

Sonnenwenden und Mondwenden

Astronomische Grundlagen der Wenden von Sonne und Mond am Horizont und ihre Bedeutung in der Archäoastronomie

*Burkard Steinrücken, Westfälische Volkssternwarte und Planetarium Recklinghausen
Stadtgarten 6, 45657 Recklinghausen
steinruecken@sternwarte-recklinghausen.de*

Vortrag auf der Tagung der Gesellschaft für Archäoastronomie vom 19.-12. März 2001 in Osnabrück

Einleitung

Viele archäoastronomische Untersuchungen befassen sich mit der Ausrichtung von prähistorischen Monumenten in bestimmte Himmelsrichtungen. Aus astronomischer Sicht besonders markant sind dabei die sogenannten Sonnenwendrichtungen. Es handelt sich hierbei um die extremen nördlichen und südlichen Richtungen zur Sonne bei ihren Auf- und Untergängen am längsten und kürzesten Tag des Jahres.

Diese Richtungen sind im Gegensatz zu den Kardinalrichtungen Nord, Süd, Ost und West durch systematische Beobachtung von Sonnenauf- oder Untergängen unmittelbar erfahrbar. Sie begrenzen den Bereich der möglichen Horizontstände der Sonne auf dem Ost- und Westhorizont. Die Sonne pendelt im Laufe des Jahres beim Auf- bzw. Untergang zwischen diesen begrenzenden Richtungen hin und her.

Die Geschwindigkeit dieser Pendelbewegung bzw. die tägliche Variation ihres Horizontortes ist von der Jahreszeit abhängig. Bei den Äquinoktien ist diese Variation maximal, bei den Sonnenwenden minimal. Die tägliche Variation des Sonnenstandes am Horizont kommt den Wenden zum Erliegen und kehrt sich wieder um, worauf sich auch die Bezeichnung "Wende" bzw. "Stillstand" für dieses Phänomen gründet (lat. Solstitium bzw. griech. Heliostásion).

Als möglicher astronomischer Interpretationsansatz zur Erklärung der Ausrichtung von Gräbern und Gebäuden, Zugängen von Kreisgrabenanlagen, Erdwerken und anderen vorzeitlichen Gebäuden und Erdwerken werden die Sonnenwenden gerne bemüht. Dabei sind jedoch einige grundlegende astronomische und mathematische Aspekte zu beachten, wovon diese Arbeit handelt.

Dazu zählt die Genauigkeit von Horizontbeobachtungen, der Einfluss der Elevation des Landschaftshorizontes in der beobachtbaren Richtung, die Lichtbrechung und Höhenparallaxe in Horizontnähe, die Bestimmbarkeit des Zeitpunktes der Sonnenwenden im Kalender und schließlich, als Ausgangsüberlegung für die Abgrenzung von zufällig auftretenden Orientierungen, die Häufigkeit, mit der die Sonne über das Jahr hinweg in bestimmten Horzontrichtungen erscheint.

Im zweiten Teil wird die Betrachtung auf die Mondwenden ausgedehnt, bei denen viele weitere Besonderheiten zu beachten sind. Auch die Mondwenden werden in der Archäoastronomie oft zur Interpretation von Ausrichtungen prähistorischer Bauwerke bemüht. Das Phänomen der monatlich auftretenden südlichen und nördlichen Mondwenden, deren Horzontrichtungen noch in einem Langzeitzyklus zwischen den Extremständen der Großen und Kleinen Mondwende variieren, ist ungleich komplexer als die entsprechenden Wendeereignisse im jährlichen Lauf der Sonne, was die Anwendbarkeit der Mondwenden bei archäoastronomischen Interpretationen nachhaltig beeinflusst und insgesamt problematisch erscheinen lässt.

