

Die Bewegung des Mondes

U. Backhaus, Universität Duisburg-Essen

„Vortragsmanuskript“

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Beobachtbare Phänomene	3
2.1	Die tägliche Bewegung des Mondes	3
2.2	Die synodische Bewegung	3
2.3	Die siderische Bewegung	3
2.4	Finsternisse	5
2.5	Verfeinerungen	5
3	Die Beschreibung der Mondbewegung	7
3.1	geozentrische Beschreibung	7
3.2	heliozentrische Beschreibung	8
4	Die parallaktische Bewegung	9
5	Die Libration des Mondes	11
6	Libration und Zeitgleichung	13
7	Schluss	14
	Literatur	16
	Anhang: Fragen zur Mondbewegung (nach Keller)	17

1 Einleitung

- Sie werden sich bei dem Thema dieses Vortrages vielleicht gefragt haben, was es dazu überhaupt zu berichten gibt: Wichtig an der Bewegung des Mondes sind die Mondphasen und die Finsternisse, und beides ist wohlbekannt und wird auch im Schulunterricht der Sekundarstufe I standardmäßig behandelt.
- Die Entstehung der Mondphasen wird zum Beispiel anhand des folgenden typischen Bildes behandelt (Abb. 1), das den Zusammenhang zwischen Mondumlauf um die Erde und der Phasengestalt des Mondes erklären soll.
- Offensichtlich erreicht jedoch dieses Diagramm die Lernenden nicht:

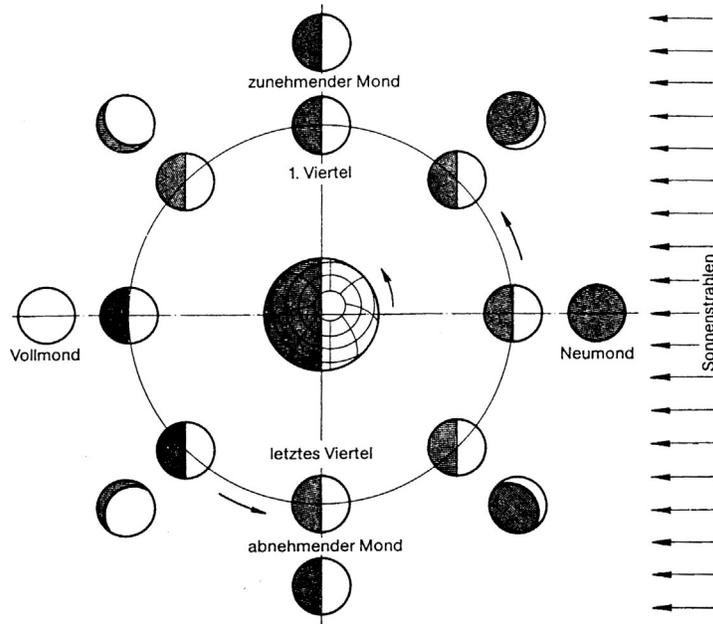


Abbildung 1: Typisches Bild zur Erklärung der Entstehung der Mondphasen (aus [11])

- Immer wieder werden die Phasengestalten damit erklärt, dass der Erdschatten auf den Mond falle.
- Kaum jemand kann etwas über die verschiedenen Sichtbarkeitszeiten des Mondes während seines Umlaufes sagen.
- Die von Keller ([8], siehe Anhang) gestellten Fragen nach der Richtigkeit der folgenden Aussagen über die Mondphasen bleiben in der Regel unbeantwortet.
- Meines Erachtens hat dieses Scheitern insbesondere die folgenden Ursachen:
 - Das Bild erklärt Vorgänge, die als Phänomene noch gar nicht wahrgenommen worden sind.
 - Zur Erklärung der Phänomene muss es auf drei Dimensionen erweitert werden.
 - Es erfordert einen ständigen Standortwechsel, bzw. eine Koordinatentransformation – ein Sich-Versetzen auf die rotierende Erde.
- Ich möchte Sie mit diesem Vortrag
 - erinnern an die Phänomene, die man auf einfachste Weise am Mond beobachten kann,
 - erinnern an die geozentrische und heliozentrische Beschreibung dieser Vorgänge,
 - aufmerksam machen auf zusätzliche Phänomene, die man bei genauerem Hinsehen bemerken kann, und Erklärungen dafür anbieten.
 - Schließlich möchte ich Ihnen einen vertieften Einblick in den Zusammenhang zwischen der Bewegung der Erde um die Sonne und dem Umlauf des Mondes um die Erde geben, indem ich die Analogie zwischen Zeitgleichung und Mondlibration aufzeige.

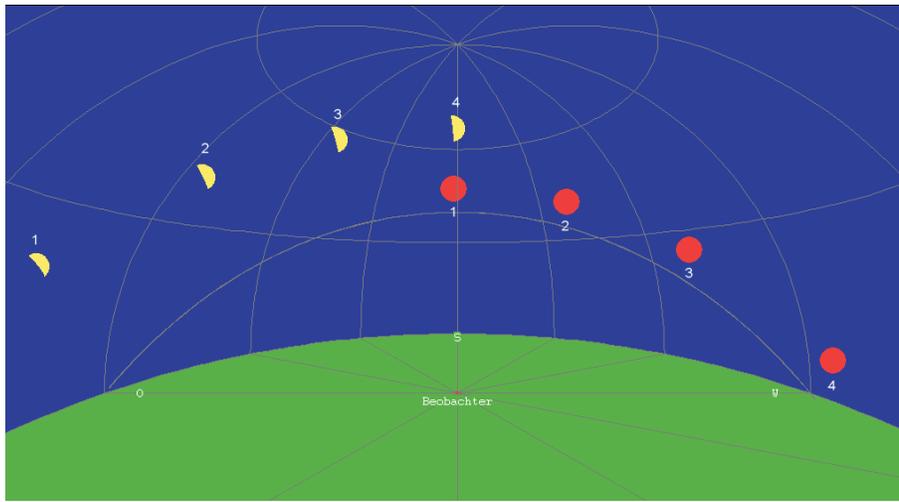


Abbildung 2: Sonne und Mond laufen im Laufe eines Tages gemeinsam über den Himmel.

2 Beobachtbare Phänomene

2.1 Die tägliche Bewegung des Mondes

- Der Mond geht, wie die Sonne und die Sterne, im Osten auf und im Westen unter (Abb. 2). Er erreicht seine größte Höhe über dem Horizont im Süden.
- Die Auf- und Untergangszeiten verschieben sich ständig während eines Monats.
- Die Kulminationshöhe variiert im Laufe eines Monats (und eines Jahres) stark.

2.2 Die synodische Bewegung

- Wenn man den Mond mehrere Tage hindurch jeweils kurz nach Sonnenuntergang (bzw. kurz vor Sonnenaufgang) beobachtet, dann bemerkt man eine auffällige Positionsveränderung (s. Abb. 3): Der Mond wandert von West nach Ost von der Sonne fort (bzw. auf sie zu). Nach etwa 29,5 Tagen hat der Mond wieder dieselbe Stellung relativ zur Sonne (synodische Umlaufzeit, synodischer Monat).
- Simultan zu dieser Positionsveränderung relativ zur Sonne, zur synodischen Bewegung des Mondes also, und in eindeutigem Zusammenhang mit ihr verändert sich die Phasengestalt des Mondes.
- Diese synodische Bewegung ist die Ursache für die sich mit der Phasengestalt ändernden Auf- und Untergangszeiten des Mondes.

