

er mit Erde und Sonne eine gerade Linie bildet (also zu derselben Conjunction), verzögert sich um mehr als zwei Tage; denn die Erde ist inzwischen etwa um den 13ten Theil ihrer eigenen Bahn fortgerückt und die Richtungslinie von der Erde zur Sonne ist eine ganz andere geworden. Der Mond muss also, nach Vollendung eines periodischen Umlaufs, noch einen beträchtlichen Bogen (von etwa 29 Graden) zurücklegen, um in die solchergestalt veränderte Richtungslinie zu gelangen.

(Fig. 45.) Die Erde stehe in T , der Mond in m , und die Sonne (400mal weiter entfernt) nach derselben Richtung hin, der Mond mache einen periodischen Umlauf, während die Erde von T nach T' rückt, so wird er in m' stehen, wenn man $T'm'$ mit Tm parallel zieht, allein $T'm'$ ist jetzt nicht mehr die Richtung zur Sonne. Um diese zu erreichen, muss der Mond (während die Erde bis T'' fortläuft) in seiner Bahn um die Erde den Bogen $m'm''$ zurücklegen, und dies wird sich bei jedem Umlauf wiederholen. Der synodische Umlauf ist also länger als der periodische, und zwar um die Zeit, welche der Bogen $m'm''$ erfordert. Der mittlere synodische Umlauf beträgt 29 T. 12^h 44' 2'',9, und dies bezeichnen wir durch t'' .

Wenn man die Umlaufszeit der Erde um die Sonne kennt, so lässt sich aus dem beobachteten synodischen Umlaufe der tropische ableiten; und kennt man die Vorrückung der Nachtgleichen, so ergiebt sich auf ganz ähnliche Weise aus dem tropischen Umlaufe der wahre (siderische). So verfuhr man bereits im Alterthume, denn die für alle Lebensverhältnisse wichtigen, ja unentbehrlichen Perioden des Erd- und Mondlaufs waren Gegenstand der allerfrühesten Beobachtungen für alle Völker. An sie knüpfte sich die Zeitrechnung; durch sie allein ward es möglich, Ordnung und Uebereinstimmung in alle Verrichtungen zu bringen, sie waren die Grundlage historischer Ueberlieferungen, und die von ihnen abhängenden astronomischen Momente, besonders die Finsternisse, leiten jetzt den Alterthumsforscher sicherer durch das chronologische Dunkel der Vorzeit, als es Hunderte von hohlen und nichtsagenden Königsnamen jemals vermochten. Die Entwicklung des Menschengeschlechts wäre eine von der jetzigen ganz verschiedene geworden, hätte die Erde keinen Mond erhalten.

§. 96.

Die oben mit t , t' und t'' bezeichneten Perioden beziehen

sich sämmtlich
die gege
Ursachen
Mondlauf
erste dies
bahn, verk
nähe (Pe
ist, so das
den ganz
direkte, a
der Mond
als er geb
Man nenn
und sie
unten die
lernen.

Die
änderliche
2841 Meil
grösste E
kleinste 4
warte Gr
mittlere E
dern (als
und der v

Hier
Winkelbe
seine Mit
indess we
mittleren

Die
5° 8'49"
5° 0' sink
dieser Ba
unterworf
und zwar
Beziehung
Daraus fo
hat, um v
also der
genannt h
zeichnet.

Nähe
noch das

sich sämmtlich nur auf den mittleren Zustand, wie er für die gegenwärtige Zeit stattfindet, da eine Menge von Ursachen dazu beitragen, sie sämmtlich veränderlich und den Mondlauf zu einem äusserst verwickelten zu machen. Die erste dieser Ursachen ist die elliptische Form der Mondbahn, verbunden mit dem Umstande, dass der Ort der Erdnähe (Perigäum) selbst und zwar sehr rasch veränderlich ist, so dass er schon in 8 Jahren 310 T. $13^h 48' 53''$ um den ganzen Himmel herumläuft. Die Bewegung ist eine direkte, also im Sinne der Mondbahn selbst, deshalb braucht der Mond längere Zeit, sein Perigäum wieder zu erreichen, als er gebraucht, um seinen siderischen Umlauf zu vollenden. Man nennt diese Zeit (t'''') den anomalistischen Umlauf und sie beträgt 27 T. $13^h 18' 37''{,}4$; wir werden weiter unten die Ursache dieser Erscheinung im Allgemeinen kennen lernen.