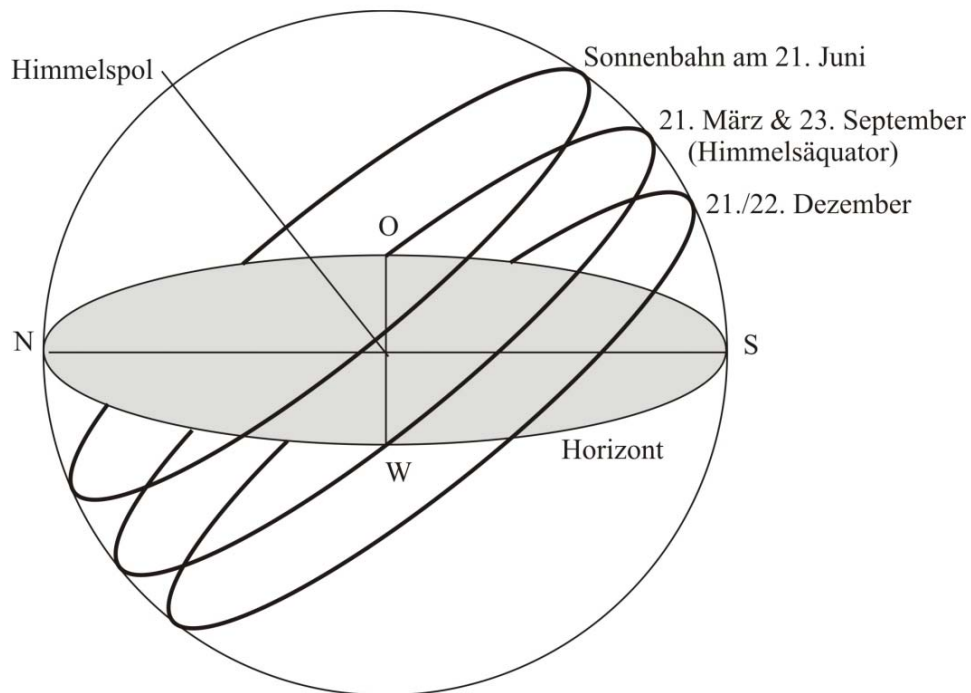


Abb. 1: Darstellung der Himmelskugel mit den drei Sonnenbahnen an den Jahresekdaten - Sommer- und Wintersonnenwende, Frühlings- und Herbst-Tag-und-Nacht-Gleiche. Der Horizont teilt die Bahnen in ein tägliches und ein nächtliches Teilstück, deren relative Längen von der Lage der Bahn am Himmel abhängen.