2.3 Die siderische Bewegung

- Im Laufe eines Abends verschiebt sich der Mond deutlich relativ zu den Sternen (s. Abb. 4). Besonders einfach zu beobachten ist diese Positionsveränderung, wenn der Mond nahe an einem hellen Stern (z.B. an Aldebaran oder Regulus oder an den Plejaden) vorbeigeht.

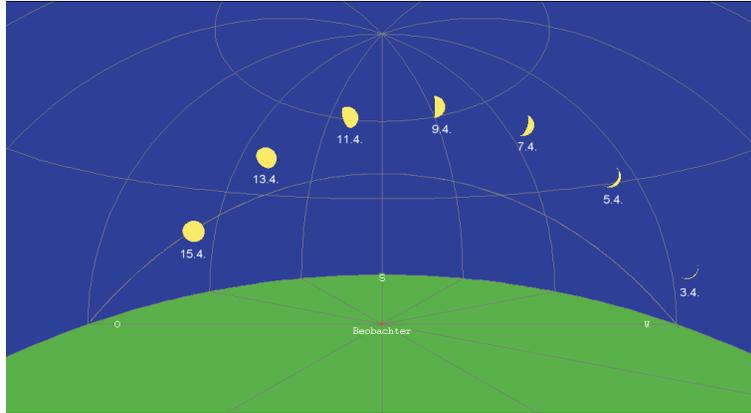


Abbildung 3: Position und Phase des zunehmenden Mondes, aufgezeichnet im Abstand von zwei Tagen jeweils um dieselbe Uhrzeit kurz nach Sonnenuntergang

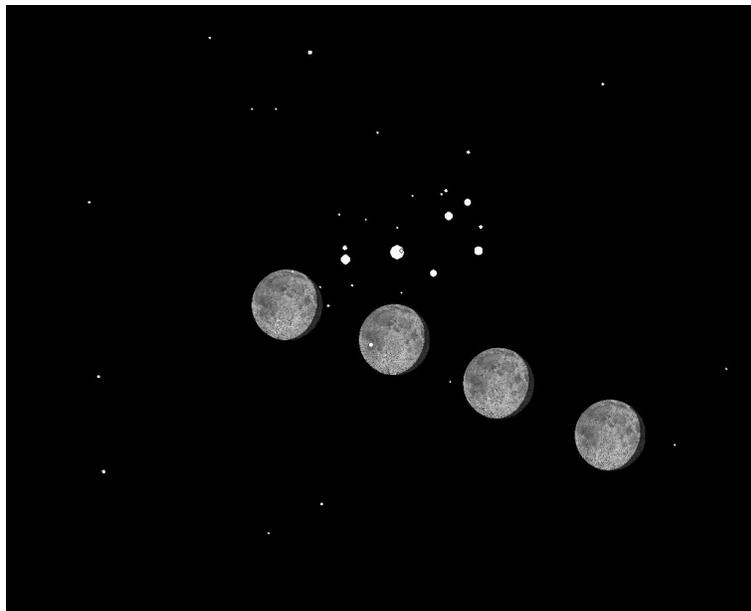


Abbildung 4: Siderische Bewegung des Mondes in der Nähe der Plejaden, „fotografiert“ im Abstand von zwei Stunden (erstellt mit Guide)

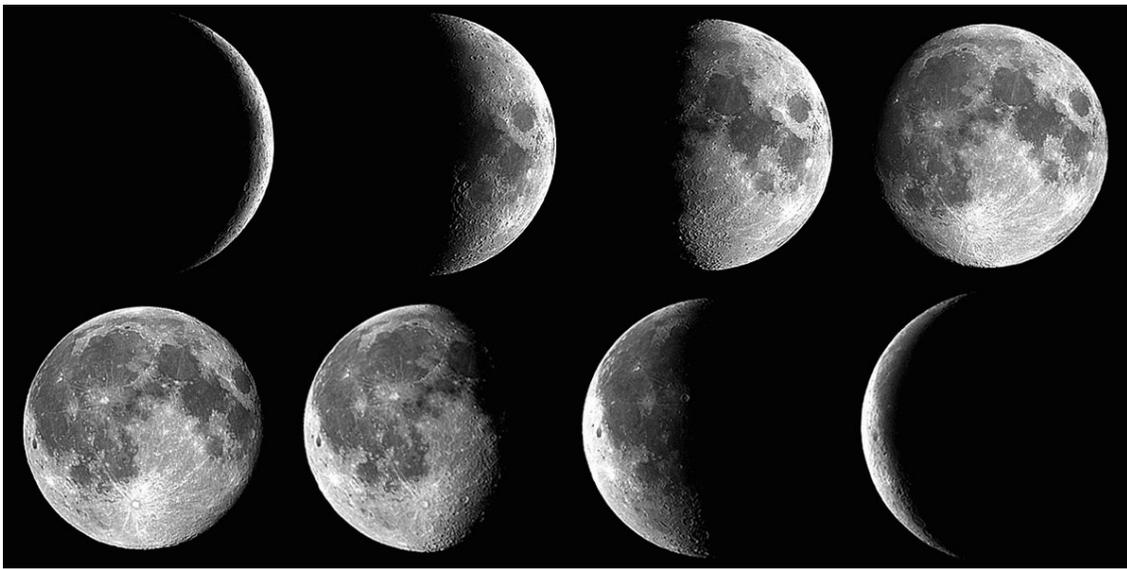


Abbildung 5: Trotz Phasenveränderung zeigt uns der Mond immer dasselbe „Gesicht“.

- Die Zeit zwischen zwei Begegnungen mit demselben Stern beträgt etwa 27.5 Tage (siderische Umlaufzeit, siderischer Monat).

2.4 Finsternisse

Die Finsternisse sind, zumindest theoretisch, am bekanntesten, obwohl sie mit Abstand am seltensten zu beobachten sind. Ich sage deshalb heute dazu nichts.

2.5 Verfeinerungen

Bei genauerem und geduldigerem Hinsehen und Messen sind darüberhinaus weitere Phänomene zu bemerken:

- Der Mond zeigt uns immer dasselbe „Gesicht“ (s. Abb. 5).
- Seine Geschwindigkeit relativ zu den Sternen ändert sich im Laufe eines Monats.
- Simultan dazu ändert sich seine scheinbare Größe, d.h. sein Winkeldurchmesser, im Laufe eines Monats um bis zu 12% ($\frac{1+e}{1-e}$, $e = 0.055$) (s. Abb. 9): Die Mondscheibe ist besonders groß, wenn sich der Mond besonders schnell bewegt, und umgekehrt.
- Langfristig verändert sich, mit einer Periode von 18.6 Jahren, die Bahn des Mondes über den Sternenhimmel.
- Von verschiedenen Beobachtungsorten aus hat der Mond unterschiedliche Positionen am Sternenhimmel (Parallaxe, s. Abb. 6).
- Die Geschwindigkeit des Mondes oszilliert im Rhythmus eines Tages (s. Abb. 7¹: parallaktische Bewegung).

¹Das Bild wurde berechnet mit dem Programm `Mondparallaxe.exe`. Es kann von meiner Homepage (<http://didaktik.physik.uni-essen.de/~backhaus/publicat.htm>) heruntergeladen werden.

