

Beobachtung einer Mondwende

von Burkard Steinrücken, Westfälische Volkssternwarte und Planetarium Recklinghausen

Was ist eine Mondwende? - In Anlehnung an die bekanntere Sonnenwende wird hier der Begriff der Mondwende erörtert, der bei Untersuchungen über die astronomischen Kenntnisse mutmaßlicher Steinzeitastronomen in archäoastronomischen Fachkreisen wiederholt kontrovers diskutiert wurde.

Einleitung

Die schnell wandernden Monduntergangsorte am Horizont sind Ausdruck des Mondlaufs durch den Tierkreis. Den Zyklus, den die Sonne in einem Jahr durchläuft, vollendet der Mond bereits in einem Monat. Diese für das geozentrische Weltbild grundlegenden Bewegungsformen sind in Abbildung 1 und 2 dargestellt. Abbildung 1 zeigt die gegen die irdische Äquatorebene um $\varepsilon = 23,43^\circ$ schief gelagerte scheinbare Sonnenbahn. Im Sommerhalbjahr erhebt sich die Sonne in nördlicher Richtung über die Äquatorebene, im Winterhalbjahr sinkt sie darunter hinab. Die Tagesbahnen der Sonne verlagern sich aufgrund dieser sog. Deklinationsänderung der Sonne täglich nach Norden bzw. Süden. Die nördlichste bzw. südlichste Tagesbahn wird bei der Sommersonnenwende bzw. Wintersonnenwende durchlaufen

Da die Mondbahn um $i = 5^\circ 9'$ gegen die Ekliptik geneigt ist, folgt der Mond dem jährlichen Verhalten der Sonne nicht exakt, sondern weicht mit seinen extremalen Deklinationen von denen der Sonne um maximal $5^\circ 9'$ nach Norden oder Süden ab (Abb. 2). Steht der aufsteigende oder absteigende Knoten der Mondbahn im Punkt der Ekliptik, den die Sonne zur Sommer- oder Wintersonnenwende erreicht (ekliptische Länge 90° oder 270°), so entspricht seine monatliche Maximaldeklinaton der maximalen Sonnendeklinaton ε (Ekliptikschiefe). Steht der aufsteigende Knoten im Frühlingspunkt, so erreicht die monatliche Maximaldeklinaton den Wert $\varepsilon + i$, während das Maximum mit dem absteigenden Knoten im Frühlingspunkt mit $\varepsilon - i$ seinen kleinsten Wert unter allen möglichen monatlichen Höchstwerten einnimmt.

Folglich sind allmonatlich zwei Mondwenden am Westhorizont zu beobachten, wenn die Verlagerung der Untergangsorte ihre Richtung wechselt, die südliche Mondwende im Südwesten und die nördliche im Nordwesten.

Die Knoten der Mondbahn machen auf der Ekliptik eine rückläufige Bewegung, die sie in 18,61 Jahren oder einmal um die gesamte Ekliptik herumführt. Die Mondbahn schlingert mithin wie eine auf flachem Tisch scheppernde präzidierende Münze. Diese Präzessionsbewegung der Mondbahn wird im wesentlichen durch ein Drehmoment verursacht, welches durch die gravitative Anziehung des Mondes durch die Sonne zustande kommt.

Zur Zeit (2001) liegt der aufsteigende Knoten der Mondbahn in der Nähe des Sommersonnenwendepunktes und der monatliche „Swing“ des Mondes beim Untergang am Westhorizont entspricht in etwa dem jährlichen Swing der Sonne zwischen Sommer- und Wintersonnenwende. Erst im Jahr 2006 liegt der aufsteigende Knoten wieder im Frühlingspunkt und der monatliche Swing des Mondes erreicht dann wieder seinen maximalen Wert im 18,61-jährigen Zyklus.

Die Beobachtung dreier Monduntergänge

Der Mond geht jeden Tag später unter, weil er in seinem monatlichen Lauf entgegen der Richtung der täglichen Wanderung fortläuft und somit gleichsam seinem Untergang zu entfliehen versucht. Um wie viele Minuten sich der Untergang von Tag zu Tag verspätet, hängt nicht nur von den astronomischen Verhältnissen des Mondlaufs ab (er bewegt sich mit

ständig wechselnder Geschwindigkeit auf einer Bahnellipse, die wiederum selbst ihre Lage verändert), sondern auch wesentlich vom Verlauf des Landschaftshorizontes am Beobachtungsort. Der Standort für die hier vorgestellten Beobachtungen lag einige hundert Meter östlich und ein wenig oberhalb der Dorfmitte der kleinen Ortschaft Balderschwang im Kreis Oberallgäu.

Die geographische Position ist $47^{\circ} 28'$ Nord, $10^{\circ} 7'$ Ost. Diese präzisen Werte finden später Eingang bei der Berechnung der Mondposition mit einer Astronomiesoftware, wie sie im Fachhandel der Amateurastronomie oder im Internet erhältlich ist.

Das Profil des Landschaftshorizontes, an dem die Mondwendebeobachtungen erfolgten, wurde mittels der Strichspuraufnahmetechnik vermessen. Die Sternstrichspuren bekannter Deklination „eichen“ den Horizont in Deklinationswerte. Die Monduntergangsfotografien können dieser Messaufnahme angepasst werden, so dass die scheinbare Deklination des untergehenden Mondes bestimmbar wird. Die Abbildung 3 zeigt das Ergebnis dieser Bildanalyse.

Auf dieser Skizze ist die Mondwende im August 2001 festgehalten. Bis zum 2. August verlagerten sich die Untergangsorte weiter nach Süden. Am 3. August war der Untergang schon wieder nach Norden gewendet. Aus dem Muster der drei aufeinanderfolgenden Monduntergänge lässt sich der genaue monatliche Maximalwert der Deklination (MMD) ermitteln, der sich ja zumeist nicht während des Untergangs am Horizont einstellt.

