sie z. B. in Oxford erschien.

Der Kernschatten des Mondes ist von einem Halbschatten umgeben, dessen Durchmesser mit der Entfernung vom Monde zunimmt, wie die Fig. 127 zeigt.

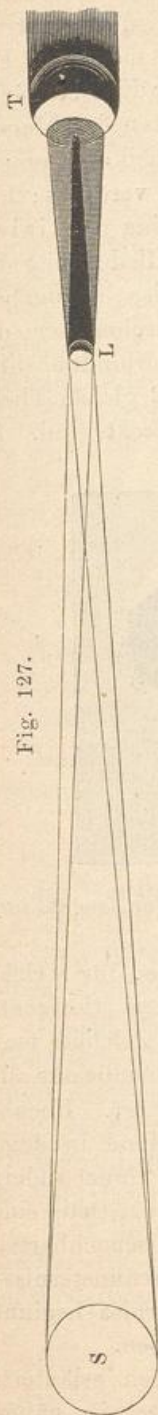


Fig. 127.

An der Stelle, an welcher die Erde in denselben eintreten kann, ist der Durchmesser seines Querschnittes ungefähr dem Halbmesser der Erde

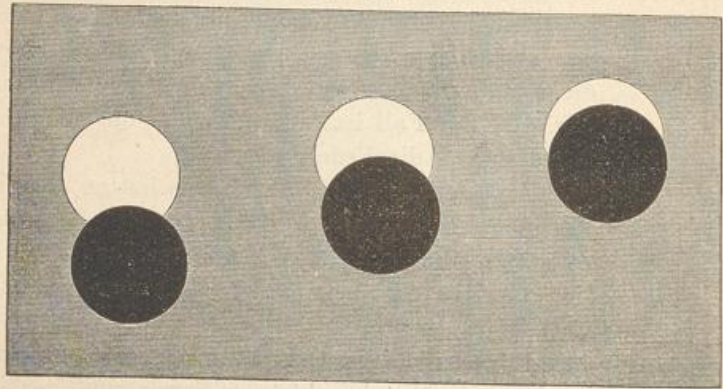
Fig. 128.



gleich; er ist kleiner, wenn der Kernschatten des Mondes die Erde noch trifft, grösser, wenn dies nicht mehr der Fall ist. An solchen Orten der Erdoberfläche, welche in dem Halbschatten des Mondes liegen, erscheint nur ein Theil der Sonnenscheibe durch den Mond verdeckt; hier ist die Sonnenfinsterniss eine partiale.

Um die Grösse der Bedeckung bei einer partialen Finsterniss anzugeben, denkt man sich den Durchmesser der Sonne, welcher in die Verbindungslinie der Mittelpunkte der Sonnen- und Mondscheibe fällt, in 12 gleiche Theile (Zolle) getheilt und giebt dann an, wie viele Zolle verdeckt sind. So

Fig. 129.



zeigt Fig. 129 eine Verfinsternung von drei, eine solche von sechs und endlich eine solche von neun Zoll.

Eine Mondfinsterniss bietet auf der ganzen Erdhälfte, für welche sich der in den Erdschatten eingetauchte Mond über dem Horizonte befindet, ganz den gleichen Anblick dar. Der Moment, in welchem man den Mond gerade in den Erdschatten eintreten sieht, ist derselbe für alle Orte der Erde, an denen überhaupt das Phänomen sichtbar ist. Ebenso sehen die Beobachter der verschiedensten Gegenden den Mond in demselben Momente wieder aus dem Schatten hervortreten. Ganz anders verhält es sich bei Sonnenfinsternissen. Während an einem Orte eine totale Sonnenfinsterniss stattfindet, beobachtet man in benachbarten Gegenden nur eine partiale, in entfernteren gar keine Sonnenfinsterniss; ebenso sind die Zeitpunkte, in welchen die Sonnenfinsterniss beginnt und endet, für verschiedene Orte auf der Erde nicht dieselben.

Die eben angedeuteten Verhältnisse werden am besten erläutert, wenn wir den Vorgang irgend einer speciellen Sonnenfinsterniss näher

betrachten, und besonders, wenn wir untersuchen, welches der Verlauf der Erscheinung, vom Monde aus betrachtet, sein wird.

Am 4. April 1856 fand eine in Australien sichtbare Sonnenfinsterniss statt. Dem Berliner astronomischen Jahrbuche zufolge war der Moment der Conjunction von Sonne und Mond am 4. April $18^{\text{h}} 43^{\text{m}} 35^{\text{s}}$ Berliner Zeit. In diesem Augenblicke war die geocentrische Länge der Sonne und des Mondes (nämlich der Mittelpunkt beider Himmelskörper) $15^{\circ} 38' 21''$. Die heliocentrische Länge des Mittelpunktes der Erde sowohl wie des auf die Erde fallenden Mondschatens war demnach in dem fraglichen Moment $195^{\circ} 38' 21''$; die gleichzeitige südliche Breite des Schattenmittelpunktes war $48' 24,6''$.

In Fig. 1 auf Tab. XI, welche nach 1,14 mal grösserem Maassstabe gezeichnet ist, als die Figuren 123 bis 126, stellt AB ein Stück der Ekliptik, C den Mittelpunkt der Erde und m den Mittelpunkt des Mondschatens für den Moment der Conjunction dar. Zur Zeit jener Finsterniss war dem astronomischen Jahrbuche zufolge die Horizontalparallaxe des Mondes gleich $61' 9,6''$, ein mit dem Halbmesser $61,1 \cdot \frac{2}{5} \cdot 1,14 = 27,8$ mm um den Mittelpunkt C beschriebener Kreis stellt also den Umfang der vom Monde aus betrachteten Erdkugel dar.

Die Figur zeigt uns nun die Erdhälfte, welche im Moment der fraglichen Conjunction gerade der Sonne zugewandt war. Der Kernschatten des Mondes fiel in diesem Augenblicke auf die südwestliche Spitze von Neuholland; hier, innerhalb des kleinen schwarzen Kreises, fand eben eine totale Sonnenfinsterniss statt.

Dieser Kernschatten war aber von einem Halbschatten umgeben, welcher den grössten Theil von Neuholland bedeckte und sich nördlich bis zur Insel Java erstreckte. An allen Orten, welche innerhalb dieses Halbschatens lagen, fand eine partiale Sonnenfinsterniss statt, und zwar war der von dem Monde bedeckte Theil der Sonnenscheibe um so kleiner, je weiter man von dem Kernschatten entfernt war. Ueber die Grenze des Halbschatens hinaus, also in ganz Asien und Afrika, fand keine Bedeckung der Sonnenscheibe statt.

Unsere Figur stellt den auf die Erde fallenden Mondschaten nur für einen bestimmten Moment dar; vor und nach diesem Zeitpunkte aber musste der Schatten auf andere Gegenden fallen, wie man leicht ersehen kann, da der Mittelpunkt des Mondschatens in der Richtung der Linie DF fortschritt, während gleichzeitig die Erde in der Richtung des kleinen am Aequator gezeichneten Pfeiles um ihre Axe rotirte. Auf der Linie DF sind die Punkte bezeichnet, in denen sich der Mittelpunkt des Mondschatens um 16^{h} , 17^{h} u. s. w. bis 21^{h} (Berliner Zeit) befand. Der Mondschaten traf die Erde zuerst, als der Mittelpunkt desselben sich in a befand, um $16^{\text{h}} 36^{\text{m}}$ Berliner Zeit, also zu einer Zeit, in welcher ungefähr der 124. Längengrad (etwas östlich von der Ostküste Chinas) in der Mitte der erleuchteten Erdhälfte lag und für die Stelle, wo der Erdäquator die Ostküsten Afrikas schneidet, die Sonne eben aufging.