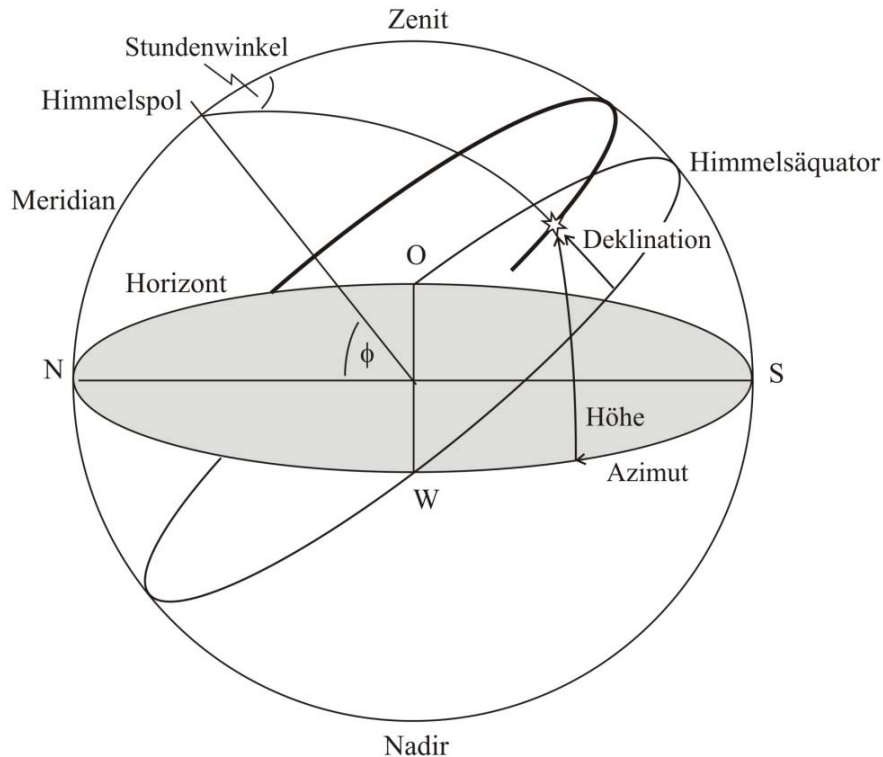


Abb. 2: Darstellung der Gestirnskoordinaten Azimut, Höhe, Deklination und Stundenwinkel auf der Himmelskugel. Die Polhöhe, der Winkel zwischen der Polachse und dem Horizont entspricht der geographischen Breite des Beobachtungsortes.

Der dritte Teil schließlich bringt illustrierende Beispiele für mögliche Sonnen- und Mondwendebeobachtungsstätten aus der archäoastronomischen Forschungspraxis. Es handelt sich dabei um einige ausgewählte Einzelfälle, nicht um die Untersuchung ganzer Ensembles gleichartiger Bauwerke anhand statistischer Methoden, die eigentlich erforderlich sind, wenn der Beweis für die Bedeutung der Sonnen- oder Mondwenden in prähistorischen Kulturen erbracht werden soll. Die Beispiele dienen deshalb vorrangig der Veranschaulichung der behandelten Sachverhalte, nicht dem Nachweis der Bedeutung von Sonnen- und Mondwenden in der Prähistorie.

Teil 1: Die Sonnenwenden

i) Die tägliche Sonnenbahn an der gedachten Himmelskugel

In der sphärischen Astronomie, die sich mit den Bahnen der Himmelskörper befasst, wie sie von einem bestimmten Beobachtungsort der kugelförmigen Erde erscheinen, ist es üblich, den Himmel als ein kugelförmiges Gebilde aufzufassen, das den Beobachter in nicht näher bestimmbarer Entfernung umschließt (Abb. 1). Der Mathematiker nennt ein solches Gebilde "Einheitskugel", wenn es nicht auf die Entfernungen von Objekten zu Mitte - hier Standort des Beobachters - sondern nur auf die Winkelbeziehungen ankommt, die zwischen zwei Gestirnen oder einem Gestirn und bestimmten Bezugslinien auf der Kugel (z.B. dem Horizont oder dem Meridian) auftreten.

Das ist bei der hier behandelten Thematik der Fall, weshalb die Kugel das geeignete mathematische und auch didaktische Hilfsmittel zur Behandlung der geometrischen Grundlagen der Sonnenwenden ist. Der Astronom spricht von der "Himmelskugel", wohl wissend, dass wir nicht wirklich in ein solches Gewölbe eingeschlossen sind, sondern sie allein als abstraktes Hilfsmittel bei der Mathematisierung dient.

Die Himmelskugel wird durch den Horizont, gemeint ist hier der mathematische Horizont, dessen Ebene senkrecht zum Lot liegt und auch das Auge des Beobachters mit erfasst, in eine obere Taghälfte und eine untere Nachthälfte geteilt. Die Abbildung 1 zeigt den Verlauf der täglichen Sonnenbahn auf der Himmelskugel zu den sog. Jahreseckdaten: Sommer- und Wintersonnenwende (21. 6. bzw. 21./22.12. eines jeden Jahres) und Frühlings- und Herbst-Tag-und-Nacht-Gleichen (21.3. bzw. 23.9.). Die extreme sommerliche Sonnenbahn liegt höher als die der Tag-und-Nacht-Gleichen, die winterliche ein entsprechendes Maß darunter. Das größere Teilstück der sommerlichen Sonnenbahn liegt über dem Horizont, d.h. der Tag ist länger als die Nacht. Im Winter ist es gerade umgekehrt.