Die folgende Tabelle zeigt die berechneten Größen der scheinbaren Deklination der geozentrischen Deklination und der Untergangshöhe (aus der geographischen Lage und der Zeit). Die anhand der Abbildung 3 ermittelte scheinbare Deklination weicht vom berechneten Wert um ein Ausmaß ab, welches die Güte der zeichnerischen Rekonstruktion widerspiegelt.

Datum, Uhrzeit	sch. Dekl. experimentell	sch. Dekl. berechnet	geoz. Dekl. berechnet	sch. Höhe berechnet
1. 8. 2001, 02:07 Uhr	- 23,63°	- 23,90°	- 23,12°	6°
2. 8. 2001, 02:58 Uhr	- 23,95°	- 24,16	- 23,38	6°
3. 8. 2001, 03:50 Uhr	- 23,04°	- 23,23	- 22,47	7°

Die Zeitangaben sind in Mitteleuropäischer Sommerzeit (MESZ) und beziehen sich auf den Moment, wo die Mondscheibe mit ihrem Unterrand den Horizont berührt. Sie sind nur auf einige Minuten genau. Für die Deklinationsberechnungen ist die Genauigkeit aber ausreichend hoch.

Was ist eine Mondwende?

Diese Fragestellung wurde im Forschungsgebiet der Archäoastronomie, welches sich mit den astronomischen Fähigkeiten der Steinzeitmenschen befasst, vor einigen Jahrzehnten leidenschaftlich und kontrovers diskutiert.

Alle Behauptungen und Er widerungen zu diesem Thema basieren auf theoretischen Modellrechnungen. Empirisches Material mit tatsächlich beobachteten Mondwenden findet man in der Literatur vergeblich. Zumindest als konkretes Anschauungsbeispiel kann die nun beschriebene Beobachtung einer einzigen Mondwende im August 2001 dazu beitragen, die theoretischen Betrachtungen auf eine empirische Basis zu stellen.

Von Alexander Thom wurde in den 60er Jahren die Behauptung aufgestellt, die Priesterastronomen der Stein- und Bronzezeit hätten durch die systematische Beobachtung der Mondwenden sogar die Systematik der Mondfinsternisse entdecken und künftige Finsternisereignisse vorhersagen können [1,2]. Die Einzelheiten dieser ausgefeilten Hypothese und die zahlreichen Gründe, die gegen die Kenntnis dieser Methode und ihre Anwendung in der Steinzeit sprechen, wollen wir hier nicht aufrollen. Dazu sei auf die Literatur verwiesen.

Als wesentlich vorausgesetzt bei diesen Hypothesen der archaischen Präzisionsastronomie ist immer die Bestimmbarkeit des monatlichen Deklinationsmaximums (MMD) mit etwa Bogenminutengenauigkeit. Da der Mond nur zweimal am Tag im Horizont steht und nur dann mit Hilfe des natürlichen Landschaftshorizontes oder gerichteten Steinsetzungen der Positionsmessung zugänglich ist, wird man i.a. den Mond nicht im Deklinationsextrem antreffen. Viel wahrscheinlicher ist das Erreichen seines extremalen Deklinationwertes, wenn er hoch am Himmel steht oder unterhalb der Horizontlinie verborgen ist. Bereits in wenigen Stunden verändert er seine Deklination so stark, dass auch nicht mit nur annähernd Bogenminutengenauigkeit sein monatlicher Maximalwert durch eine einzige Beobachtung gefunden werden kann.

Die Abbildungen 3 und 4 verdeutlichen dies. Dargestellt sind Strichspuraufnahmen der Monduntergänge vom 1., 2. und 3. August (von oben nach unten). Manchmal zogen Wolken vor die Mondscheibe, so dass die Strichspuren des Mondes Unterbrechungen zeigen. Die tatsächlichen Bahnverläufe des Mondes lassen sich aber in ihrer Lage zum natürlichen Landschaftshorizont gut rekonstruieren. Die Position der Kamera war bei allen Aufnahmen innerhalb von 20 cm identisch; die Entfernung des Landschaftshorizontes betrug mehrere Kilometer. Die Genauigkeit der Peilung ist damit wesentlich besser als 1 Bogenminute. Durch den Vergleich der Aufnahmen stellt man fest, dass der Mond am 2. August seinen südlichsten Untergang zeigte. Wann aber hat er sich auf seiner Bahn gewendet, d.h. wann endigte sein Abstieg zu südlicheren Deklinationen? Diese Frage kann nur entschieden werden, wenn die Mondbahnen der zum 2. August benachbarten Tage miteinander verglichen werden. Am 1. August lief der Mond ähnlich tief wie am 2. August, wenn auch nicht ganz so niedrig. Am 3. August lag die Mondbahn wieder deutlich höher, also hatte der Mond da schon wieder eine nördlichere Deklination als am 2. August.

Weil der Mond mit immer geringer werdenden stündlichen Deklinationsveränderungen in sein südlichstes Extrem läuft, fand die tatsächliche Mondwende zwischen dem 1. und dem 2. August statt. Wäre die Mondwende durch die Aufnahme am 2. August exakt festgehalten worden, so lägen die Mondbahnen der Nachbartage nicht asymmetrisch zur Bahn am Mitteltag, sondern exakt auf gleicher Höhe.