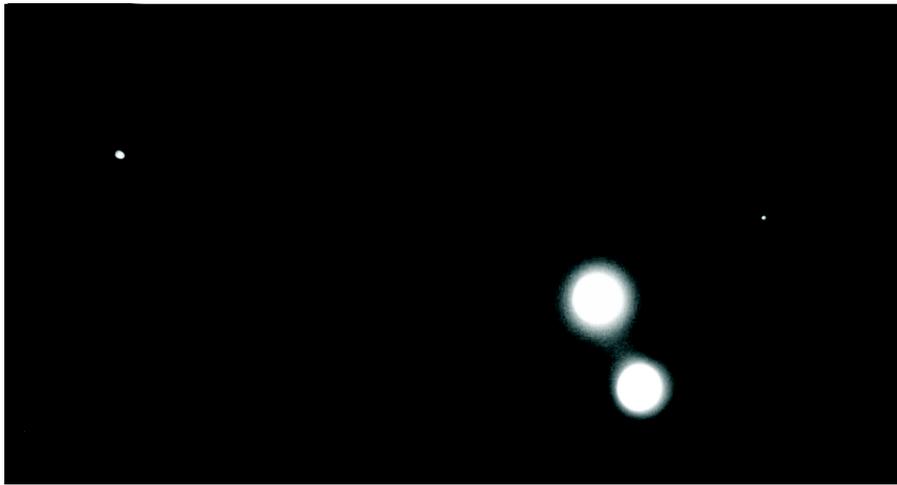


Abbildung 6: Der Mond zwischen Jupiter und Saturn, gleichzeitig fotografiert von Namibia und Deutschland aus

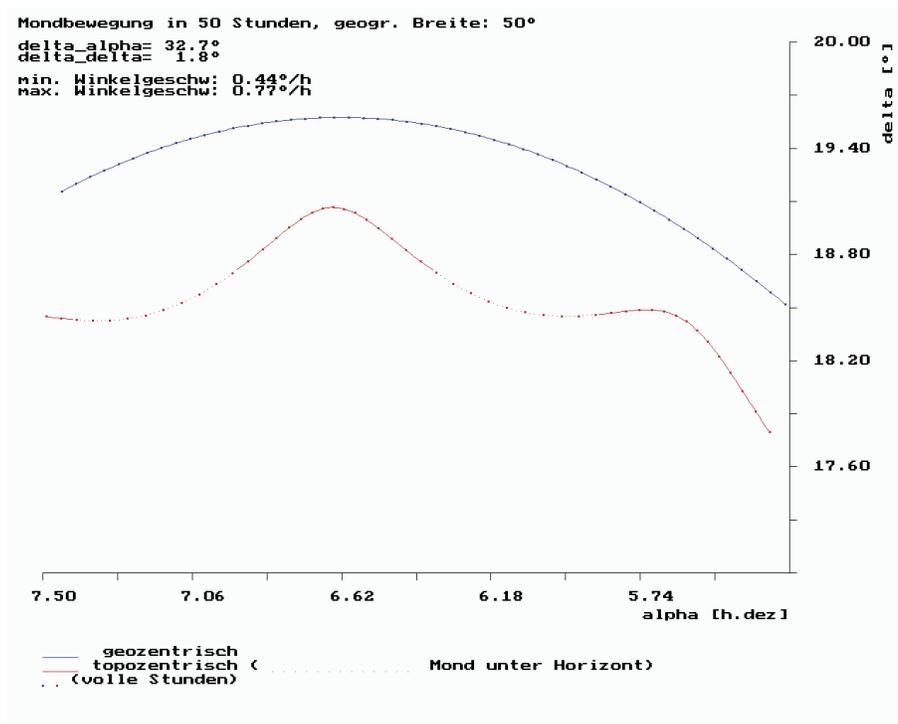


Abbildung 7: Die Bewegung des Mondes im Laufe von 50 Stunden. Die von Essen ($\varphi = 50^\circ$) aus tatsächlich zu beobachtende Bewegung (rot) wird mit der fiktiven (blau), auf den Erdmittelpunkt bezogenen, verglichen.

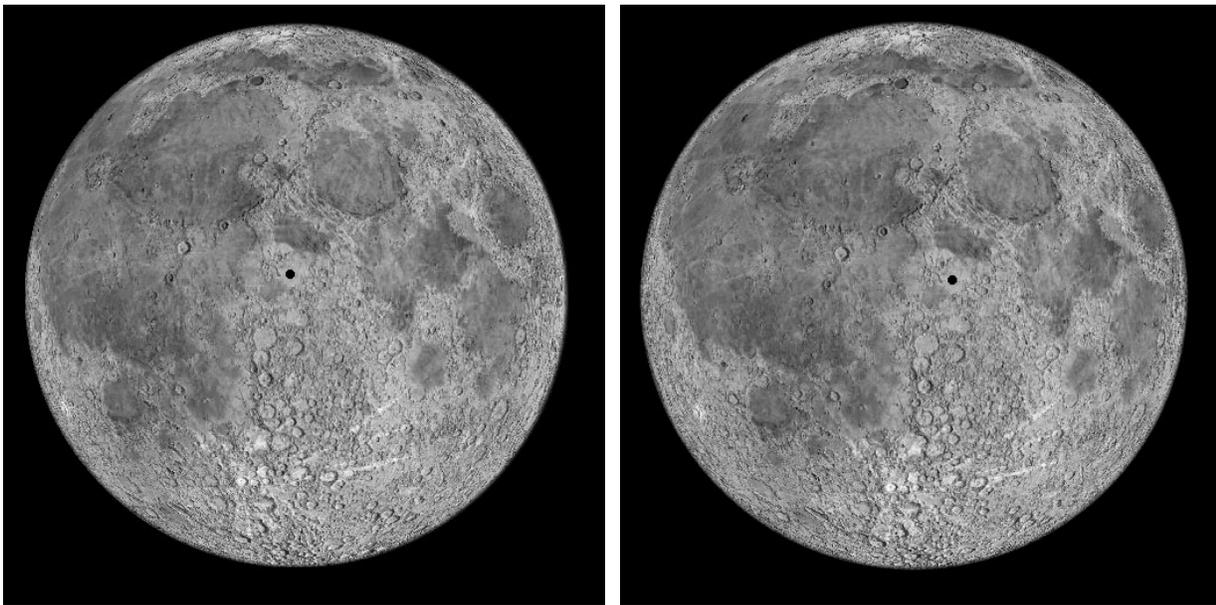


Abbildung 8: Libration in Länge: Ansicht des Vollmondes am 8.10.1995 (links) und am 3.4.1996 (rechts). Die Libration ist am Mare Crisium (kreisrundes Mar am rechten Mondrand) besonders gut zu erkennen. Schwarz hervorgehoben ist zusätzlich der Krater Triesnecker in der Nähe der Scheibenmitte.

- Das Mondgesicht bleibt nur ungefähr gleich: Es oszilliert mit der Periode eines siderischen Monats sowohl in west-östlicher Richtung (s. Abb. 8: Libration in Länge) als auch in nord-südlicher Richtung (s. Abb. 9²: Libration in Breite). Diese Veränderung ist nicht leicht zu bemerken: Wegen der Mondphasen ist oft gerade der Mondrand nicht beleuchtet, an dem die Veränderung am deutlichsten zu sehen wäre.