Das einfache Gebilde der Abbildung 1 zeigt noch nicht die zur rechnerischen Erfassung der Gestirnspositionen erforderlichen mathematischen Größen. Die leistet die Abbildung 2. Die gemeinsame Achse aller kreisförmigen Gestirnsbahnen - die Polachse - verläuft vom Beobachteraue zum Himmelsnordpol. Sie steht senkrecht auf den Ebenen der täglichen Sonnenbahnen. Verbindet man den Himmelspol und den Zenit (den lotrecht über dem Beobachter befindlichen Punkt an der Himmelskugel) mit einem Großkreis, so trifft dieser den Horizontkreis am Nord- und Südpunkt. Dieser Großkreis wird Meridian genannt, weil er den Himmel symmetrisch in eine östliche Hälfte, auf der die Gestirnsbahnen aufsteigen, und in eine westliche, auf der sie hinabsinken, aufteilt.

Die Meridianebene ist die Grundlage für die Definition der Kardinalrichtungen. Die Schnittlinie der Meridianebene mit dem Horizont ist die Nord-Süd-gerichtete Mittagslinie.

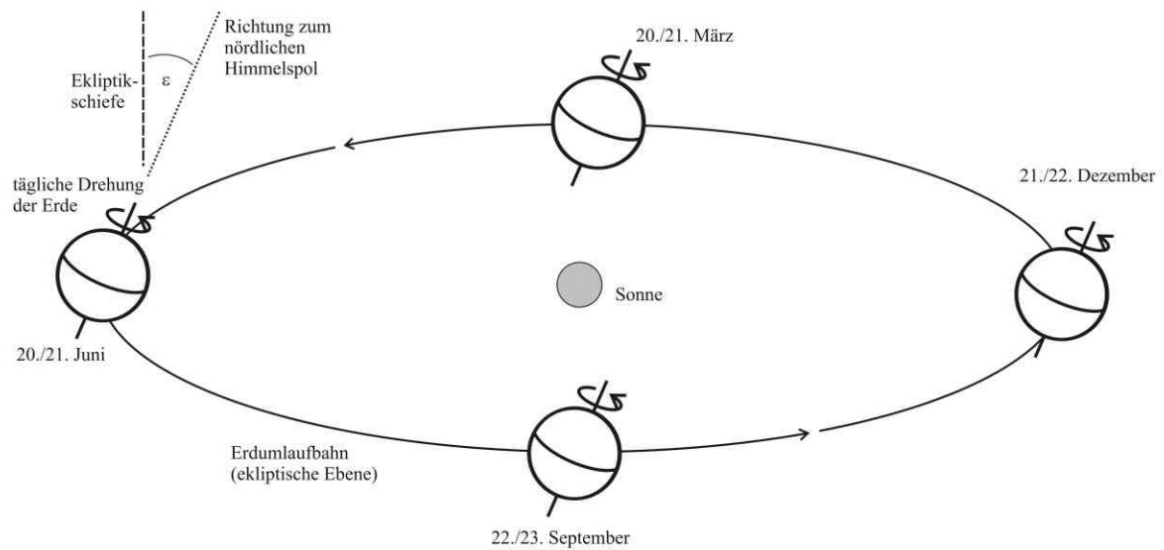


Abb. 3: Darstellung des Umlaufs der Erde um die Sonne. Die Erdachse ist gegen die senkrechte Richtung zur Ekliptik geneigt, weshalb sich beim Umlauf der Erde ständig die Richtung zur Sonne in Bezug zur Äquatorebene der Erde ändert. Eingezeichnet sind vier Erdpositionen auf der Bahn, die den Erdständen zu Beginn der Jahreszeiten entsprechen. Beim Frühlings- und Herbstanfang scheint die Sonne senkrecht auf den Äquator während sie beim Sommer- bzw. Winteranfang senkrecht auf den nördlichen bzw. südlichen Wendekreis scheint.