Die tatsächlich beobachteten Verhältnisse sind in der Abbildung 5 in ein Deklinationsdiagramm eingezeichnet. Aufgetragen ist der Betrag der Monddeklination Anfang August 2001 gegen die Zeit. Der Deklinationsverlauf des Mondes, sein Wandern ins Extremum und sein darauffolgender Abstieg zu kleineren Deklinationsbeträgen sind hier durch eine Parabel dargestellt. Die Parabel ist innerhalb weniger Tage um die Mondwende herum eine sehr gute Näherung für den eigentlich cosinusförmigen Deklinationsverlauf, wie nun gezeigt wird. Um das monatliche Deklinationsmaximum δ_{MMD} herum folgt die Deklination folgendem Funktionsverlauf:

$$\delta(t) = \delta_{MMD} \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot t}{P}\right)$$

Die Gesamtumlaufzeit P des Mondes ist der siderische Monat. Im folgenden werden die Defizite der Deklination zum monatlichen Maximalwert δ_{MMD} betrachtet:

$$\partial\delta = \delta_{MMD} - \delta(t) = \delta_{MMD} - \delta_{MMD} \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot t}{P}\right) = \delta_{MMD} \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{2\pi \cdot t}{P}\right)\right) = 2 \cdot \delta_{MMD} \cdot \sin^2\left(\frac{\pi \cdot t}{P}\right)$$

Im letzten Schritt wurde eine Vereinfachung mit Hilfe einer elementaren trigonometrischen Beziehung vorgenommen. Wenige Tage um die Mondwende herum ist $t \ll P$ und der Sinus kann durch sein Argument angenähert werden.

$$\partial\delta \approx 2\delta_{MMD} \cdot \left(\frac{\pi \cdot t}{P}\right)^2 = \left(\frac{2 \cdot \delta_{MMD} \cdot \pi^2}{P^2}\right) \cdot t^2$$

Damit ist der parabelförmige Verlauf des Deklinationsdefizits gezeigt, und wir wenden uns wieder dem konkreten Beispiel und der Abbildung 5 zu.

Die roten Punkte stellen die drei Messwerte dar. Sie sind in der Zeit jeweils um 24 Stunden und 51 Minuten voneinander getrennt. In diesen Zeitabständen steht der Mond wieder am etwaigen Horizontort der Mondwende (Abb. 4).

Die vieldiskutierte Fragestellung der Archäoastronomie lautet nun: Läßt sich aus der Abfolge der drei um die Mondwende gelegenen Untergänge jener Differenzbetrag in der Deklination mit Bogenminutengenauigkeit ermitteln, um den der tatsächliche Wert der monatlichen Maximaldeklination (MMD) den beobachteten Maximalwert (hier am 2. August 2001) übertrifft? Dann ließen sich durch langjährige Beobachtungsreihen nicht nur der absolute Nord- oder Südstand der Mondbahn und damit die Lage der Knotenpunkte in Relation zum Frühlings- und Herbstpunkt ermitteln, sondern auch eine winzige periodische Störung der Mondbahninklination mit einer Amplitude von ca. $9'$, die synchron mit dem halben Finsternisjahr von 173,3 Tagen läuft, um deren Maximumzeiten sich wiederum im Kalender die Mondfinsternisse scharen [3,4].

In der Tat läßt sich ein solches Verfahren, welches auf den drei Beobachtungen und der Parabelnäherung des Deklinationsverlaufs basiert, konstruieren. Dieses Verfahren werden wir hier nun anwenden und das Ergebnis mit den richtigen Werten, die uns die Astronomiesoftware liefert, vergleichen. Wie das Ergebnis auch ausfällt, als *Experimentum Crucis* für die Behauptungen über die Beobachtungsfähigkeiten der Menschen der Vorzeit kann es keinesfalls gewertet werden. Die Beobachtung nur einer einzigen Mondwende, überdies mit der Strichspurtechnik, mit der man die visuelle Genauigkeit nicht erreicht, ist dazu sicher nicht ausreichend. Es soll aber ein grundsätzliches Licht auf die Frage geworfen werden, wie genau eine visuelle Positionsastonomie sein kann und wie man vorgehen muss, um das Letzte an Genauigkeit aus visuellen Beobachtungen herauszuholen. Der Mondlauf mit seinen raschen Deklinationsveränderungen ist zur Diskussion dieser Frage der härteste Prüfstein.

Das Konstruktionsverfahren arbeitet wie folgt. Aus den drei Beobachtungspunkten auf der Kurve des Deklinationsverlaufs lassen sich systematisch beliebig viele weitere Punkte der Parabel zwischen den begrenzenden Beobachtungstagen 1 und 3 ermitteln, die dem wirklichen Extremwert der Deklination schnell bis auf Bogenminutengenauigkeit nahe kommen. Dazu wird zunächst die sog. Extrapolationslänge $4G$ (wir folgen hier der Notation von Alexander Thom) ermittelt, die als Maßstab für das Extrapolieren der gesuchten MMD aus dem beobachteten Werten dient. Thoms Annahme, dieser Wert $4G$ sei allmonatlich gleich und damit eine konstante Größe im Mondlauf, hat sich als falsch herausgestellt [5,6,7]. Wegen der Geschwindigkeitsänderung auf der Bahnellipse, die sich in der Darstellungsweise der Abbildung 11 in von Monat zu Monat verschieden erweiterten Parabeln und variablen Zeitabständen zwischen den rot gezeichneten Messpunkten äußert, schwankt G bis zu 30% um den Mittelwert. Er ist also für jede Mondwende intrinsisch aus den drei Untergangsbeobachtungen neu zu ermitteln, und kann nicht auf jene Monate übertragen werden, wo vielleicht eine Untergangsbeobachtung wegen schlechter Witterung ausfiel (dies ist das Hauptargument gegen die Thom'sche Theorie der Präzisionsmondbeobachtung). Man erhält $4G$, wenn man den Deklinationsmittelwert der Messungen 1 und 3 bildet und diesen vom beobachteten Maximalwert am Messtag 2 abzieht. Da sich wegen des parabelförmigen Verlaufs die Deklinationsänderungen zwischen 1 und 2 bei Halbierung der Zeitspanne zwischen 1 und 3 ebenso quadratisch verhalten wie die Deklinationsänderungen zwischen 1 und 3, läßt sich nun das Schema der drei aufeinanderfolgenden zeitlich äquidistanten Mondbeobachtungen im halbierten Zeitmasstab auf die Spanne zwischen 1 und 2, in der ja das MMD liegt, übertragen. Bei halbiertem Zeit ist die Extrapolationslänge gemäß des parabolischen Verlaufs zu vierteln. Im ersten Schritt des Extrapolationsverfahrens wird nun der Wert G zur Ermittlung einer Zwischendeklination dem Deklinationsmittelwert der Messungen 1 und 2 zugeschlagen (Abb. 11 unten; grün gezeichnet). Dieses Verfahren wird so oft mit den Stützpunkten, die das MMD einklammern, mit den Extrapolationswerten $G/4$, $G/16$, ... wiederholt, bis man einen Stützpunkt nahe des Parabelscheitels konstruiert hat. Im