Das Ende der Finsterniss fand statt, als der Mittelpunkt des Mondschattens in *b* angelangt war, was um 21^h 8^m Berliner Zeit stattfand, bis zu welchem Zeitpunkte sich dann die Erde so weit um ihre Axe gedreht hatte, dass nun die Sonne auf dem 56. Längengrade östlich von Greenwich culminirte, also der Eingang des Persischen Meerbusens, das Uralgebirge und Nowaja-Semlja Mittag hatten und die Sonne für den östlichen Theil von Neu-Guinea und Neuholland bereits untergegangen war.

Ohne auf eine genauere Bestimmung des Weges, welchen der Kernschatten des Mondes auf der Erdoberfläche zurücklegte und der Grenzen einzugehen, innerhalb welcher die Finsterniss vom 4. April 1856 sichtbar war, ist aber doch aus dem bisher Gesagten mit Hülfe der Fig. 1 auf Tab. XI klar, dass die fragliche Sonnenfinsterniss überhaupt in Neuholland und den nördlich und östlich davon gelegenen Inseln sichtbar war, dass aber die Linie der centralen Verfinsterung Neuholland durchschneidet.

Da der Mondschatten auf der Erde von Westen nach Osten fortschreitet, so ist es klar, dass wir den Mond auf der Westseite der Sonnenscheibe ein-, auf der Ostseite derselben austreten sehen.

Wo eine Sonnenfinsterniss wirklich total wird, entsteht eine ganz eigenthümliche Dunkelheit, der Himmel erscheint grau und man erblickt einzelne der helleren Sterne. Die schwarze Mondscheibe ist von einer wallenden breiten Lichtung umgeben, von welcher aus sich gelbliche Strahlen verbreiten.

Von der totalen Sonnenfinsterniss, welche im August 1868 im südlichen Asien stattfand und von der eigenthümlichen Erscheinung des Strahlenkranzes, welche man während einer totalen Sonnenfinsterniss wahrnimmt, wird weiter unten noch ausführlicher die Rede sein.

77 **Die nächsten Sonnenfinsternisse.** Eine ringförmige Finsterniss findet am 6. April 1894 statt, die in dem grössten Theile von Asien theils ringförmig, theils partial erscheinen wird; und am 29. September 1894 ereignet sich eine totale Sonnenfinsterniss, welche als solche im Indischen Ocean und einem Theile der Südsee, dagegen als partiale Finsterniss im östlichen Afrika, Madagaskar und dem südlichen Australien wird beobachtet werden können.

Von drei partialen Sonnenfinsternissen im Jahre 1895 wird die erste (März 25.) in Norwegen, Grossbritannien, einem kleinen westlichen Theile von Frankreich und Spanien, sowie einem kleinen Theile des nordöstlichen Nordamerika, ferner in Grönland und Irland, — die zweite (August 20.) im nordwestlichen Asien und einem Theile von Russland, — und die dritte (September 18.) in der Südsee, Neuseeland und dem südöstlichen Australien sichtbar sein.

Am 13. Februar 1896 findet eine ringförmige Sonnenfinsterniss statt, welche in Patagonien und theilweise im südwestlichen Afrika partial gesehen werden wird; ferner eine totale Sonnenfinsterniss am 9. August,

welche in einem grossen Theile des nördlichen Asiens und theilweise im östlichen Europa wird beobachtet werden können.

Perioden der Finsternisse. Die Zeit zwischen zwei auf ein- 78
ander folgenden Vollmonden nennt man, wie schon oben §. 68 erwähnt wurde, einen synodischen Monat. Man erhält die mittlere Länge derselben mit grosser Schärfe, wenn man die Zwischenzeit zwischen zwei sehr weit von einander liegenden Vollmonden durch die Anzahl der Umläufe dividirt, welche der Mond unterdessen gemacht hat. Auf solche Weise hat man die mittlere Länge des synodischen Monats zu 29,53059 mittleren Tagen erhalten. Multipliciren wir diese Zahl mit 235, so erhalten wir 6939,69 mittlere Tage, und diese Zahl von Tagen ist sehr nahe gleich 19 Sonnenjahren ($19 \times 365,25 = 6939,75$). Es sind demnach 235 synodische Monate gleich 19 Sonnenjahren, und es müssen demnach nach je 19 Jahren die Mondviertel an denselben Jahrestagen wiederkehren.

Es wurde schon oben (§. 70) bemerkt, dass die Knotenlinie des Mondes ihre Lage im Laufe der Zeit verändert; die Zeit von einem Durchgange des Mondes durch einen der beiden Knotenpunkte bis zum nächsten Durchgange durch denselben Knoten nennt man einen draconitischen oder Drachenmonat, und die Länge desselben ist gleich 27,21222 Tagen. Nun trifft nach je 242 draconitischen Monaten der Mond mit der Sonne in demselben Knotenpunkte der Mondbahn zusammen, so dass wir für die Finsternisse eine Periode von 242 draconitischen oder $242 \times \frac{27,21222}{29,53059} = 223$ synodischen Monaten erhalten.

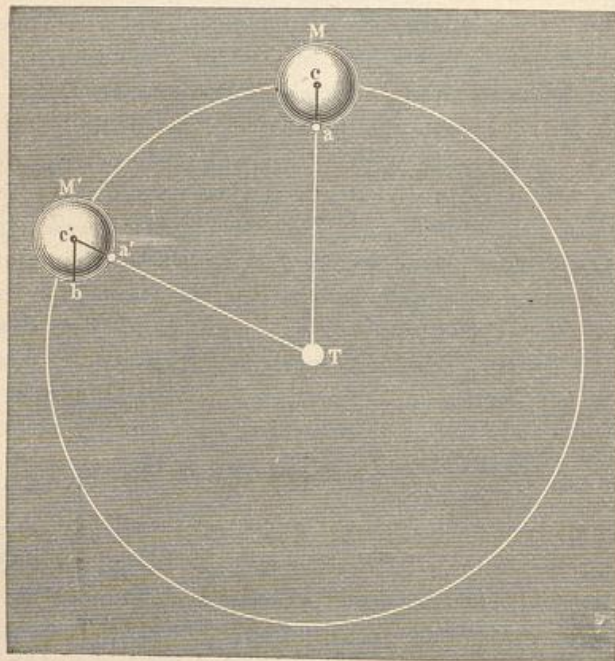
Es sind aber 223 synodische Monate gleich $223 \times 29,53059 = 6585\frac{1}{3}$ Tagen oder $= 18$ Jahren $10\frac{5}{6}$ Tagen, das Jahr zu $365\frac{1}{4}$ Tagen gerechnet. Diese Periode der Finsternisse, nach welcher sie sich nach je 223 Voll- oder Neumonden oder alle 18 Jahre 11 Tage wiederholen, war schon den alten Chaldäern, wahrscheinlich auch den Aegyptern und Chinesen bekannt, und mit dieser Kenntniss hängen jedenfalls die Nachrichten aus alten Zeiten über Vorhersagungen von Finsternissen zusammen.