3 Die Beschreibung der Mondbewegung

3.1 geozentrische Beschreibung

- Im Laufe eines Tages dreht sich das ganze Himmelsgewölbe einmal um eine Achse, die durch Beobachter und Polarstern geht. Sonne und Mond bewegen sich mit ihm. Deshalb gehen sie im Osten auf, kulminieren im Süden und gehen im Westen unter.
- Mond und Sonne bewegen sich relativ zum Sternenhimmel, deshalb
 - verschieben sich die Auf- und Untergangszeiten und -orte,
 - sind die Umlaufdauern („Tageslängen“) unterschiedlich. Die Sonne braucht etwa vier Minuten, der Mond etwa 56 Minuten länger für einen Umlauf als der Sternenhimmel.
- Mond und Sonne bewegen sich auf fast identischen Großkreisen über den Sternenhimmel, die um 23.5° gegen den Himmelsäquator geneigt sind. Der von den Kreisen eingeschlossene Winkel von etwa 5° mag zunächst klein erscheinen; er ist aber zehnmal so groß wie der Winkeldurchmesser des Mondes.

²Die Bilder wurden mit dem Programm GUIDE ([7]) erstellt.

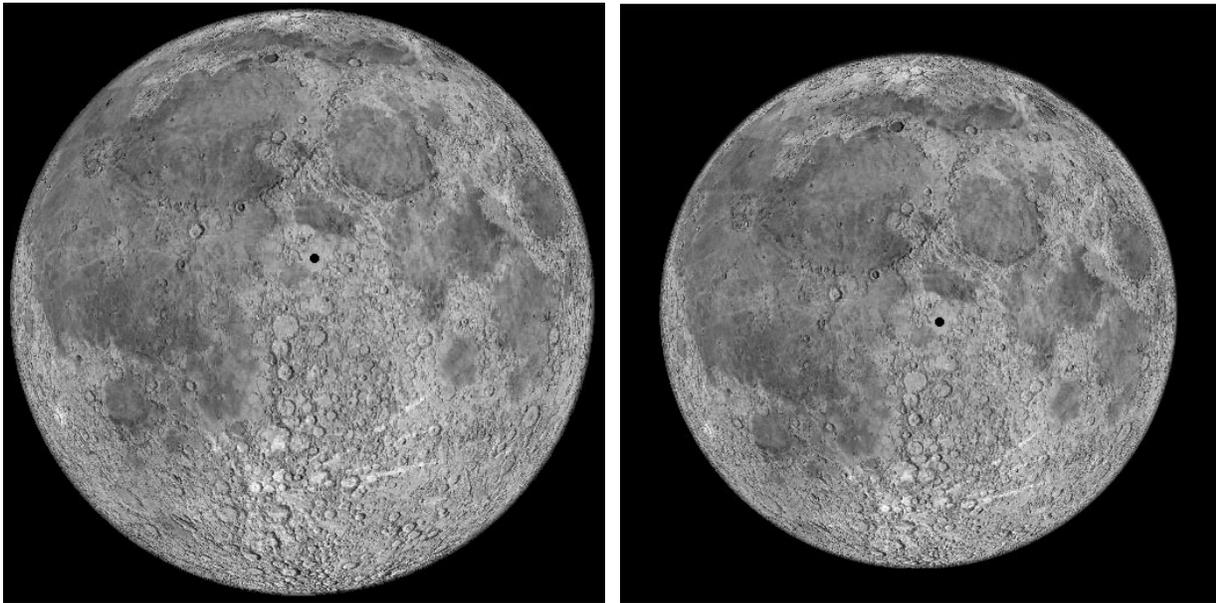


Abbildung 9: Libration in Breite: Ansicht des Vollmondes am 30.7.1996 (links) und am 2.9.2001 (rechts). Die Libration ist am Krater Plato (dunkler Krater in der Nähe des nördlichen Mondrandes) besonders gut zu erkennen. Wieder ist zusätzlich der Krater Triesnecker in der Nähe der Scheibenmitte schwarz hervorgehoben. Der Vergleich der beiden Bilder zeigt darüberhinaus deutlich die Größenänderung der Mondscheibe.

- Mit diesen Aussagen lassen sich erklären
 - die verschiedenen Auf- und Untergangszeiten,
 - die unterschiedlichen Kulminationshöhen,
 - die Finsternisse und ihre Häufigkeit,
 - das unveränderliche Mondgesicht (Der Mond ist „angeheftet.“).
- Nicht erklären lassen sich so
 - die Mondphasen; dazu braucht man zusätzlich Entfernungsverhältnisse, man muss also die Fläche „in den Raum auflösen“ (Wagenschein),
 - die parallaktische Bewegung und
 - die Libration.

3.2 heliozentrische Beschreibung

- Die Erde umläuft auf einer nahezu kreisförmigen Bahn die Sonne.
- Die Erde dreht sich um eine Achse, die eine feste Richtung im Raum einnimmt. Die Achse ist um 23.5° gegen die Normale der Bahnebene geneigt.
- Der Mond umläuft auf einer nahezu kreisförmigen Bahn die Erde. Die Bahnebene ist um 5° gegen die Erdbahnebene geneigt.
- Auch der Mond rotiert um eine eigene Achse: gebundene Rotation!

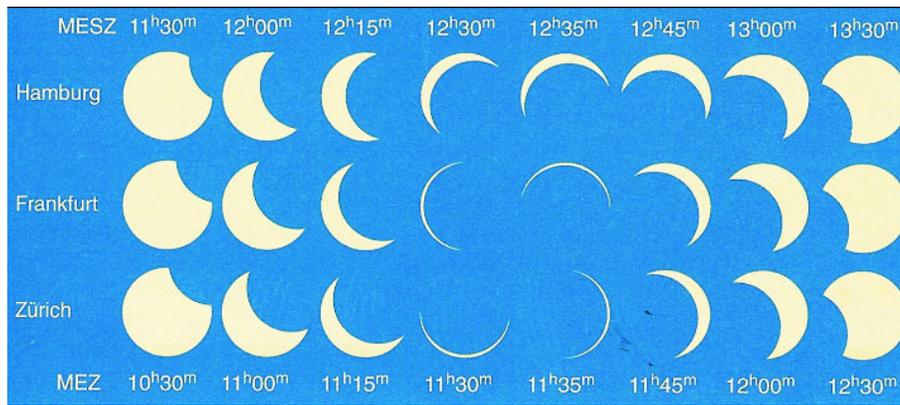


Abbildung 10: Bei Sonnenfinsternissen wird die Parallaxe des Mondes vor der Sonne sichtbar.

- Sonne bzw. Erde stehen nicht im Mittelpunkt der Erd- bzw. Mondbahn ($e \approx 0.017$ bzw. $e \approx 0.055$).
- Beider Umlauf ist nicht gleichförmig.
- Die Bahnen sind nicht kreisförmig, sondern elliptisch:

$$\frac{b}{a} = \sqrt{1 - e^2} \approx 1 - 1.5 \cdot 10^{-4} \text{ (Erdbahn) bzw. } 1 - 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ (Mondbahn).}$$

- Durch diese Aussagen werden dieselben Erscheinungen erklärt wie durch die geozentrische Beschreibung, da die beiden Beschreibungen durch eine geometrische Koordinatentransformation auseinander hervorgehen.