allgemeinen wird man nach zwei Schritten und der Extrapolation mit der Länge $G/4$ abrechnen (in Abb. 5 unten in blau gezeichnet). Das MMD berechnet sich damit zu:

$$4G = \delta_2 - \frac{|\delta_1 - \delta_3|}{2} \quad (\text{Extrapolationslänge})$$

1. Extrapolationsschritt :

$$\delta_{\text{Zwischenwert}} = \frac{|\delta_1 - \delta_2|}{2} + G$$

2. Extrapolationsschritt

$$MMD = \frac{|\delta_{\text{Zwischenwert}} - \delta_2|}{2} + \frac{G}{4} \quad (\text{monatliches Maximum der Deklination})$$

In der Steinzeitastronomie werden allerdings nicht direkt Deklinationswerte gemessen, sondern Deklinationen in Strecken auf dem Erdboden überführt, die sich zwischen verschiedenen Beobachtungspositionen ergeben, wenn man die drei aufeinanderfolgenden Beobachtungen derart durchführt, dass der Mond immer an der gleichen Stelle des Landschaftshorizontes auf oder untergeht. Die Extrapolationslänge G äußert sich dann in einer Weglänge auf der Mondbeobachtungsstätte, einem „Mondweg“, auf dem dann auch das Extrapolationsverfahren durchgeführt werden kann (Abb. 6).

Da die Monduntergänge der Abb. 4 von einem gleichbleibenden Ort durchgeführt wurden, scheidet dieses Verfahren der in die Landschaft übertragenen Deklinationen hier aus. Wir beschränken uns deshalb auf die Bestimmung des Zuwachses der Deklination zwischen dem Beobachtungsmaximum am 2. August und dem MMD, für den wir nur die relative Lage der drei Mondbahnen benötigen. Ein erneuter Blick auf die Abbildung 3 liefert alle erforderlichen Daten. Die Breite der Mondbahnen wird als Deklinationsnormal verwendet. Die Genauigkeit der Extrapolationsrechnung ist dadurch auf ca. $2' - 3'$ begrenzt. Man findet vom 1. zum 2. August einen Zuwachs der scheinbaren Deklination von $15'$ und vom 2. auf den 3. August eine Minderung in der scheinbaren Deklination von $53'$. Zwischen dem 1. und 3. August liegt die Differenz bei $38'$. Um wie viel höher als der beobachtete Maximalwert am 2. August ist der Deklinationsbetrag des MMD?

Die Abbildung 7 gibt Aufschluß über den Ablauf und das Ergebnis dieses konkreten Anwendungsfalls der Extrapolationstheorie. Die Extrapolationslänge $4G$ berechnet sich zu $4G = 15' + 38'/2 = 34'$. Für den Deklinationszuwachs über δ_2 , der zum Zwischenwert führt, erhält man $G - 15'/2 = 1'$. Im zweiten Schritt der Extrapolation wird $G/4 = 2'$ dem Mittelwert von δ_2 und $\delta_{\text{Zwischenwert}}$ hinzugefügt. Man erhält schließlich ein konstruiertes MMD, das um $2,5'$ höher liegt als δ_2 , der beobachtete Maximalwert am 2. August. Die Astronomiesoftware liefert für die geozentrische Deklination (die scheinbare Deklination kann man hier zur Bestimmung des MMD nicht heranziehen, da höhenabhängige Refraktionseffekte enthalten sind) beim Monduntergang am 2. August um 2.58 MESZ den Wert $-23^\circ 22,8'$. Das tatsächliche MMD fand bereits um 20.00 Uhr mit einem Wert von $-23^\circ 25,7'$ statt. Mit der Extrapolationstheorie kann man also das tatsächliche Deklinationsdefizit von knapp $3'$ im Rahmen der Genauigkeit der Strichspurauswertung sehr gut rekonstruieren.

Die Schlussfolgerung aus diesem Beispiel lautet: Vorausgesetzt, bei allen monatlich wiederkehrenden Mondwendeereignissen ist an den jeweils drei erforderlichen Messtagen klare Sicht gegeben und die zufällige Schwankung der astronomischen Refraktion bleibt unterhalb einer Bogenminute, so funktioniert die Extrapolationstheorie gut und eine Finsternisvorhersage auf der Basis der Inklinationsschwankung mit einer Amplitude von $9'$ ist möglich. Die Effekte der variablen Mondparallaxe werden durch die jeweilige Neubestimmung von $4G$ zum größten Teil mit erfasst. Die im Lauf des anomalistischen Monats variable Mondgröße wurde hier nicht diskutiert, da sie mit der Strichspurmethode nicht nachgewiesen werden kann. Der Maximaleffekt liegt bei $3'$, jedoch kompensiert er sich zum Teil mit dem Effekt der variablen Parallaxe, wenn man den Mondoberrand zur Messung der Mondposition heranzieht.

Abbildungsunterschriften

Abbildung 1:

Die scheinbare Sonnenbahn an der Himmelskugel.

Abbildung 2:

Die Lage der Mondbahn und der Knotenlinie im Raum.