Axendrehung des Mondes. Schon mit blossen Auge unter- 79
scheidet man auf der Mondscheibe Flecken, welche dem Monde eine bestimmte Zeichnung geben. Diese Zeichnung bleibt nun stets unverändert, d. h. die einzelnen Flecken behalten ihre Stellung auf der Mondoberfläche, geringe Schwankungen abgerechnet, unverändert bei; ein Flecken, welcher einmal in der Mitte der Scheibe liegt, wird uns immer an dieser Stelle erscheinen, er rückt nie an den Rand; bestimmte Flecken werden immer am westlichen, andere werden stets am östlichen Rande bleiben: kurz, der Mond wendet uns immer dieselbe Seite zu.

Es kommt uns also nur die eine Hälfte der Mondoberfläche zu Gesicht, die andere Hälfte bleibt uns stets unsichtbar.

Nach dieser Beobachtung lässt es sich nun leicht ausmitteln, wie es sich mit der Axendrehung des Mondes verhält. In Fig. 130 sei T die Erde, M die Stellung des Mondes in irgend einem beliebigen Augenblick. Wenn nun der Punkt a derjenige ist, welcher, von der Erde aus gesehen, gerade die Mitte der Mondscheibe bildet, so muss dieser Punkt in die Stellung a' kommen, während der Mond von M bis M' in seiner

Fig. 130.



Bahn fortschreitet, wenn stets derselbe Punkt die Mitte der von der Erde sichtbaren Mondhälfte bilden soll.

Fände während der fortschreitenden Bewegung des Mondes gar keine Axendrehung desselben statt, so müsste der Punkt a an die Stelle b gelangen, während der Mond von M bis M' fortschreitet, so dass derselbe Mondhalbmesser, welcher vorher die Lage ca hatte, nun die parallele Richtung $c'b$ einnähme. Wir haben aber gesehen, dass der fragliche Radius jetzt, wo der Mond in M' angekommen ist, die Lage $c'a'$ hat; während also der Mond von M nach M' fortgeschritten ist, hat er sich um den Winkel $bc'a'$ gedreht, welcher offenbar dem Winkel cTc' gleich ist.

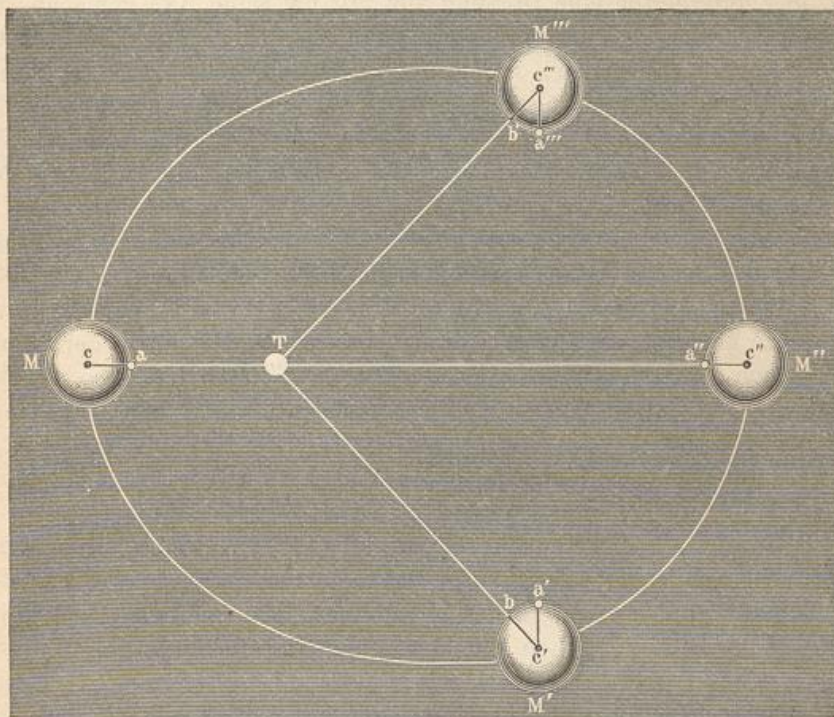
Aus der Thatsache, dass der Mond der Erde stets dieselbe Seite zuwendet, ergibt sich also, dass er eine Axendrehung hat und dass er

die Umdrehung um seine Axe in derselben Zeit vollendet, in welcher er seine Bahn um die Erde zurücklegt, die Rotationsdauer des Mondes ist also seiner siderischen Revolution gleich.

Dieser langsamen Axendrehung entsprechend hat der Mond keine irgend wahrnehmbare Abplattung.

Libration des Mondes. Obgleich uns im Wesentlichen stets 80 dieselbe Mondhälfte zugekehrt ist, so finden doch kleine Schwankungen in der Stellung der Mondoberfläche gegen die Erde statt; bald sehen wir etwas weiter auf die Westseite, dann wieder etwas mehr auf die

Fig. 131.



Ostseite der Mondkugel; bald ist uns der Nordpol des Mondes und dann wieder der Südpol desselben etwas mehr zugewandt; kurz, der grösste Kreis, welcher die uns sichtbare Mondhälfte begrenzt, hat auf der Mondkugel keine absolut feste Lage, sondern er wird sowohl in der Richtung von Ost nach West, als auch in der Richtung von Nord nach Süd etwas hin und her geschoben. Man bezeichnet diese Erscheinung mit dem Namen der Libration.

Insofern die erwähnte Schwankung in der Ebene des Mondäquators stattfindet, so dass alle Längengrade des Mondes für den Beschauer auf der Erde bald etwas mehr nach Osten, dann wieder etwas mehr nach Westen gedreht erscheinen, nennt man sie Libration der Länge,

während die rechtwinklig zum Mondäquator stattfindenden scheinbaren Schwankungen Libration der Breite genannt werden.

Die Libration der Länge rührt daher, dass der Mond sich in einer Ellipse um die Erde bewegt, während seine Axendrehung, sehr kleine Schwankungen abgerechnet, mit gleichförmiger Geschwindigkeit vor sich geht.

Fig. 131 (a. v. S.) stelle die elliptische Mondbahn dar, in deren einem Brennpunkte T die Erde steht. Zur Zeit des Perigäums steht der Mond in M , und a ist der Punkt, welcher, von der Erde aus gesehen, gerade die Mitte der Mondscheibe einnimmt. Nachdem nun der vierte Theil der ganzen Umlaufszeit verflossen ist, befindet sich der Mond in M' ; er hat aber unterdessen eine Drehung von 90° um seine Axe gemacht, der Mondhalbmesser, welcher vorher die Lage ca hatte, wird sich also jetzt in der Lage $c'a'$ befinden; dieser Radius ist aber jetzt nicht mehr derjenige, dessen Verlängerung gerade zur Erde hinführt, sondern b ist der Punkt, welcher, von der Erde aus gesehen, die Mitte der Mondscheibe einnimmt, die Mondoberfläche erscheint also gegen die Erde um den Winkel $b'c'a'$ nach Osten gedreht.

Ist der Mond im Apogäum, also in M'' , angelangt, so ist, von dem Moment des Perigäums aus gerechnet, die Hälfte seiner ganzen Umlaufszeit verflossen, in dieser Zeit hat er aber eine Drehung von 180° um seine Axe gemacht, der Punkt a nimmt also wieder die Mitte der Mondscheibe ein, während derselbe Punkt sich in a''' befindet, also um den Winkel $b'c'''a'''$ nach Westen gedreht erscheint, wenn der Mond nach M''' gelangt ist.

Die Libration der Länge (also der Winkel $b'c'a'$ oder $b'c'''a'''$) kann bis zu $7^\circ 53'$ auf jeder Seite wachsen.