Zusätzlich jedoch werden erklärbar

- die Phasengestalten des Mondes,
- die Größenänderung von Sonne und Mond,
- ihre ungleichförmige Bewegung und
- das (fast) unveränderliche Mondgesicht.
- Durch die Rotation des Mondes ergeben sich aber auch zusätzliche Fragen:
 - Ist die Rotation des Mondes gleichförmig?
 - Welche Richtung hat die Rotationsachse des Mondes?

4 Die parallaktische Bewegung

- Die parallaktische Verschiebung des Mondes bei Beobachtung *von verschiedenen Beobachtungsorten aus* (s. Abb. 6) ist ein Ausdruck der Tatsache, dass die Größe der Erdkugel nicht vernachlässigbar klein gegenüber dem Abstand Erde - Mond ist.
- Sie ist bekannt von Sonnenfinsternissen, bei denen die Sonnenscheibe einen auffälligen Bezugsrahmen darstellt (Abb. 10): Der Bedeckungsgrad ist bereits innerhalb von Deutschland deutlich verschieden, und Totalität gibt es – zeitlich gestaffelt! – nur in einem kleinen, etwa 200 Kilometer breiten Streifen.

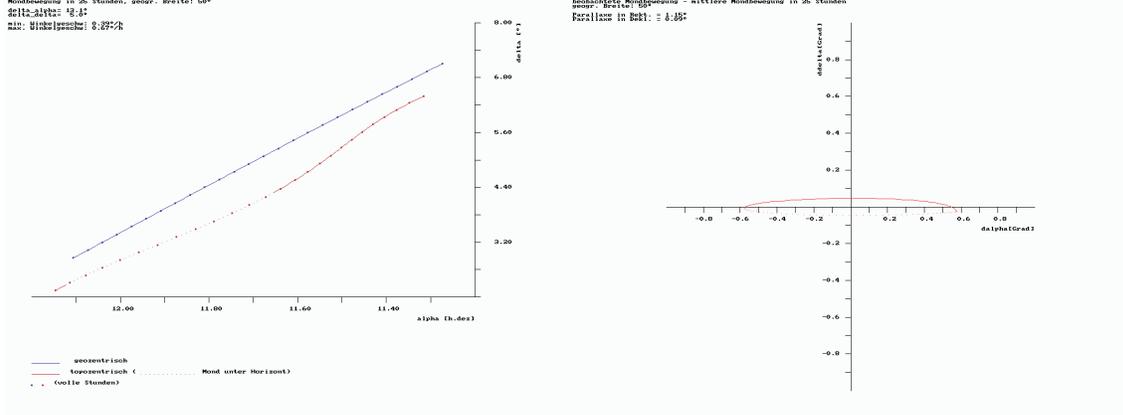


Abbildung 11: Von Essen ($\varphi = 50^\circ$) aus zu beobachtende (topozentrische) Bewegung des Mondes bei Vollmond (links). Durch Abzug der *mittleren* täglichen Bewegung ergibt sich die nahezu unverfälschte parallaktische Ellipse (rechts).

- Weniger bekannt ist die parallaktische Verschiebung des Mondes am Nachthimmel, obwohl sie bis zu vier Monddurchmesser betragen kann. Es ist schwierig, diesen Effekt zu fotografieren, weil die Helligkeit von Mond und Sternen stark verschieden ist. Der Verlauf des „Mondschattens“ über die Erde bei einer Sternbedeckung ist weitgehend unbekannt. Er wird aber, insbesondere von Amateurastronomen, zur exakten Vermessung der Mondbahn verwendet.
- Ein parallaktischer Effekt lässt sich aber auch *von einem festen Beobachtungsort aus* beobachten: Durch die tägliche Erdrotation gelangt man nämlich an verschiedene Positionen bezüglich des Mondes. Die mit der Periode eines Mondtages oszillierende Mondbewegung (s. Abb. 7 und 11³) am Sternenhimmel spiegelt diese Positionsveränderung wieder.
- Die Amplitude dieser Oszillation ist ein Maß für das Verhältnis zwischen Erdradius und Mondentfernung. Besonders deutlich wird das, wenn man die beobachteten Mondpositionen um die mittlere Bewegung des Mondes während des entsprechenden Mondtages korrigiert: Dann ergibt sich eine Ellipse als direktes Abbild der eigenen Rotation um die Erdachse!

Die Korrektur kann folgendermaßen vorgenommen werden:

1. Man messe während eines Mondtages (25 Stunden) im Stundenabstand so genau wie möglich die Position des Mondes relativ zu benachbarten Fixsternen und berechne daraus seine äquatorialen Koordinaten (α_i, δ_i) .
2. Aus Start- und Endposition berechne man die mittlere Mondbewegung $(\bar{\alpha}, \bar{\delta})$:

$$\bar{\alpha} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta t}, \quad \bar{\delta} = \frac{\Delta\delta}{\Delta t}.$$

3. Die korrigierten Mondpositionen (α'_i, δ'_i) ergeben sich durch Abzug der mittleren Bewegung:

$$\alpha'_i = \alpha_i - (\alpha_0 + \bar{\alpha}(t_i - t_0)), \quad \delta'_i = \delta_i - (\delta_0 + \bar{\delta}(t_i - t_0)).$$

³s. Fußnote 1

5 Die Libration des Mondes

- Aus physikalischen Gründen (Drehimpulserhaltung!) ist uns heute selbstverständlich, dass der Mond *gleichförmig* um seine Achse rotiert, die immer in dieselbe Richtung zeigt. Zu Beginn des 17. Jahrhunderts war das anders. Sonst hätte Kepler in seinem „Traum“ ([9]), in dem er die astronomischen Beobachtungen fiktiver Mondbeobachter beschreibt, sicher die Libration des Mondes berücksichtigt, die sich aus der Sicht von Mondmenschen in Positionsschwankungen der Erde über dem Mondhorizont bemerkbar macht⁴.
- Da die Geschwindigkeit des Mondes auf seiner Bahn um die Erde gemäß dem 2. Keplerschen Gesetz nicht konstant ist, können die Winkelgeschwindigkeiten von Rotation und Umlauf nur *im Mittel* übereinstimmen (Libration in Länge, Abb. 12):
 - Solange sein Abstand von der Erde kleiner als der mittlere Abstand ist, in der Umgebung des Perigäums also, bewegt sich der Mond besonders schnell. Die Rotation bleibt im Vergleich dazu zurück. Dadurch ist es von der Erde aus möglich, am in Bewegungsrichtung „hinteren“ (d.h. östlichen, d.i. auf der Nordhalbkugel der rechte) Rand des Mondes etwas von der abgewandten Seite zu sehen (s. Abb. 8, links).
 - Entsprechend sieht man in der Umgebung des Apogäums am „vorderen“ Rand etwas von der Rückseite des Mondes.
- Da die Rotationsachse nicht senkrecht auf der Bahnebene steht, kann man etwas über den Nordpol des Mondes hinaus auf die Rückseite sehen, wenn das Nordende der Achse zur Erde zeigt (s. Abb. 9, rechts). Im entgegengesetzten Fall kann man von der Erde aus etwas über den Südpol hinaussehen (Libration in Breite).
- Die Verhältnisse werden in Abb. 12⁵ veranschaulicht, in dem zur Verdeutlichung der Effekte die Achsneigung des Mondes und die Exzentrizität seiner Bahn stark übertrieben werden. Angedeutet wird darüberhinaus die mit der Abstandsvergrößerung einhergehende Verkleinerung der Mondscheibe.
- Man kann den Librationseffekt auch anders beschreiben: Im Laufe eines Umlaufes wandert die Mitte der von der Erde aus sichtbaren Mondscheibe über die Oberfläche des Mondes. Die dabei entstehende Bahn ist in Abb. 12 ebenfalls angedeutet⁶. Die realistische Bewegung der Scheibenmitte zeigt Abb. 13⁷.
- Die Frage nach der Richtung der Mondachse ist nicht einfach zu beantworten
 - Da die Libration in Breite etwa 6° beträgt, muss die Achse einen entsprechenden Winkel mit der Bahnnormalen bilden.