Abbildung 3:

Zeichnung der Mondwendeuntergänge mit Strichspuren als Deklinationsreferenz. Die Aufnahmen der drei Monduntergänge wurden an eine Strichspuraufnahme angepasst. In Klammern die Deklinationswerte dreier Bezugssterne.

Abbildung 4:

Strichspuraufnahmen der Monduntergänge vom 1., 2. und 3. August 2001 während der Mondwendezeit.

Abbildung 5:

Parabelnäherung des Deklinationsverlaufs in der Nähe des monatlichen Deklinationsmaximums.

Abbildung 6:

Skizze einer archaischen Mondbeobachtungsstätte mit „Mondweg“ für die Anwendung der Extrapolationstheorie auf dem Erdboden.

Abbildung 7:

Anwendung der Extrapolationstheorie

Literatur

- [1] A. Thom: Megalithic Lunar Observatories, Clarendon Press, Oxford 1971
- [2] A. Thom: The Lunar Observatories of Megalithic Man, Vistas in Astronomy Vol. 11, ed. by Arthur Beer, Pergamon Press, Oxford London New York 1969
- [3] J. M. A. Danby: Fundamentals of Celestial Mechanics; 2nd ed., Willmann-Bell, Richmond Virginia 1989
- [4] Volker Bialas: Astronomie und Glaubensvorstellungen in der Megalithkultur – Zur Kritik der Archäoastronomie, Bayerische Akademie der Wissenschaften, mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, Heft 166, Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften in Kooperation bei der Beck'schen Verlagsbuchhandlung, München 1988
- [5] Heggie, Douglas C.: Megalithic Lunar Observatories : an Astronomer's View; Antiquity 46 (43–48) 1972
- [6] McCreery, Thomas: Megalithic Lunar Observatories – a Critique I; Kronos 5 (1), 47–63, 1979
- [7] McCreery, Thomas: Megalithic Lunar Observatories – a Critique II; Kronos 5 (2), 47–63, 1979