Wäre die Mondaxe genau rechtwinklig zur Mondbahn, so würden wir nur die Libration der Länge wahrnehmen; nun aber macht der Mondäquator mit der Ebene der Mondbahn einen Winkel, welcher im Mittel $6^\circ 38'$ beträgt, und so kommt es, dass die Mondpole nicht — wie es bei streng senkrechter Lage seiner Axe sein würde — im Rande erscheinen, sondern uns abwechselnd etwas zu- und abgewandt sind. Ist uns der Nordpol des Mondes zugewandt, so werden alle Flecken mehr nach Süden rücken; mehr nach Norden aber, wenn gerade der Südpol uns zugekehrt ist, und so ist also die Libration der Breite, welche im Maximo $6^\circ 47'$ beträgt, eine Folge von der schiefen Stellung der Mondaxe gegen seine Bahn.

Es ist klar, dass die Ansicht der Mondscheibe, von verschiedenen Orten der Erde aus gesehen, nicht genau dieselbe ist; die aus dieser Ursache stammenden Variationen werden parallaktische Libration genannt.

81 Die Oberfläche des Mondes. Mit unbewaffnetem Auge oder auch durch ein ganz schwach vergrößerndes Fernrohr betrachtet, erscheint

der Vollmond als eine weisse Scheibe, welche mit mehreren grauen Flecken bedeckt ist; man hielt früher diese dunkleren Stellen für Meere, die helleren für Land, und obgleich man sich später davon überzeugte, dass auf dem Monde keine Meere sind, so haben diese dunklen Partien doch ihre alten Namen beibehalten, und so findet man denn auf den Mondkarten noch immer ein Mare humorum, ein Mare nubium u. s. w.

Wenn man den Mond durch ein Fernrohr betrachtet, so beobachtet man unverkennbare Erhöhungen und Vertiefungen, kurz Berge, welche jedoch nur an solchen Stellen deutlich unterschieden werden können, welche an der Grenze der Lichtphasen liegen, also nur in denjenigen Mondgegenden, für welche die Sonne eben auf- oder untergeht. Die Gebirge werfen dann mehr oder minder lange Schatten, deren schwarze, oft haarscharf endende Gestalten einen überaus schönen Anblick gewähren, wie dies in der Figur auf Tab. XIX anschaulich gemacht ist. Mit dem Steigen der Sonne verändert sich die Scene; die Schatten werden kürzer und mit dem Verschwinden der letzten Schattenspur verliert sich die Schärfe der Umrisse, so dass bei voller Beleuchtung alle die Einzelheiten verschwinden, welche man an der Grenze zwischen der erleuchteten und der dunklen Hälfte wahrgenommen hatte. — Der Vollmond zeigt nur Differenzen des Lichtes und der Farbe. Den Haupteindruck gewähren die dunklen Flächen, welche schon dem unbewaffneten Auge sichtbar sind und in welchen sich, von einzelnen Bergen ausgehend, schmale Lichtstreifen verbreiten. Aber das unendliche Detail von Bergen, Hügeln und kleinen Kratern, welches zur Zeit der Phasen den Beobachter in Erstaunen setzte, ist auf dem Vollmonde fast ganz verschwunden.

Hevel hatte den Mondbergen die Namen irdischer Gebirge beigelegt, während Riccioli es vorzog, die Nomenclatur Hevel's zu verlassen, indem er die Mondberge nach berühmten Männern und namentlich nach Astronomen benannte. Diese Bezeichnung ist bis jetzt allgemein in Gebrauch geblieben und so finden wir denn auf unseren Mondkarten einen Archimedes, einen Kepler, Tycho, Manilius, Galilei u. s. w., während nur einige Bergketten die Namen irdischer Gebirge behalten haben.

Wendet man das Fernrohr auf eine gerade gut beleuchtete Gebirgslandschaft des Mondes, so fällt selbst dem ungeübtesten Beobachter das Vorherrschen kreisförmiger Gebilde auf, welche sich in Tausenden von Beispielen in grösserem und kleinerem Maassstabe wiederholen und mit dem gemeinschaftlichen Namen der Ringgebirge bezeichnet werden; in unserer Mondkarte Tab. XVII sind diese ringförmigen Bildungen deutlich zu erkennen.

Die grösseren Ringgebirge, deren Durchmesser oft über 200 km beträgt, nennt man Wallebenen. Es sind dies grössere, nahezu ebene Regionen, welche von einem sich mehr oder weniger der Kreisgestalt

nähernden Gebirgswall umschlossen sind. Dieser Gebirgswall erscheint aber vielfach zerklüftet und durch kleinere Krater unterbrochen, wie denn auch im Inneren dieser Wallebenen Hügel und kleine Krater auftreten.

Clavius und Maginus, welche auf Tab. XVII mit 13 und 22 bezeichnet sind, können als charakteristische Beispiele solcher Wallebenen dienen.

An diese Wallebenen schliessen sich in Betreff der Grössenverhältnisse zunächst die grossen Krater von 35 bis 90 km Durchmesser an, welche sich durch eine grössere Annäherung an die Kreisform und namentlich durch eine bedeutende Vertiefung des Beckens, welche sie mit den kleineren Kratern gemein haben, vor den Wallebenen auszeichnen. Der meist mauerartige Wall zeigt eine grosse Regelmässigkeit und ist selten durch kleinere Krater unterbrochen, nach innen aber mit doppelten bis fünffachen Terrassen besetzt. In der Mitte des Beckens erhebt sich meist ein einfacher Berg, der aber selten die Höhe des Walles erreicht.

Diese grösseren Krater sind auch noch durch grosse Helligkeit des oberen Saumes und oft durch ein Strahlensystem ausgezeichnet, welches sich von ihnen aus bis weit in die grauen Ebenen erstreckt. — Zu den grösseren Kratern dieser Classe gehören Tycho, Copernicus, Aristoteles u. s. w. Zu den kleineren Kepler, Aristarch, Manilius u. s. w.

Die kleinen Krater, deren Zahl auf der uns zugewandten Seite des Mondes auf 50 000 steigt, kommen ohne Ausnahme in allen Gegenden vor und erscheinen vielfach als Unterbrechung der grösseren Gebirgsformen, weshalb man sie als die jüngsten Mondgebilde betrachtet.

An diese Kraterbildungen schliessen sich die Rillen an, welche als schmale Furchen, als grabenartige, weit sich erstreckende Vertiefungen erscheinen. Die Rillen, nur durch die besten Fernrohre sichtbar, sind 30 bis 150 km lang, 600 bis 4000 m breit und 100 bis 400 m tief.

Ogleich die Ringgebirge auf dem Monde die vorherrschenden sind, so finden sich doch auch Bergmassen, welche ohne besondere Ordnung aufgethürmt erscheinen und die man Massen- oder Kettengebirge nennt. Diese Gebirge sind aber, wenn auch in ihrem Zuge eine bestimmte Richtung vorherrscht, sehr von den grossen Gebirgszügen der Erde verschieden, denn die Kettengebirge des Mondes erscheinen nur als unregelmässig zusammengestellte und aufgethürmte Berggipfel, an welchen wir Gebirgsthäler und Kämme im Sinne unserer irdischen Gebirge vergebens suchen.

Wenden wir uns endlich zu den schon flüchtig erwähnten Strahlensystemen des Mondes, welche sich von gewissen Punkten radienartig verbreitern und beim Vollmond in den grauen Ebenen besonders auffällig sind. Sie erscheinen im Gebirge in den Kratertiefen, in den grauen Ebenen nur als Modification der Bodenfarbe; sie ver-

schwinden in der Nähe der Lichtgrenze, ohne auch nur eine Spur eines Schattens zu zeigen, folglich sind sie weder Erhöhungen noch Vertiefungen.