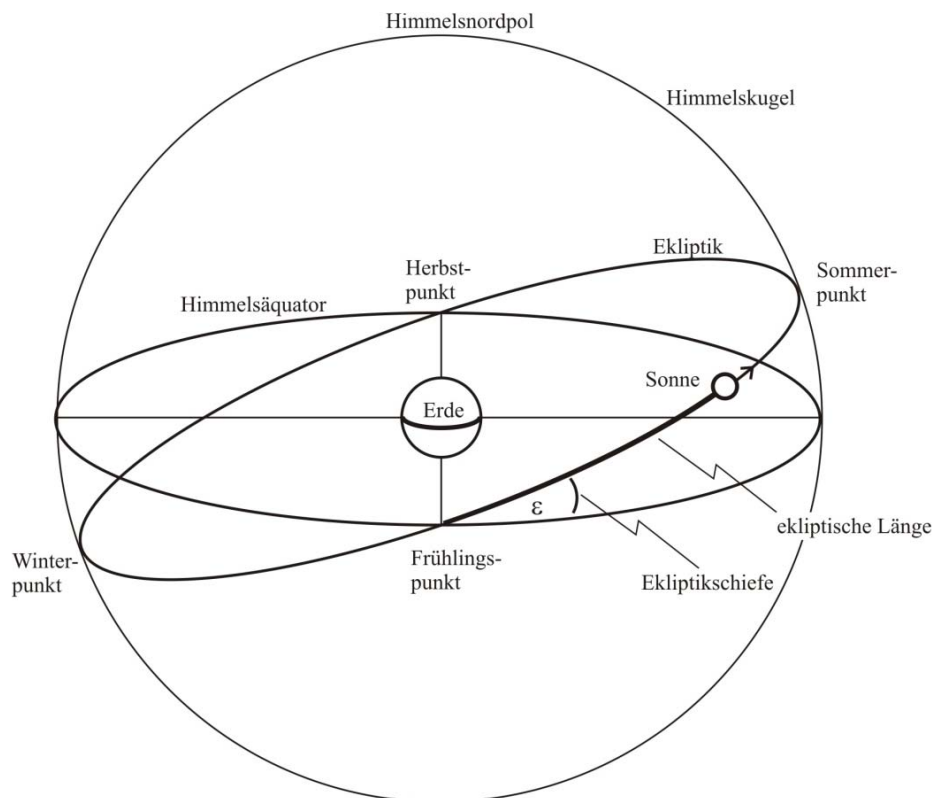


Abb. 4: Geozentrische Darstellung der Lage des Himmelsäquators und der Ekliptik auf der Himmelskugel

Die Ostwestlinie steht senkrecht auf der Nord-Südlinie im Standort des Beobachters. Damit erklären sich die Kardinalrichtungen aus der Symmetrie der täglichen Gestirnsbewegungen. Diese sind allerdings keine echten Bewegungen des Himmels, sondern kommen durch die Erdrotation zustande. Für die Behandlung der Geometrie der Himmelskugel ist die Frage nach den wirklichen Bewegungen - Himmel oder Erde - bzw. dem zugrundeliegenden Weltbild - geozentrisch oder heliozentrisch - irrelevant, weshalb an dieser Stelle nicht auf derartige Grundsatzfragen des Weltenaufbaus eingegangen werden muss.