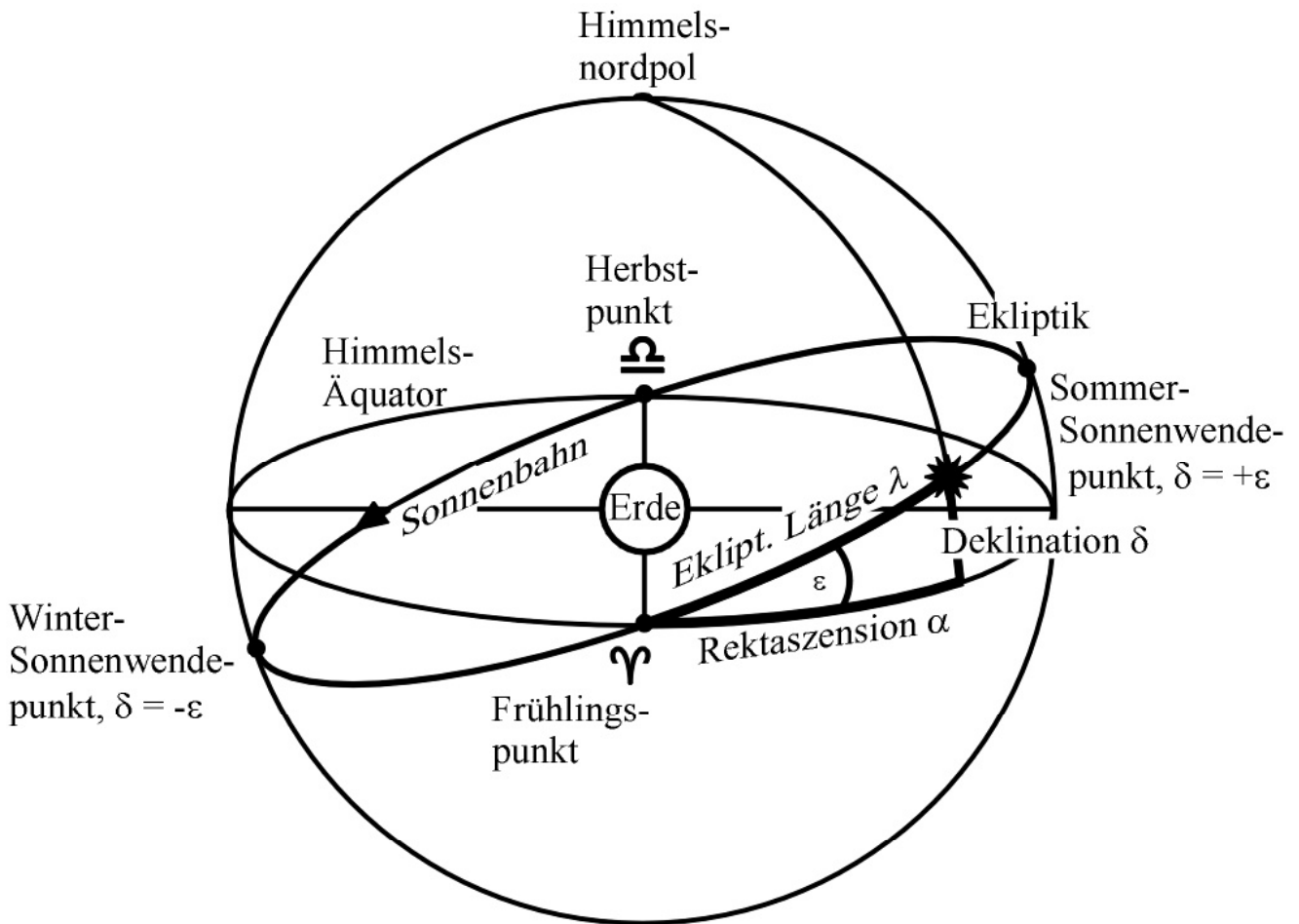


Abbildung 1: Die scheinbare Sonnenbahn an der Himmelskugel

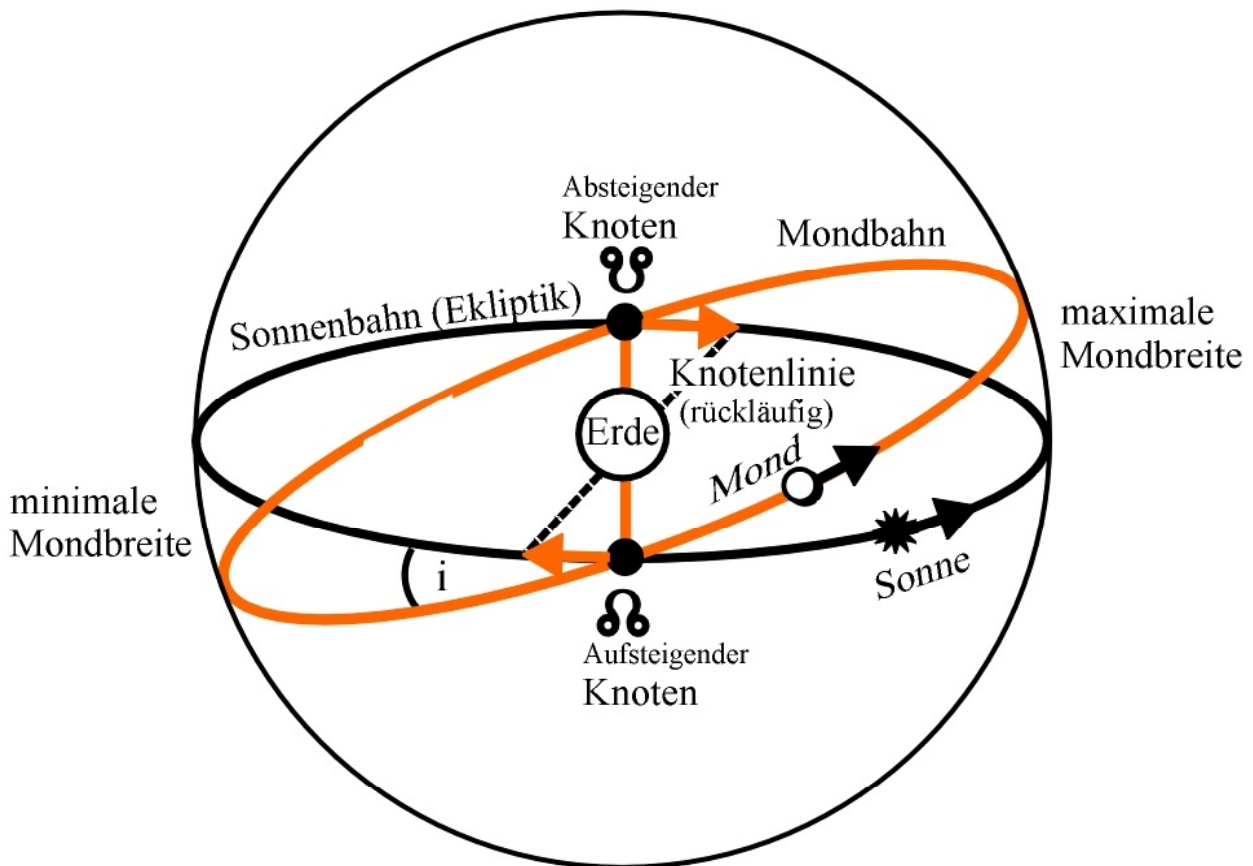


Abbildung 2: Die Lage der Mondbahn und der Knotenlinie im Raum

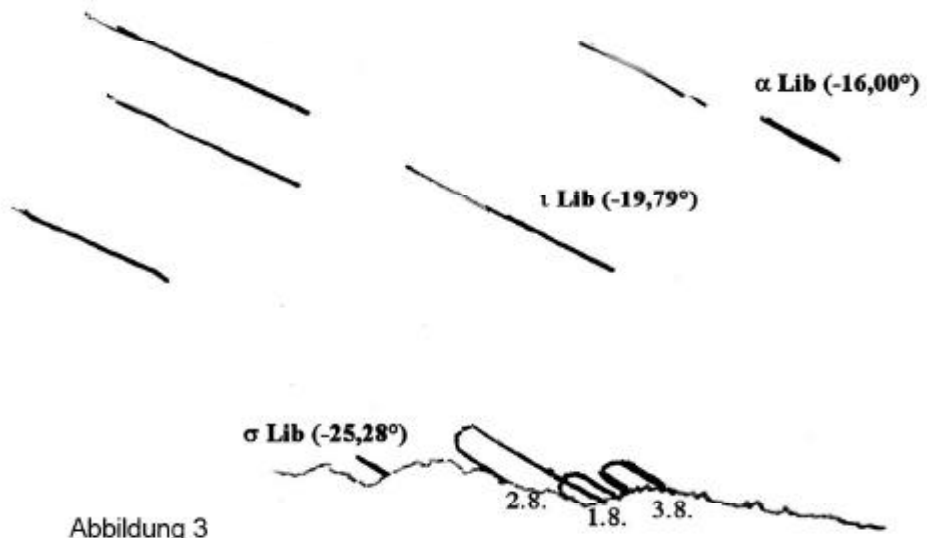