Die Höhen der Mondgebirge kann man auf zweierlei Art ermitteln, entweder aus der Länge der Schatten oder, wenn ein erleuchteter Berggipfel ringsum noch von Nacht umgeben ist, aus dem Abstände des hellen Punktes von der allgemeinen Lichtgrenze. Auf diese Weise hat schon Galilei die Höhe einiger Mondberge ziemlich genau bestimmt. Nach den besten Messungen sind folgende die höchsten Kuppen der Massengebirge:

Dörfel	7500 m,
Apenninen	5500 „
Kaukasus	5500 „

Folgendes sind die Höhen einiger Ringgebirge:

Newton	7150 m,
Tycho	5200 „
Copernicus	3600 „
Aristarch	1950 „

Die Mondgebirge kommen also an Höhe den bedeutendsten Berggipfeln der Erde sehr nahe.

Die Schatten der Mondberge sind vollkommen schwarz, so dass man an den vom Schatten bedeckten Stellen auch nicht das allermindeste Detail zu erkennen im Stande ist. Wo also auf dem Monde die Sonnenstrahlen nicht unmittelbar hintreffen, ist absolute Nacht. Die allgemeine Tageshelle, welche in dem Schatten irdischer Gegenstände herrscht, fehlt auf dem Monde ebenso wie jede Spur von Dämmerung, woraus hervorgeht, dass der Mond keine Atmosphäre oder doch nur eine solche von sehr geringer Höhe und Dichtigkeit hat, dass auf der Mondoberfläche also auch kein Wasser vorhanden sein kann, welches sich bei dem sehr geringen Luftdrucke sehr rasch in Dampf auflösen und somit für sich schon eine Atmosphäre herstellen würde. Auf dem Monde ist demnach auch ein organisches Leben der Art, wie es auf der Erdoberfläche vorkommt, ganz unmöglich.

Es ist bereits §. 71, S. 185, bemerkt worden, dass das Verschwinden und Wiedererscheinen von Sternen, über welche der Mond gleichsam wegschreitet, ganz plötzlich ist, d. h. dass sie, ehe sie mit dem Mondrande in Berührung kommen oder nachdem sie denselben verlassen haben, keinerlei Ablenkung von der Stelle erfahren, an welcher man sie auch ohne die Annäherung des Mondes sehen würde. Auch diese Thatsache beweist, wenn nicht die gänzliche Abwesenheit einer Mondatmosphäre, so doch die sehr geringe Höhe und Dichtigkeit derselben.

82 **Darstellungen der Mondoberfläche.** Schon Galilei hat es versucht, eine bildliche Darstellung der Mondoberfläche zu geben, seine im Nuntius sidereus publicirten Mondbilder von ungefähr 7 cm Durchmesser sind aber ebenso wie die Scheiner'schen noch höchst unvollkommen. Die erste einigermaassen brauchbare Mondkarte brachte Hevel im Jahre 1643 zu Stande und veröffentlichte sie nebst 40 Phasenzeichnungen in seiner Selenographie. Hevel's Mondkarte blieb länger als 100 Jahre die beste. Erst Tob. Mayer in Göttingen gab eine kleine, aber höchst sorgfältig nach wirklichen Messungen gezeichnete Mondkarte heraus, welche wieder bis auf die neueren Zeiten die beste blieb. In seinen selenographischen Fragmenten (1791) gab Schröter zahlreiche Darstellungen einzelner Partien der Mondoberfläche, bei deren Aufnahme er aber nicht objectiv genug verfuhr, wodurch der Werth derselben wesentlich beeinträchtigt wurde.

Im Jahre 1824 erschienen vier Blätter einer von Lohrmann nach richtigen Principien aufgenommenen und gezeichneten Mondkarte, welche aber erst ein Neuntel der ganzen uns sichtbaren Mondoberfläche darstellten. Das Werk blieb unvollendet. Im Jahre 1838 erschien eine höchst werthvolle Lohrmann'sche Generalkarte des Mondes.

Im Jahre 1830 begannen Beer und Mädler eine nach Lohrmann's Plan, aber ausschliesslich auf eigene Beobachtungen gegründete Mondkarte anzufertigen, welche im Jahre 1836 in vier Blättern unter dem Titel Mappa selenographica erschien und das Vollendetste ist, was bis dahin in dieser Beziehung geleistet war. Der Durchmesser dieser, die feinsten Details zeigenden Mondkarte beträgt 3 Fuss.

Eine ausgezeichnete Mondkarte ist von Julius Schmidt, zuletzt in Athen, in den Jahren 1839 bis 1874 angefertigt und im Jahre 1878 auf Kosten des Preussischen Unterrichtsministeriums veröffentlicht worden. Sie ist aus 25 quadratischen Sectionen zusammengesetzt, und der Durchmesser des Mondes hat eine Grösse von 6 Pariser Fuss. Der Maassstab ist 1 : 1750 000, und zwei Pariser Linien auf der Karte entsprechen einer wirklichen Entfernung auf der Mondoberfläche von einer geographischen Meile. Sehr gute Abbildungen der Mondoberfläche finden sich ferner in dem Werke: „Der Mond und die Beschaffenheit und Gestaltung seiner Oberfläche“, von Eduard Neison. Deutsch von H. J. Klein, Braunschweig 1878, sowie namentlich in dem Werke: „Der Mond, betrachtet als Planet, Welt und Trabant“, von J. Nasmyth und J. Carpenter. Deutsch von H. J. Klein. Leipzig 1876, aus dem die Tafeln XVII und XIX unseres Atlas entnommen sind.

Ein neues vortreffliches Mittel zur getreuen Darstellung der Mondoberfläche liefert die Photographie. Bereits im Jahre 1857 stellte Warren de la Rue eine Reihe vorzüglicher Mondphotographien her, von denen unter anderen eine Collection von 12 allerliebsten Phasenbildern durch Smith, Beck und Beck in London veröffentlicht wurde. Obgleich in diesen kleinen Bildern der Durchmesser des Mondes nur

4 $\frac{1}{2}$ cm beträgt, so sind doch einzelne Krater und Ringgebirge mit überraschender Schärfe und Deutlichkeit erkennbar. Von wissenschaftlichem Werthe können aber nur grössere Phasenbilder dieser Art sein, deren Warren de la Rue gleichfalls mehrere ausgeführt hat, von denen nur zu wünschen wäre, dass sie durch den Buchhandel leichter zugänglich gemacht würden.

Eine ganz ausgezeichnete Photographie des Mondes ist diejenige, welche Rutherford in New-York am 6. März 1865 drei Tage nach dem ersten Viertel aufnahm. Der Mond erscheint in diesem Bilde in einem Durchmesser von 53 cm; in ausgezeichneter Schärfe zeigt es die Ringgebirge in der Nähe der Lichtgrenze, so namentlich Plato, Archimedes, Aristippus und Autolykus, Eratosthenes, Copernicus, Ptolemäus, Alphons, Tycho und andere.

Der Durchmesser des Plato ist auf diesem Bilde 15 mm, der des Archimedes ist 12, der des Copernicus ist 14 mm lang. Der innere Flächenraum des Plato ist noch ganz dunkel, während das ihn umfassende Ringgebirge, namentlich aber der innere östliche Abfall desselben, hell erleuchtet ist. Copernicus liegt noch grösstentheils im Schatten, nur ein Theil des inneren östlichen Abhanges ist hell erleuchtet, weniger hell sind einige Partien der westlichen Wallhälfte. Jenseits der Lichtgrenze sind noch vielfach einzelne Lichtpunkte und Lichtstreifen sichtbar.