⁴Sehr schön beschrieben wird diese „Astronomie eines Mondbewohners“, nun aber unter Berücksichtigung der Libration, in einem Büchlein von W. Brunner ([5]).

⁵Das Bild wurde berechnet mit dem Programm `Mondlibration.exe`. Es kann ebenfalls aus dem Internet heruntergeladen werden (s. Fußnote 1).

⁶Praktisch ist diese Bahn nicht einfach zu bestimmen, weil die Scheibenmitte während des halben Mondumlaufes nicht beleuchtet ist.

⁷Aufgrund der Störung der Mondrotation durch Planeten und Sonne ist diese Bahn nicht immer gleich.

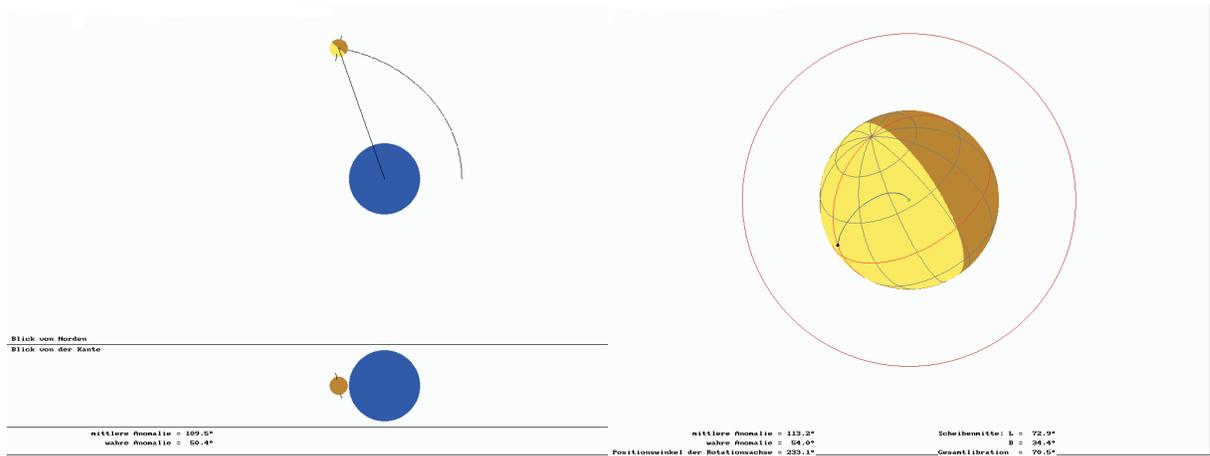


Abbildung 12: Nach dem besonders schnellen Durchlaufen des Perigäums ist die Rotation gegenüber dem Umlauf zurückgeblieben (links). Von der Erde aus kann man deshalb am rechten Mondrand einen Teil der dunkel gezeichneten Mondrückseite sehen (rechts). Da außerdem das Nordende der Rotationsachse zur Erde zeigt, sieht man zusätzlich über den Mondnordpol hinaus. Exzentrizität der Mondbahn ($e = 0.055 \rightarrow 0.5$) und Achsneigung ($\varepsilon = 5^\circ \rightarrow 45^\circ$) werden zur Verdeutlichung stark übertrieben.

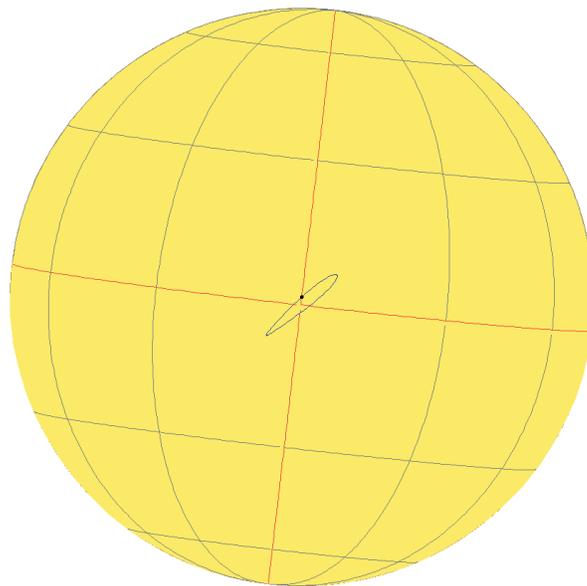


Abbildung 13: Im Laufe eines Monats bilden verschiedene Punkte der Mondoberfläche den Mittelpunkt der sichtbaren Mondscheibe.

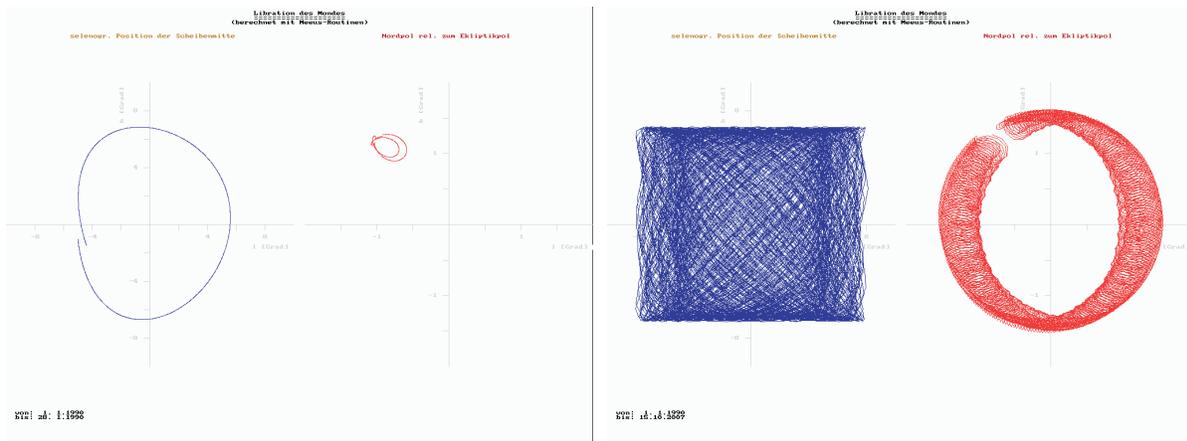


Abbildung 14: Die genaue Bewegung der Mitte der Mondscheibe (blau) und des Mondnordpols (rot) im Laufe eines Monats (rot) bzw. von 18 Jahren

- Die genaue Lage des Mondnordpols lässt sich aus den selenographischen Koordinaten der Scheibenmitte berechnen, die man in astronomischen Kalendern (z.B. in [1]) findet.
- Einen Hinweis bekommt man aber bereits, wenn man dort feststellt, dass die selenographische Breite der Scheibenmitte immer etwa dann maximal ist (z.B. am 18.3.1999: $B = 6.56^\circ$), wenn der Mond seine „größte Südbreite“, d.h. seine minimale ekliptikale Breite hat (z.B. am 18.3.1999: $\beta = -5.03^\circ$): Die Nordspitze der Achse zeigt also gerade dann zur Erde, wenn sich der Mond am tiefsten Punkt seiner Bahn befindet. Da Bahnneigung und Achsneigung aber etwa denselben Betrag haben, muss die Mondachse etwa zum Pol der Ekliptik zeigen (s. Abb. 14⁸, links). Tatsächlich vollzieht sie eine komplizierte Präzessions- und Nutationsbewegung um den Pol der Ekliptik mit einem Öffnungswinkel von etwa 1° (s. Abb. 14, rechts).