Abbildung 3



Abbildung 4

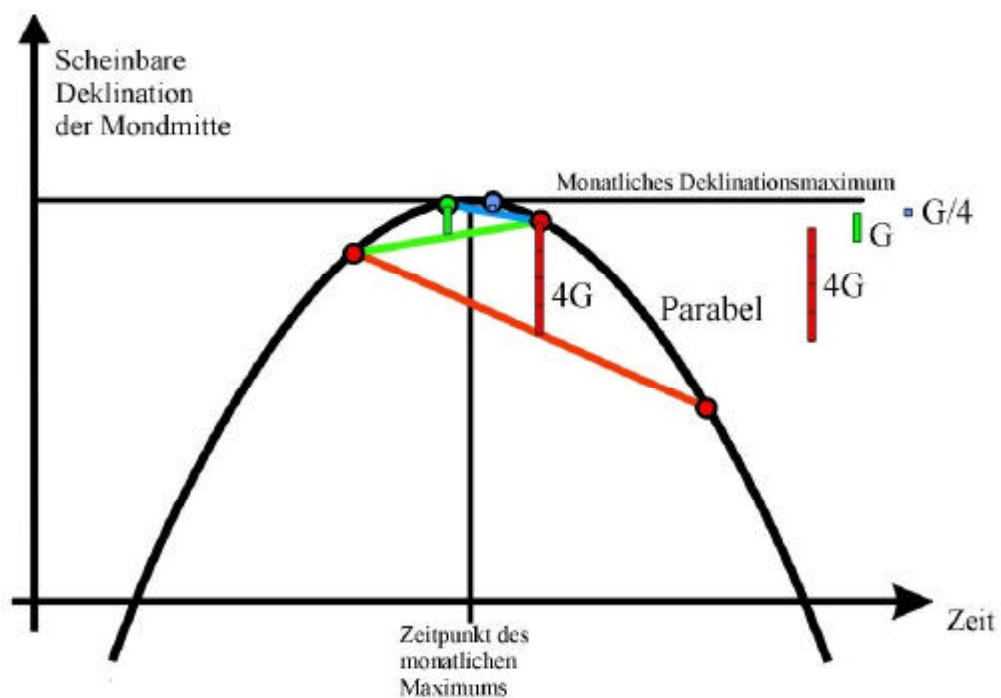
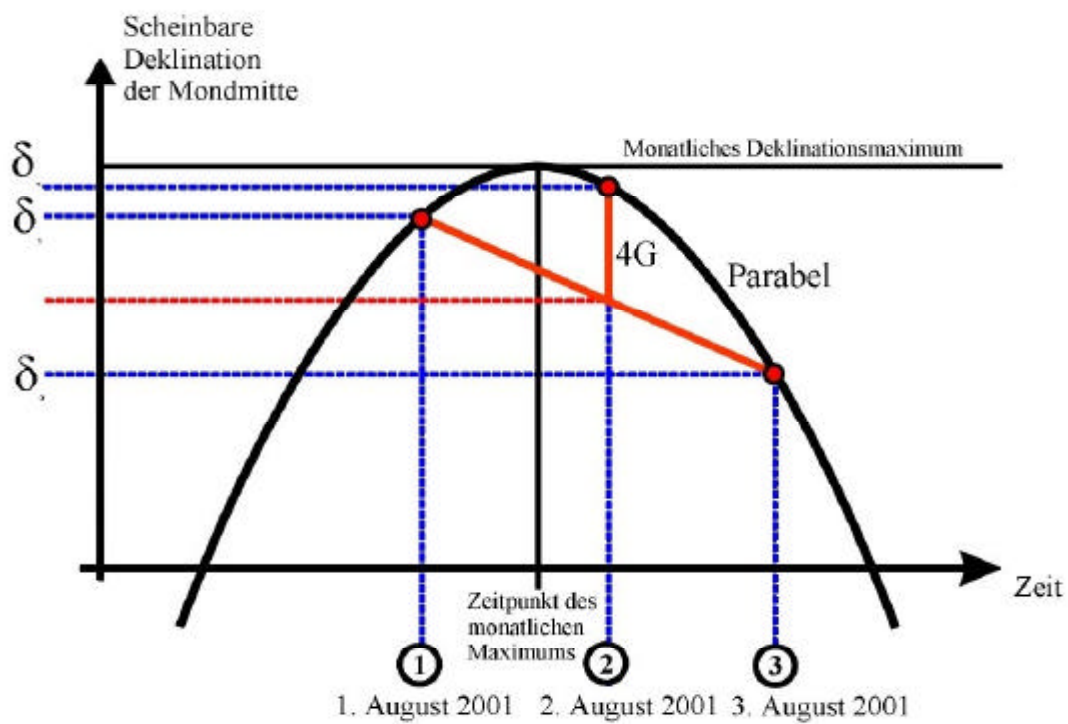


Abbildung 5 Parabelnäherung des Deklinationsverlaufs in der Nähe des monatlichen Deklinationsmaximums