Die Excentricität der Mondbahn (gleichfalls eine veränderliche) beträgt 0,0548442 der halben grossen Axe oder 2841 Meilen; woraus man, abgesehen von den Störungen, die grösste Entfernung des Mondes von der Erde 54644, die kleinste 48961 Meilen findet. Nach zahlreichen auf der Sternwarte Greenwich angestellten neueren Beobachtungen wäre die mittlere Entfernung des Mondes um 40 Meilen zu vermindern (also 51762 M.), sein scheinbarer Halbmesser um $2''{,}7$ und der wirkliche um nahezu $\frac{1}{2}$ Meile zu vermehren.

Hieraus folgt nach den bekannten Gesetzen eine ungleiche Winkelbewegung des Mondes in seiner Bahn, und man findet seine Mittelpunktsgleichung $6^{\circ} 17' 12''{,}7$. Wir werden indess weiterhin sehen, dass der wahre Ort des Mondes vom mittleren sich noch beträchtlich weiter entfernen kann.

Die Neigung der Mondbahn gegen die Ekliptik beträgt $5^{\circ} 8' 49''$ und ist gleichfalls veränderlich. Sie kann bis zu $5^{\circ} 0'$ sinken und auf $5^{\circ} 18'$ steigen. Der Durchschnittspunkt dieser Bahn mit der Ekliptik ist einer raschen Veränderung unterworfen; er geht innerhalb 18 Jahren 218 T. $21^h 22' 46''$, und zwar gegen die Ordnung der Zeichen, also retrograd in Beziehung auf die Mond- und Erdbahn, um den Himmel herum. Daraus folgt, dass der Mond nicht volle 360° zu durchlaufen hat, um wieder zum aufsteigenden Knoten zu gelangen, dass also der draconitische Umlauf, wie man diese Periode genannt hat, nur 27 T. $5^h 5' 36''{,}0$ währt; er sei mit t'''' bezeichnet.

Näher betrachtet, ist weder das Vorrücken des Perigäums, noch das Rückwärtsgen des Knoten constant, beide Bewe-

gungen können vielmehr sowohl retrograd als direct sein und sind es wirklich während jedes Mondumlaufes. Die angeführten Perioden sind nur mittlere Resultate, welche dadurch entstehen, dass beim Perigäum die directe, bei den Knoten die retrograde Bewegung überwiegt, wenn man den Lauf im Ganzen betrachtet.

Die vorstehend angeführten Werthe, nämlich

t	= 27 ^t	7 ^h	43'	11'',5
t'	= 27	7	43	4,7
t''	= 29	12	44	2,9
t'''	= 27	13	18	37,4
t''''	= 27	5	5	36,0

gelten auch als Mittelwerthe nur für die gegenwärtige Zeit (1848) und sind Veränderungen unterworfen, die aber Perioden von vielen Jahrtausenden umfassen und welche erst eine sehr späte Zukunft nach aller Schärfe bestimmen wird. Diese Veränderungen sind indess so klein, dass sie unmerklich bleiben würden, wenn wir nicht Beobachtungen, die aus dem griechischen und babylonischen Alterthum datiren, mit den unsrigen vergleichen könnten. Seit den frühesten auf uns gelangten Finsterniss-Beobachtungen der Chaldäer hat der Mond gegen 30000 Umläufe vollendet, mithin können Veränderungen, die für jeden einzelnen Umlauf nur Bruchtheile von Sekunden betragen, für den ganzen vorliegenden Zeitraum zu mehreren Stunden anwachsen. Man kannte die hieraus entstehenden Abweichungen schon seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts, aber erst *Laplace* gelang es, die Ursache aufzufinden und zugleich die Quantität genau zu ermitteln. Bezeichnet man die Verbesserungen, welche man an die jetzigen Werthe von $t, t' \dots$ anbringen muss, um die vor 2000 Jahren gültigen aus ihnen zu erhalten, mit $\Delta t, \Delta t' \dots$ so findet sich:

Δt	= + 0'',56
$\Delta t'$	= + 0,56
$\Delta t''$	= + 0,61
$\Delta t'''$	= + 0,57
$\Delta t''''$	= + 0,55

Die Perioden waren also sämmtlich etwas länger, und hiermit hängt zugleich nothwendig eine grössere Entfernung

des Mondes
die Rechn
grössern A
also der
rascher als

Die a
die auf Er
wirkt. O
um einige
ihr zugleich
sich ferner
der Mond n
hingegen,
Schon *Ptol*
heit mit d
wie er oh
verändern.
seiner Bah
nur auf V
den sie no
Entdeckun
einer Ver
macht sich
d. h. denje
Viertel, le
liegen. Si
nicht halb

Der I
samer als
Verzögerun
näher kom
wird; sie
nicht der

Damit
weitem ni
Mondstheor
Ungleiche
Genauigkei
rechnen m
Länge, and
um die Re
entworfen,
Zahlen dar
auf eine gr

Mädler, P

des Mondes zusammen, die aber durchaus unmerklich ist, denn die Rechnung ergiebt für jene Zeit nur einen um 180 Fuss grössern Abstand des Mondes als gegenwärtig. Sonach wird also der Mond in den nächsten Jahrtausenden noch etwas rascher als jetzt umlaufen, bis die Periode ihr Ziel erreicht hat.

Die allgemeine Quelle dieser Veränderungen ist die Sonne, die auf Erde und Mond zugleich, aber nicht völlig gleich viel wirkt. Ohne diese Miteinwirkung der Sonne würde der Mond um einige Stunden rascher als jetzt um die Erde laufen und ihr zugleich einige hundert Meilen näher rücken. Es findet sich ferner, dass der Lauf des Mondes langsamer wird, wenn der Mond mit Erde und Sonne in gerader Linie steht, schneller hingegen, wenn er mit ihnen einen rechten Winkel macht. Schon *Ptolemäus* bemerkte dies und bezeichnete diese Ungleichheit mit dem Namen *Evection*. Sie kann den Ort des Mondes, wie er ohnedem stattfinden würde, um mehr als einen Grad verändern. Hätten die Alten den Mond auch in andern Punkten seiner Bahn sorgfältig beobachtet (sie beschränkten sich fast nur auf Voll- und Neumond, d. h. Sonnenfinsternisse), so würden sie noch eine zweite Ungleichheit gefunden haben, deren Entdeckung *Tycho de Brahe* gebührt. Sie besteht gleichfalls in einer Verlangsamung und resp. Beschleunigung des Laufes, macht sich aber am merklichsten in den sogenannten Octanten d. h. denjenigen Punkten, die zwischen Vollmond und letztem Viertel, letztem Viertel und Neumond u. s. w. in der Mitte liegen. Sie führt den Namen der *Variation*, ist indess noch nicht halb so stark als die *Evection*.

Der Lauf des Mondes ist ferner im Winter etwas langsamer als im Sommer, oder genauer gesprochen, es tritt eine Verzögerung des Mondlaufs ein, wenn die Erde der Sonne näher kommt und folglich die Wirkung des letztern stärker wird; sie heisst die jährliche Gleichung, da ihre Periode nicht der Mondsumlauf, sondern das Jahr der Erde ist.