Von diesem schönen Mondbilde hat Photograph Vollenweider in Bern eine etwas verkleinerte, sehr gelungene photographische Copie gemacht (Monddurchmesser 39 cm), deren Verlag die Dalp'sche Buchhandlung (Schmid) in Bern übernommen hat.

Um eine Mondlandschaft aus photographischen Abbildungen genau kennen zu lernen, sind mehrere bei verschiedener Beleuchtung aufgenommene Bilder derselben nothwendig.

Astronomische Photographien können nur mit Hülfe eines grossen, parallaktisch aufgestellten und durch ein gleichförmig gehendes Uhrwerk gedrehten Fernrohrs gemacht werden. Schraubt man von einem solchen Instrumente das Ocular ab, so erhält man im Brennpunkte des achromatischen Objectivs ein Mondbild, dessen Durchmesser ungefähr $\frac{1}{120}$ von der Brennweite des Objectivs ist, welches also fast 2 $\frac{1}{2}$ cm Durchmesser hat, wenn die Brennweite des Objectivs 3 m beträgt. Ein gewöhnliches achromatisches Objectiv giebt keine ganz scharfe photographische Bilder. Für die Anfertigung scharfer Photographien ist es nothwendig, das Objectiv so zu berechnen, dass es ohne Berücksichtigung der optisch wirksamsten Strahlen möglichst gleiche Brennweite für die verschiedenen chemisch wirksamen Strahlen giebt.

Mit Hülfe eines solchen Objectivs wird nun zunächst ein negatives Glasbild hergestellt, welches so feine Details enthält, dass es eine namhafte Vergrösserung verträgt. — Ein solches negatives Original wird nun als Object in einen Apparat eingesetzt, welcher nach dem Principe

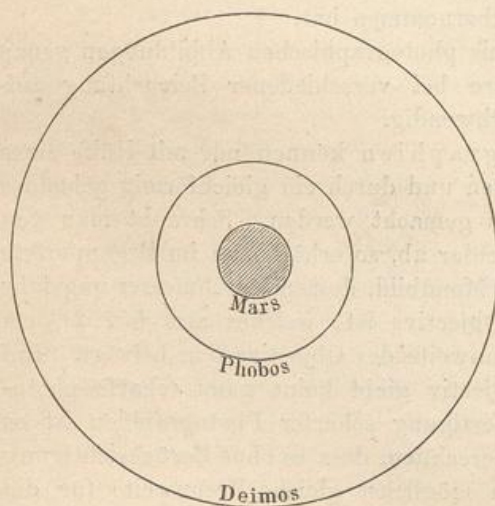
der Laterna magica in möglichster optischer Vollkommenheit construirt ist. Von Sonnenlicht oder von elektrischem Lichte beleuchtet, wird das kleine negative Mondbild mit 10- bis 14 maliger linearer Vergrößerung auf eine photographisch präparirte Glasplatte projicirt, auf welcher auf diese Weise ein grosses positives Bild erzeugt wird. — Von diesem grossen positiven Glasbilde wird nun zunächst wieder eine gleich grosse negative Copie hergestellt, welche dann in der gewöhnlichen Weise dient, um positive Copien auf Papier zu machen.

Mit Hülfe von Mondphotographien wird man vielleicht dereinst auch entscheiden können, ob auf der Mondoberfläche wirklich gegenwärtig noch Veränderungen vor sich gehen. Aeltere Beobachtungen, nach welchen noch thätige Vulcane auf dem Monde vorkommen sollen, scheinen auf Täuschungen zu beruhen.

Lohrmann, Beer und Mädler versichern, niemals eine wirkliche Veränderung auf der Mondscheibe beobachtet zu haben. Im October 1866 glaubte Schmidt in Athen die Wahrnehmung zu machen, dass der früher deutlich als ein sehr tiefer Krater wahrnehmbare Linné im mare serenitatis diese Kratergestalt gegenwärtig nicht mehr zeigt. Aehnliche Behauptungen sind auch seitdem von anderen Seiten aufgestellt, aber noch nicht unumstösslich bewiesen.

83 Die Trabanten des Mars. Bis zum Jahre 1877 waren die Astronomen der Ansicht, dass Mars zu den Planeten ohne Trabanten

Fig. 132.



gehöre, da selbst bei sehr günstigen Oppositionen stets vergeblich nach solchen gesucht worden war. Im August 1877 wurde aber von A. Hall in Washington, der den Planeten mit dem grossen Refractor der dortigen Marine Sternwarte untersuchte, die überall das grösste Aufsehen erregende Entdeckung gemacht, dass Mars von zwei Monden umkreist wird. Die Umstände für diese Entdeckung waren deshalb besonders günstig, weil der Planet sich der Erde besonders nahe befand, und das

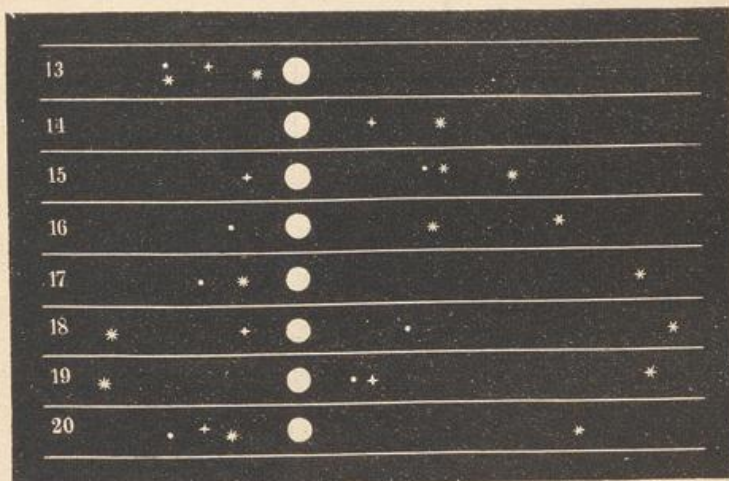
von Hall benutzte Fernrohr alle bis dahin gebauten an optischer Kraft übertraf. Seitdem hat man aber die Monde auch mit weit kleineren Instrumenten beobachten können, weil die Sichtbarkeit solcher kleinen Objecte erleichtert wird, wenn man ihren genäherten Ort schon kennt.

In Fig. 132 sind Mars und die Bahnen seiner beiden Monde, denen man die Namen Phobos und Deimos gegeben hat, im richtigen Verhältniss ihrer Grössen gezeichnet. Der Halbmesser des Mars beträgt 3385, und die mittleren Entfernungen der Monde vom Marsmittelpunkte resp. 9300 und 23 315 km. Die Monde sind in ihrer Helligkeit gleich Sternen der 12. Grösse, und nimmt man ihre lichtreflectirende Kraft gleich der des Mars an, so finden sich ihre Durchmesser zu höchstens 10 km.

Deimos bewegt sich in 30 Stunden 17 Minuten 54,4^s, Phobos in 7 Stunden 39 Minuten 13,9^s um den Hauptplaneten, und da die Zeit der Rotation dieses letzteren um seine Axe 24 Stunden 37 Minuten beträgt, so trifft hier der merkwürdige Fall ein, dass Phobos für einen Beobachter auf dem Mars im Westen aufgeht und im Osten untergeht.