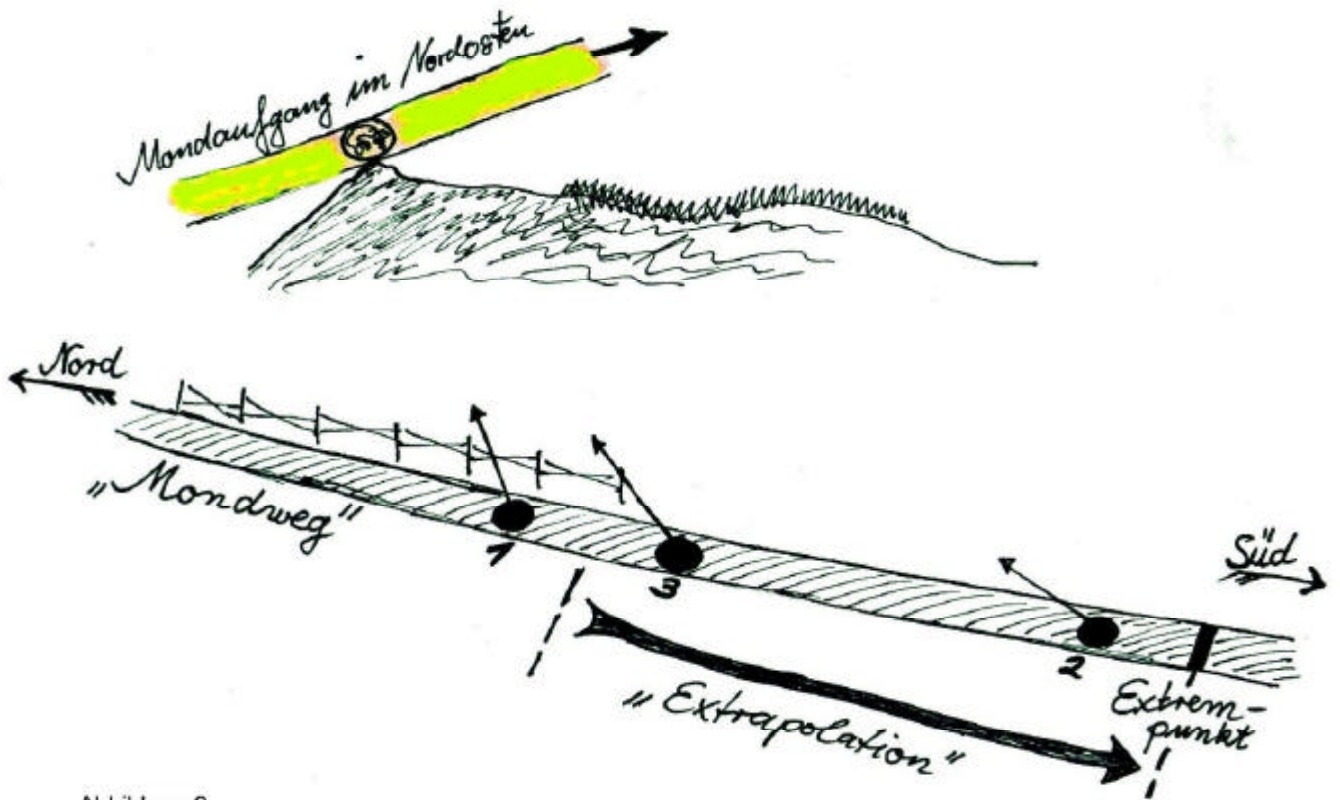


Abbildung 6

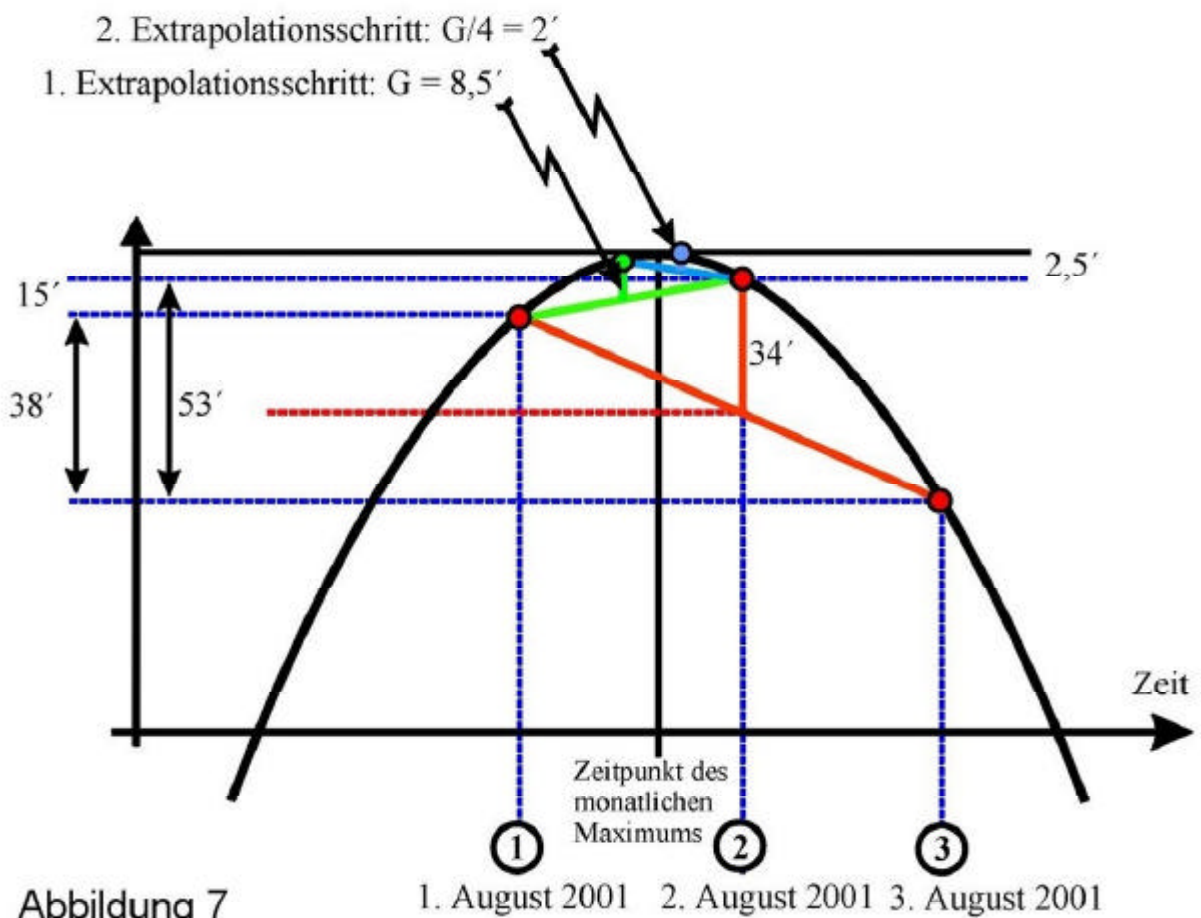


Abbildung 7

Anwendung der Extrapolationstheorie