6 Libration und Zeitgleichung

- Wenn man in der Simulation den in Abb. 12 gezeigten Mondumlauf vollendet (Abb. 15, links), dann hat der Weg der Scheibenmitte über die Mondoberfläche eine Gestalt, die stark an die Schleife der Zeitgleichung („Analemma“) erinnert, die die Abweichung einer Sonnenuhr von der mittleren Ortszeit beschreibt.
- Lässt man deshalb dasselbe Programm mit den Parametern der Erdbewegung laufen, dann ergibt sich tatsächlich als „Weg der Scheibenmitte“ die bekannte Schleife der Zeitgleichung (Abb. 15, rechts).
- Ist man erst einmal auf die Idee gekommen, Mondlibration und Zeitgleichung miteinander in Beziehung zu setzen, dann lässt sich die Übereinstimmung tatsächlich leicht verstehen:
 - Das „Gucken“ der Sonne über die Pole der Erde ist bekannt: So entstehen die Polartage und -nächte im Laufe eines Jahres durch die Neigung der Erdachse

⁸Die Bilder wurden mit den genauen Routinen von Meeus ([10]) berechnet. Das entsprechende Programm `Mondnordpol.exe` kann ebenfalls vom Autor bezogen werden (s. Fußnote 1).

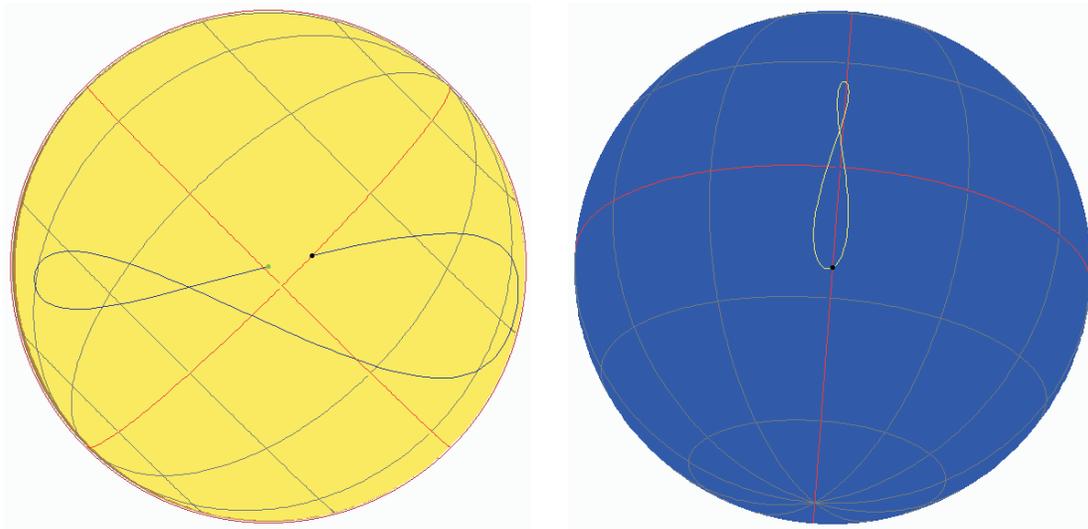


Abbildung 15: Der „Weg“ der Scheibenmitte über die Mondoberfläche bei (wie in Abb. 12) übertriebenen Werten für Bahnexzentrizität und Achsneigung (links). Das rechte Bild ergibt sich, wenn man dasselbe Programm mit den Parametern der Erdbewegung laufen lässt.

gegen die Ekliptik. *Unsere Jahreszeiten können also als Ausdruck der Libration der Erde in Breite bezüglich der Sonne interpretiert werden!*

- Die Schleife der Zeitgleichung kann man aufzeichnen, indem man im Laufe eines Jahres jeden Tag um dieselbe Uhrzeit die Position der Sonne bezüglich des Horizontes registriert, z.B. mit einem Schattenstab (siehe z.B. [2]) oder fotografisch (s. Abb. 16).

Die Registrierung im Abstand von 24 Stunden bewirkt eine Stroboskopierung, die gerade die mittlere Rotation der Erde bezüglich der Sonne unsichtbar macht⁹. Könnte man zu denselben Zeiten von der Sonne zur Erde sehen, dann hätte man den Eindruck, die Erde vollziehe eine gebundene Rotation – mit den dazugehörigen Librationseffekten. *Die Zeitgleichung kann also als Libration der Erde in Länge bezüglich der Sonne interpretiert werden!*

Zusammenfassend kann man also sagen:

Die Jahreszeiten und die Zeitgleichung beruhen auf denselben Effekten wie die Libration des Mondes: Achsneigung und gleichförmige Rotation bei ungleichförmigem Umlauf um den Zentralkörper.

7 Schluss

Ich wollte mit diesem Vortrag auf die verschiedenen Aspekte der Mondbewegung aufmerksam machen und aufzeigen, welche Rolle geozentrische und heliozentrische Beschreibung zur Erklärung dieser Phänomene beitragen können. Dabei hat sich eine überraschende Analogie zwischen Zeitgleichung und Mondlibration ergeben.

Insbesondere aber wollte ich dazu anregen,

⁹Das ist beim Mond wegen seiner gebundenen Rotation überflüssig.