Die Trabanten des Jupiter. Wenn man den Jupiter durch 84 ein Fernrohr von mässiger Vergrösserung betrachtet, so sieht man, dass

Fig. 133.



er von vier kleinen Sternchen begleitet ist, welche nahezu in einer geraden Linie aufgestellt erscheinen. Schon nach einigen Stunden lässt sich eine Veränderung in der gegenseitigen Stellung dieser Sternchen wahrnehmen. Fig. 133 stellt den Jupiter mit seinen Trabanten dar, wie er sich vom 13. bis 20. März 1872 Abends um 10 Uhr zeigte, und zwar bezeichnet das achtseitige Sternchen den 3., das sechseitige den 4., das Pünktchen den zweiten und das vierseitige Sternchen den 1. Trabanten. Am 14. März stand der 2. und 4. Trabant hinter dem Jupiter. Der 1. Trabant befand sich zu der bezeichneten Stunde am 16. gerade vor, am 17. gerade hinter dem Jupiter.

Aus einer genaueren Beobachtung der Jupitertrabanten ergibt sich nun, dass sie in Ellipsen von sehr geringer Excentricität um den Planeten

herumlaufen; die Ebene dieser Bahnen fällt beinahe mit der Ebene des Jupiteräquators zusammen und deshalb erscheinen sie uns fast ganz zur Linie verkürzt und wir sehen die einzelnen Trabanten in dieser Linie bald von Ost nach West und dann wieder von West nach Ost fortschreiten.

Am 9. September 1892 entdeckte Barnard auf der Sternwarte der Mount Hamilton einen fünften Jupitermond, welcher nur eine Umlaufzeit von $11^h 57^m 20^s$ hat, und bedeutend lichtschwächer ist, als die vier früher bekannten.

Die folgende Tabelle giebt die mittlere Entfernung der Jupitertrabanten vom Mittelpunkte des Planeten in Jupiterhalbmessern und Kilometern ausgedrückt nebst ihrer Umlaufzeit.

	Abstände		Umlaufzeit
	in Jupiterhalbmessern	in km	
1. Satellit	2,5	180 000	0,498 Tage
2. "	5,93	420 000	1,769 "
3. "	9,44	669 000	3,551 "
4. "	15,06	1 067 000	7,155 "
5. "	26,49	1 877 000	16,689 "

Man ersieht aus dieser Tabelle, dass die Jupitertrabanten ebenso wie die Trabanten der übrigen Planeten das dritte Kepler'sche Gesetz befolgen, dass sich nämlich die Quadrate ihrer Umlaufzeiten verhalten, wie die dritten Potenzen ihrer mittleren Abstände vom Jupiter. Ebenso befolgen sie auch die beiden ersten Kepler'schen Gesetze.

Fig. 134.

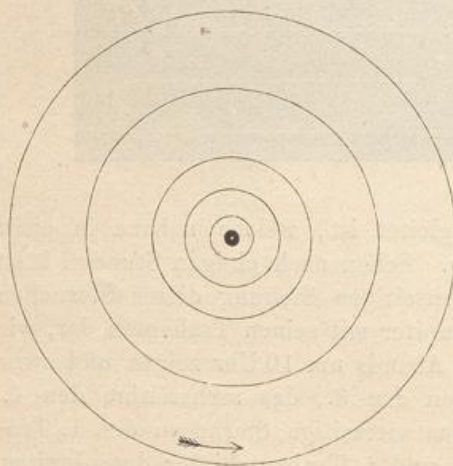


Fig. 134 stellt den Jupiter mit den Bahnen seiner Trabanten in richtigem Grössenverhältniss dar.

Von der Erde aus gesehen sind die mittleren scheinbaren Durchmesser der vier älteren Jupitermonde:

II. 1,0" IV. 1,5"
III. 0,9" V. 1,3",

die wahren Durchmesser sind:

II. 4070 km, IV. 5790 km,
III. 3430 " V. 4830 "

Das Ansehen dieser vier älteren Trabanten ist ungefähr das von Sternen sechster Grösse, man würde sie also wahrscheinlich mit blossen Auge wahrnehmen können, wenn sie nicht durch die Nähe ihres glänzenden Planeten unsichtbar blieben.

An den Bahnen der drei inneren Trabanten kann man keine Abweichung von der Kreisgestalt nachweisen, die Bahnen der beiden äusseren zeigen aber eine geringe Excentricität. Die Neigung der Bahnen gegen die Ebene der Jupiterbahn ist zwischen ein und zwei Graden.

Da der Durchmesser des Jupiter sehr gross ist und die Trabanten ihm verhältnissmässig sehr nahe stehen, da ferner die Neigung ihrer Bahn gegen die Bahn desselben sehr gering ist, so ereignet sich bei jedem Umlauf dieser Monde eine Sonnen- und eine Mondfinsterniss. Nur der fünfte geht manchmal über oder unter dem Jupiterschatten vorbei, sowie denn auch sein Schatten manchmal nördlich oder südlich vom Jupiter an demselben vorübergeht.

Mit guten Fernrohren sieht man den Schatten, welchen die vier grösseren Trabanten auf den Jupiter werfen, als einen schwarzen Punkt über denselben hingehen. Mit weit geringeren Instrumenten aber kann man schon das Verschwinden und Wiedererscheinen der Jupitertrabanten beobachten, wenn sie in den Schatten ihres Planeten ein- oder austreten.

Um diese interessante Erscheinung anschaulicher zu machen, ist in Fig. 135 und 136 (a. f. S.) dieselbe dargestellt, wie sie sich in den Monaten Juni und December des Jahres 1861 gezeigt hat.

Im Juni 1861, zwischen der am 10. Februar stattgefundenen Opposition und der am 30. August stattgefundenen Conjunction des Jupiter mit der Sonne lag der Schatten dieses Planeten von der Erde aus gesehen östlich von demselben; Ein- und Austritt der Trabanten in den Schatten des Jupiter konnte man also in dieser Zeit nur auf der Ostseite der Jupiterscheibe wahrnehmen.

Auf der jenseitigen Hälfte ihrer Bahn bewegen sich die Trabanten in der Richtung von West nach Ost, sie werden also am Westrande des Jupiter verschwinden. Der zweite Trabant tritt in den Schatten ein, während er sich noch hinter der Jupiterscheibe befindet und wird erst bei e (Nr. II, Fig. 135) wieder sichtbar, wenn er aus dem Schatten austritt.

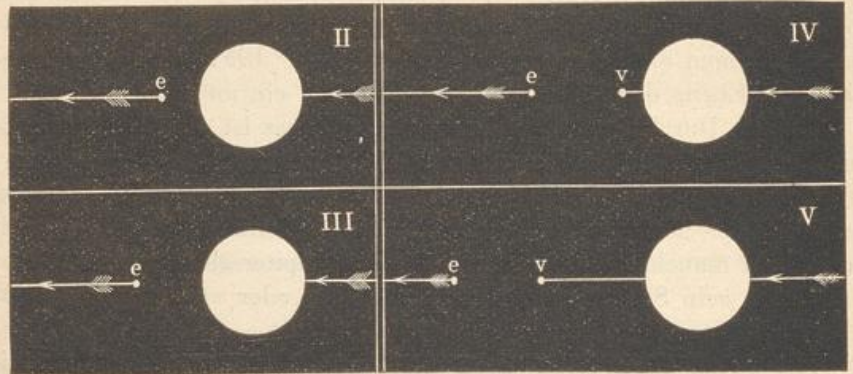
Für den dritten Trabant ist die Erscheinung ganz die gleiche, nur ist die Stelle e (Nr. III, Fig. 135), wo der Trabant wieder erscheint, etwas weiter vom Planeten entfernt.