ii) Die jährliche scheinbare Bahn der Sonne durch den Tierkreis

Eine zweite Symmetrie, die sich ähnlich wie die Kardinalrichtungen durch ein Achsenkreuz auf der Horizontebene äußert, erhält man aufgrund des jährlichen Laufs der Sonne durch den Tierkreis. Diese Symmetrie gilt allerdings nur bei den rein geometrischen Betrachtungen ohne Berücksichtigung der atmosphärischen Lichtbrechung (Refraktion) und der sog. Horizontalparallaxe und sie ist folglich in der Realität nicht streng erfüllt. (Die Einflüsse der Refraktion und der Parallaxe auf einen Horizontstand von Sonne oder Mond werden bei der formelmäßigen Erfassung in einem späteren Abschnitt noch genauer behandelt.)

Aufgrund der Bahnbewegung der Erde um die Sonne (Abb. 3) wandert unser Zentralgestirn für einen irdischen Beobachter, der seinen Standort für unbewegt hält, im Laufe eines Jahres in scheinbarer Bewegung durch die Zone der Tierkreissternbilder hindurch. Die Erde verändert ihre Position auf der Bahn ständig, weshalb die Sonne perspektivisch immer vor einem anderen Sternenhintergrund erscheint. Da die Erdbewegung im Alltagsleben unmerklich ist, und zwar sowohl die tägliche Drehung um ihre Polachse als auch ihr jährlicher Umlauf um die Sonne, hielt man bis zur Anerkennung des heliozentrischen Weltbildes den durch Perspektivenwechsel begründeten scheinbaren Lauf der Sonne durch die ekliptische Ebene für einen tatsächlichen Umlauf der Sonne um eine ruhende Erde. Da die Erdachse gegen die zur Erdbahnebene senkrechte Richtung um einen Winkel ε geneigt ist (sog. "Ekliptikschiefe") bewirkt der Erdumlauf um die Sonne zu einem ständigen Wechsel des Winkelabstandes der Sonne zur Äquatorialebene der Erde. Im Nordhalbkugelssommer z.B. steht die Sonne oberhalb des Äquators, im Nordhalbkugelwinter darunter.

Dieser scheinbare jährliche Lauf der Sonne an der Himmelskugel erfolgt innerhalb der Erdbahnebene, deren Schnittlinie mit der Himmelskugel Ekliptik genannt wird (Abb. 4). Im Bereich dieser Schnittlinie liegen die Sternbilder des Tierkreises, weshalb der scheinbare Lauf der Sonne durch die Ekliptik oft auch als "Lauf durch den Tierkreis" bezeichnet wird, auch wenn die Tierkreisbilder sich insgesamt in einem breiten Band befinden, das sich diesseits und jenseits der Ekliptik erstreckt.

Die ekliptische Ebene ist gegen die Äquatorebene der Erde um einen Winkel von derzeit $23,44^\circ$ geneigt. Dieser Winkel, die Ekliptikschiefe ε , bestimmt die Lage der nördlichsten und südlichsten Tagesbahn der Sonne in Bezug zum Himmelsäquator, der mit der täglichen Bahn der Sonne bei den Tag-und-Nacht-Gleichen zusammenfällt (Abb. 1). Der Winkelabstand einer Gestirnsbahn vom Äquator wird als "Deklination" bezeichnet (Abb. 2). Die extremalen Deklinationen von $+\varepsilon$ weist die Sonne an den Tagen der Sonnenwenden auf, $+\varepsilon$ am Tag der Sommersonnenwende auf der Nordhalbkugel (bzw. Wintersonnenwende auf der Südhalbkugel), $-\varepsilon$ am Tag der Wintersonnenwende auf der Nordhalbkugel (bzw. Sommersonnenwende auf der Südhalbkugel). Die Ekliptikschiefe variiert in einem Zeitraum von ca. 40000 Jahren zwischen rd. $24,5^\circ$ und 23° . Während des Neolithikums z.B. lag ihr Wert bei $23,98^\circ$ (2500 v. Chr.) bzw. $23,93^\circ$ (2000 v. Chr.). Die Sonnenwendrichtungen waren damals entsprechend etwas andere, als man sie am gleichen Ort in heutiger Zeit feststellt.