Damit aber sind die Ungleichheiten des Mondlaufs bei weitem nicht erschöpft. In der neuesten und gründlichsten Mondtheorie von *Hansen* kommen mehrere hundert verschiedene Ungleichheiten vor, die man, wo es sich um die äusserste Genauigkeit handelt, sämmtlich einzeln für jeden Mondort berechnen muss. Die meisten betreffen den Ort des Mondes in Länge, andre die Breite und Entfernung desselben. Man hat, um die Rechnungen möglichst zu erleichtern, Mondstafeln entworfen, in denen alles auf feste Perioden gebracht und in Zahlen dargestellt ist. *Tobias Mayer* lieferte die ersten, welche auf eine gründliche Theorie basirt waren: später haben *Maison*

Bürg, Burckhardt und *Damoiseau* vollkommener und ausführlichere geliefert: die Ausgabe neuer, nach *Hansens* Theorie von ihm selbst berechneter, ist vor Kurzem erfolgt.

§. 97.

Es fragt sich nun, auf welche Weise die Sonne alle diese Veränderungen und Ungleichheiten bewirke. (Allerdings haben auch die Planeten einigen Einfluss darauf, doch ist dieser nur bei Jupiter und Venus noch einigermaßen zu berücksichtigen, bei allen übrigen kann man ihn Null setzen). Erinnern wir uns, dass die Kraft, mit welcher die Sonne Körper anzieht, sich umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung verhält, also z. B. 4 mal schwächer ist, wenn der angezogene Körper doppelt so weit entfernt ist. Stehen nun Erde, Sonne und Mond in gerader Linie, entweder in der Ordnung *SEM* oder in der *SME*, so wird im ersten Falle die Erde stärker als der Mond, in letzterem der Mond stärker als die Erde angezogen, in beiden Fällen aber die Distanz zwischen Erde und Mond dadurch vergrößert und folglich die Kraft, mit welcher die Erde auf den Mond wirken kann, vermindert, so wie die Bewegung des letztern verlangsamt. Wenn dagegen Mond, Erde und Sonne einen rechten Winkel bilden, der Abstand beider Körper von der Sonne also beiläufig gleich ist, so ist zwar die Kraft selbst, mit welcher die Sonne sie anzieht, nicht verschieden, wohl aber die Richtung der Anziehung. Beide Richtungen convergiren nämlich zur Sonne, woraus folgt, dass Mond und Erde einander etwas genähert, die Wirkung beider aufeinander verstärkt, und die Bewegung des einen um die andere beschleunigt wird. Auf diese Weise erklärt sich die Evection.

Man könnte sich nun vorstellen, dass diese wechselweise Verzögerung und Beschleunigung zwar Ungleichheiten in den einzelnen Punkten der Bahn veranlasse, im Ganzen aber sich ausgleiche und dass hiernach der volle Umlauf selbst unverändert derselbe bleibe. Dem ist jedoch nicht so, wie eine nähere Betrachtung ergeben wird.

Die Entfernung des Mondes von der Erde ist $\frac{1}{400}$ der Entfernung von der Sonne; die Distanzen sind also für die drei zu vergleichenden Punkte: Vollmond, Erde, Neumond, die folgenden:

$$1 \frac{1}{400}; \quad 1; \quad \frac{399}{400}$$

oder in Decimalbrüchen:

$$1,00250; \quad 1; \quad 0,99750$$

woraus si
für diese

Der
der Gesa
Erde, im
sammtanz
mond =

Betr
(erstes u
ziehung o
Maasse er
MS und
wird folg
die Hälfte
im Voll-
entgegeng
Theil, u
(wie ober
und lang
würde.

Dies
ziehung
 $\frac{1}{400} m$ c
müssen e
Nun stel
 m ist als
am merk
im Anfan
sieht hier
liche G
die Bah
stärker h

Die
ten der
und also
scheint
doch au
lipsen, v
tricität
kommt,
des in d
desselbe