Der vierte Trabant wird sogleich wieder sichtbar, wenn er am Ost- rande der Jupiterscheibe vortritt (Nr. IV, Fig. 135); erst bei v verschwindet er, in den Schatten eintretend, aus dem er bei e wieder austritt.

Auch für den fünften Trabanten kann man den Eintritt in den Schatten und den Austritt aus demselben beobachten, nur ist die Stelle des Verschwindens v und die Stelle des Wiedererscheinens bei e weiter vom Jupiter entfernt, als für den vierten Trabanten, wie Fig. 135, Nr. V, zeigt.

Je mehr Jupiter sich der Conjunction mit der Sonne nähert, desto mehr verkürzt sich, von der Erde aus gesehen, der Schatten desselben, desto näher rücken also auch die Stellen des Verschwindens und Wieder-

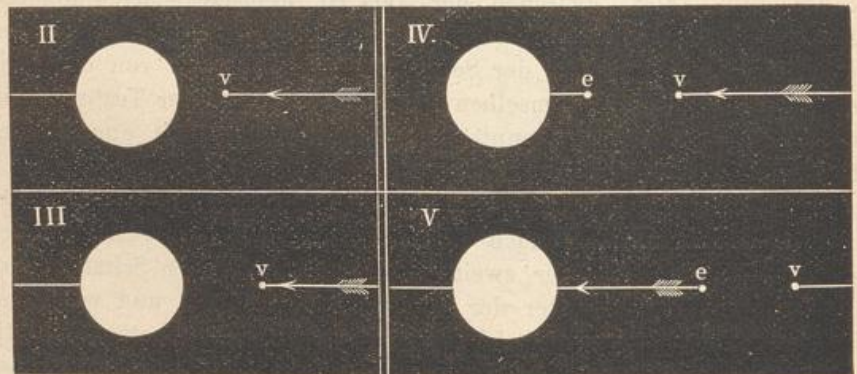
Fig. 135.



erscheinens der Trabanten der Jupiterscheibe; so war denn für den vierten Trabanten im Juli 1861 der Eintritt in den Schatten nicht mehr sichtbar.

Nach der Conjunction liegt der Schatten des Jupiter, von der Erde aus gesehen, auf der Westseite des Planeten; die Trabanten werden also

Fig. 136.



auf der Westseite der Jupiterscheibe im Schatten verschwinden, ehe sie den Westrand des Planeten erreichen, wie dies Fig. 136 erläutert, welche die Erscheinung für den December 1861 darstellt.

In der Zeit von $4 \text{ } \circlearrowleft \text{ } \odot$ bis $4 \text{ } \circlearrowright \text{ } \odot$ kann man von der Erde aus alle Eintritte der Trabanten in den Jupiterschatten, von $4 \text{ } \circlearrowright \text{ } \odot$ bis $4 \text{ } \circlearrowleft \text{ } \odot$ dagegen alle Austritte der Monde aus diesem Schatten wahrnehmen. Da die Verfinsterungen der Jupitertrabanten sehr häufig vorkommen, so können sie sehr gut als himmlische Signale für Längenbestimmungen auf der Erde benutzt werden. Manche astronomischen

Ephemeriden, z. B. der Englische Nautical Almanac, enthalten die vorausberechneten Momente der von der Erde aus sichtbaren Ein- und Ausgänge der Jupitertrabanten nach der Zeit des Meridians der Sternwarte, auf welche sich die Ephemeriden beziehen.

Durch die sorgfältige Beobachtung der Verfinsterungen der Jupitertrabanten gelang es dem dänischen Astronomen Römer im Jahre 1765, die Geschwindigkeit des Lichtes zu messen. Es wird davon im folgenden Buche ausführlicher die Rede sein.

Die Trabanten der äussersten Planeten. Sowohl Saturn 85 als auch Uranus sind von Satelliten umkreist, und man hat auch bereits einen Trabanten des Neptun entdeckt.

Die Trabanten des Saturn sind weit schwieriger sichtbar als die vier grösseren Jupitermonde. Während letztere sogleich nach Erfindung der Fernrohre entdeckt wurden, wurde der hellste der Saturntrabanten erst im Jahre 1655 von Huyghens aufgefunden.

Bis jetzt kennt man acht Saturntrabanten. Der von Huyghens entdeckte ist, vom Saturn an gerechnet, der sechste. Cassini entdeckte den siebenten, fünften, vierten und dritten von 1671 bis 1687. Den ersten und zweiten entdeckte Herschel mit seinem Riesenteleskope in den Jahren 1788 und 1789.

Nur der sechste Trabant (dessen Abstand vom Saturn 20,5 Halbmesser dieses Planeten und dessen Umlaufszeit 15,9 Tage beträgt) ist ziemlich leicht sichtbar; die übrigen können nur durch Fernrohre von starker optischer Kraft wahrgenommen werden. Die beiden innersten Trabanten wurden erst lange Zeit nach ihrer Entdeckung durch Herschel wieder von Anderen gesehen, und zwar der zweite von Lamont im Sommer 1836, der erste von den Astronomen des Collegio Romano im Juni 1838. Die Entfernung des ersten Trabanten vom Mittelpunkte des Saturn beträgt 3,11, die des zweiten beträgt 3,99 Halbmesser des Saturn.

Der achte Mond des Saturn wurde im Jahre 1848 fast gleichzeitig von Bond in Nordamerika und von Lassel in England beobachtet. Seine Entfernung vom Mittelpunkte des Saturn beträgt 59,6 Halbmesser des letzteren.

Während die Bahnebenen der übrigen Saturntrabanten nicht stark von der Ebene des Ringes abweichen, beträgt die mittlere Neigung der Bahn des siebenten Trabanten gegen die Ringebene über 21 Grad.

Da Uranus selbst nur ein teleskopischer Planet ist, so ist wohl begreiflich, dass seine Satelliten sehr schwer sichtbar sind. Es sind bis jetzt vier Satelliten aufgefunden worden, deren mittlere Entfernungen vom Centrum des Uranus resp. 7,7, 10,8, 17,6 und 23,6 Uranushalbmesser betragen. Dieselben haben die Eigenthümlichkeit, dass ihre Bahnebenen beinahe senkrecht gegen die Uranusbahn stehen, woraus man, da bei den anderen Planeten die Bahnebenen der Satelliten sehr nahe mit der

Ebene des Aequators der Planeten zusammenfallen, schliessen kann, dass auch der Aequator des Uranus nahezu senkrecht gegen die Bahnebene steht. Die Richtung der Bewegung der Satelliten ist sogar in geringem Grade rückläufig, so dass die von dem Hauptplaneten aus gesehenen Längen derselben abnehmen, was mit Ausnahme der Kometen und des gleich zu erwähnenden Trabanten des Neptun bei keinem anderen Körper des Sonnensystems der Fall ist.

Bis jetzt ist erst ein Trabant des Neptun beobachtet worden, der eine Umlaufzeit von ungefähr 5,9 Tagen hat. Seine mittlere Entfernung vom Neptun ist 14,54 Neptunhalbmesser, und seine Bahnebene 35° gegen die Ekliptik geneigt. Er ist ebenfalls rückläufig, und demnach vermuthlich auch die Axendrehung des Neptun selbst.