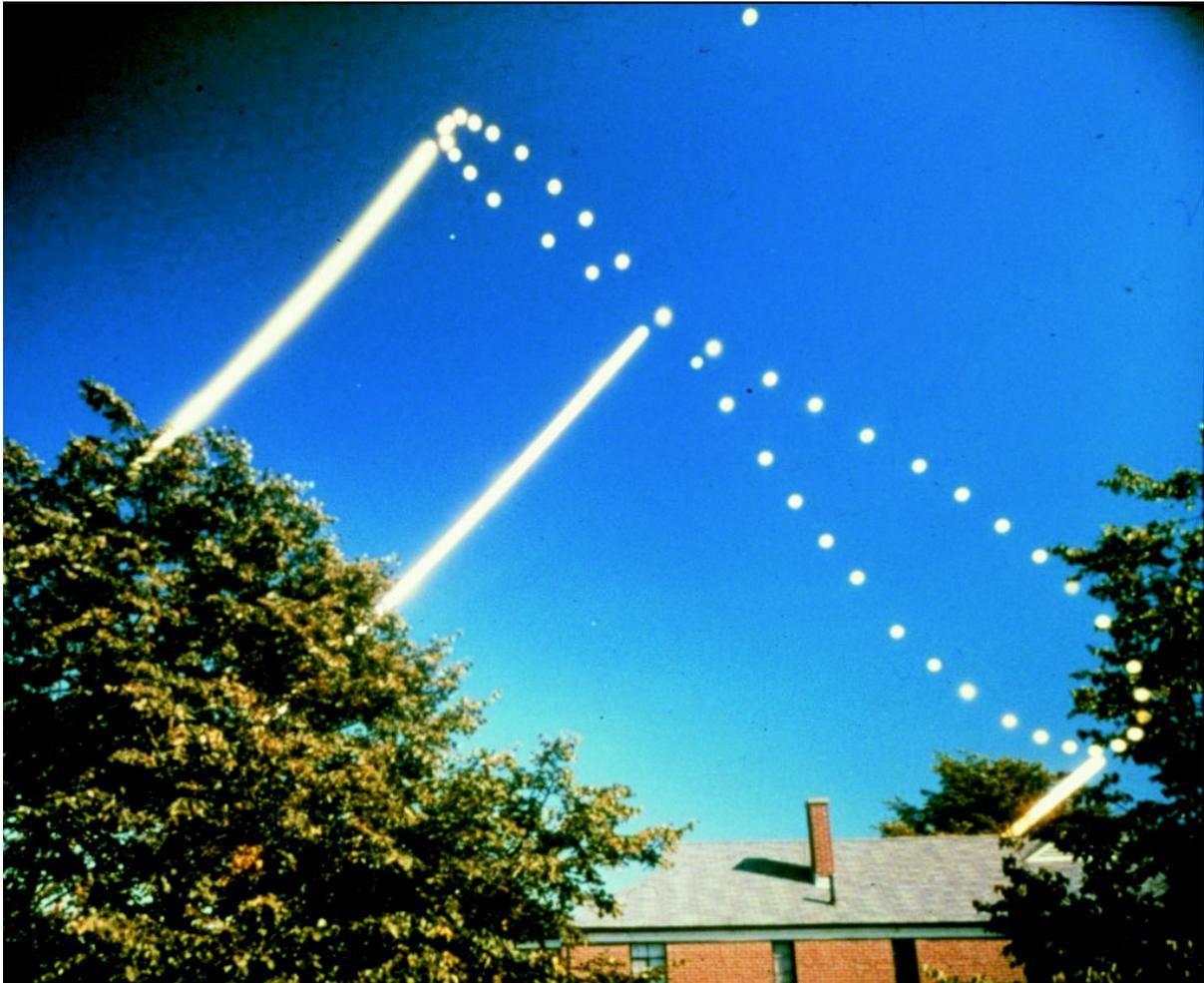


Abbildung 16: Das so genannte „Analemma“: Die Sonne wurde in etwa einwöchigem Abstand ein Jahr lang immer um dieselbe Uhrzeit fotografiert (di Cicco [6])

- aufmerksamer auf die Bewegung des Mondes und die mit ihr zusammenhängenden Phänomene zu achten,
- sie vielleicht etwas genauer als bisher zu verfolgen,
- zu versuchen, die Libration fotografisch zu dokumentieren, und
- zu versuchen, die parallaktische Bewegung des Mondes von einem festen Beobachtungsort aus zu registrieren. Bei genauer Messung der Mondpositionen im Laufe eines Vollmondtages, z.B. durch Fotografieren oder durch Anpeilen mit einem Sextanten, sollte das möglich sein.

Für diese Aktivitäten suche ich Kooperationspartner!

Literatur

- [1] Burkhardt, G. u.a.: *Ahnerts Kalender für Sternfreunde 1999*, Johann Ambrosius Barth: Heidelberg usw. 1998
- [2] Backhaus, U., Schlichting, H. J.: *Astronomie mit einer Sonnenuhr*, in W. Kuhn (Hrsg.): *Vorträge der Tagung der DPG 1987 in Berlin*, S. 299
- [3] Backhaus, U.: *Die Bewegungen des Mondes*, Vorträge der DPG 1999
- [4] Backhaus, U., Lindner, K.: *Astronomie plus*, Cornelsen/Volk und Wissen: Berlin 2005
- [5] Brunner, W.: *Von Stern zu Stern. Eine Weltschau von verschiedenen Himmelskörpern aus*, Rascher & Cie.: Zürich 1923
- [6] di Cicco, D.: *Das Analemma*, in *Diaserie: Astronomie Kompakt*, Baader Planetarium, Mammendorf 1989
- [7] Project Pluto: *Guide 7.0*, zu beziehen über astro-shop im Planetarium, Hindenburgstr. ÖI, 22303 Hamburg, internet: <http://www.astro-shop.com>
- [8] Keller, H. U.: *Zum Nachdenken: Mondphasen*, *Sterne und Weltraum* 35/1, 80 (1996)
- [9] Kepler, J.: *Ioh. Keplers weiland Kaiserlichen Mathematikers Traum oder Nachgelassenes Werk über die Astronomie des Mondes*, Sagan, Frankfurt 1634
- [10] Meeus, J.: *Astronomische Algorithmen*, Johann Ambrosius Barth: Heidelberg usw. 1992
- [11] Winnenburger, W.: *Einführung in die Astronomie*, Bibliographisches Institut: Mannheim 1991

Anhang: Fragen zur Mondbewegung (nach Keller)

1. Nach Mitternacht ging endlich über dem Neusiedlersee der Vollmond auf ... r f
2. Im Winter beschreibt der Vollmond in Mitteleuropa seinen größten Tagbogen über dem Horizont. r f
3. In Kapstadt steht im Juni der Vollmond um Mitternacht (Ortszeit) tief im Norden. r f
4. Eine Expedition berichtet vom Nordpol: „Im Juli des Jahres X erlebten wir auf dem Nordpol den Aufgang der tiefroten Vollmondscheibe ...“ r f
5. Klein-Erna musste früh ins Bett. In der Abenddämmerung erkannte sie aus dem Fenster ihrer Dachkammer die schmale Sichel des abnehmenden Mondes. r f
6. Als wir den Panama-Kanal durchfuhren, sahen wir morgens am Osthimmel vor Sonnenaufgang die liegende Sichel des abnehmenden Mondes. Sie sah aus wie ein Kahn ... r f
7. Es geschah in der dunklen Neumondnacht zum Ostersonntag des Jahres X ... r f
8. Im Dezember beschreibt der Neumond in Neuseeland seinen größten Tagbogen am Firmament. r f
9. Im Frühjahr kann von Mitteleuropa aus die schmale Sichel des jungen Mondes besonders bald nach Neumond gesehen werden. r f
10. Die schmale Sichel des abnehmenden Mondes ist von Sidney aus im Herbst am günstigsten bis nahe an den Neumondtermin zu beobachten. r f
11. Wenn der zunehmende Halbmond für einen Beobachter am Nordpol seine größte Höhe über dem Horizont erreicht hat, dann bleibt er für einen Beobachter am Südpol unsichtbar. r f
12. Wenn der Mond über Mitteleuropa im 1. Viertel steht, so sehen ihn die Bewohner Argentinens in der Phase Letztes Viertel. r f
13. Bei Vollmond ist die voll beleuchtete Erdhälfte dem Mond zugekehrt. r f
14. Astronauten einer Forschungsstation auf dem Mond berichten, dass es 14 Tage dauert vom Aufgang der Erde im Osten bis zu ihrem Untergang im Westen. r f
15. Die Regel zum Erkennen des abnehmenden Mondes (kleines „a“) gilt auf der ganzen Erde. r f
16. Der Mond ist aufgegangen ... Er ist nur halb zu sehen ... r f