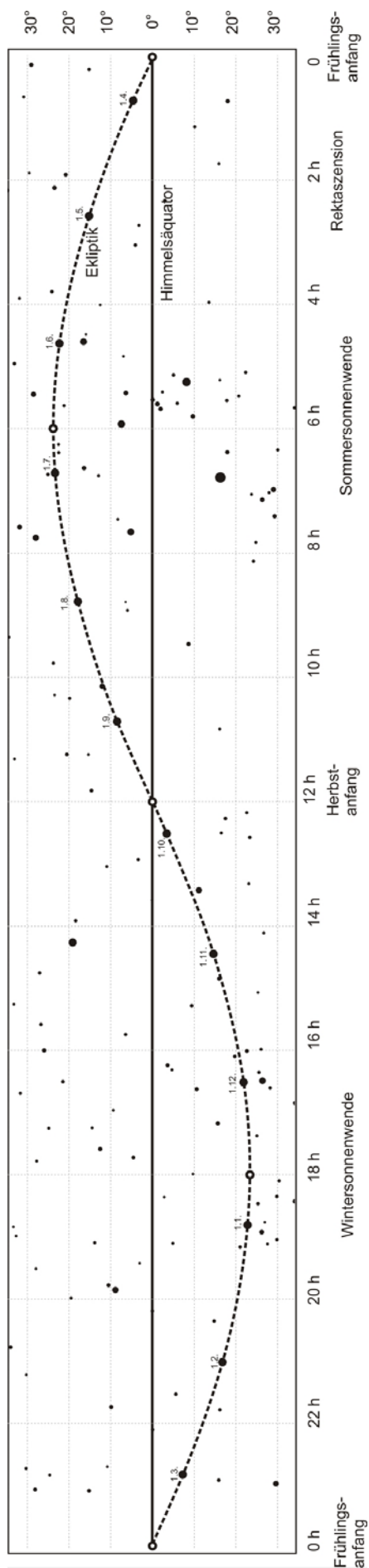


Abb. 5: Sternkarte der Äquatorzone des Himmels. Der Himmelsäquator verläuft als waagerechte Linie bei der Deklination 0 in der Bildmitte. Die gegen die Äquatorebene um $24,44^\circ$ geneigte Ekliptik wird in dieser Darstellung zu einer sinusförmig verlaufenden Linie. Auf der Ekliptik sind Zeitmarken zu finden, die den Stand der Sonne zum gegebenen Datum anzeigen.

In der Abbildung 5, die eine Abrollung des Äquatorgürtels der Himmelskugel zu einer ebenen Sternkarte darstellt, wird deutlich, dass der scheinbare Lauf der Sonne durch die Ekliptik während der Tag-und-Nacht-Gleichen zu einer schnellen täglichen Änderung der Deklination (und damit auch der Tageslänge) führt, während sich in der Zeit der Sonnenwenden die Deklination von Tag zu Tag kaum ändert. In diesen Bereichen des Tierkreises verläuft die Ekliptik parallel zum Himmelsäquator. Die scheinbare Sonnenbahn schlängelt sich in der Abbildung 5 sinusförmig um die waagerechte Himmelsäquatorlinie in der Mitte der Abbildung herum. Folglich steht die Sonne in Teilen ihrer scheinbaren Bahn nördlich bzw. südlich des Himmelsäquators, was die unterschiedlichen hohen Sonnenbahnen der Abbildung 1 im Sommer- bzw. Winterhalbjahr zur Folge hat. Den höchsten Stand oberhalb des Äquators (Deklination $+23,44^\circ$) erreicht die Sonne am Tag der Sommersonnenwende; den niedrigsten am Tag der Wintersonnenwende (Deklination $-23,44^\circ$). Die Alltagserfahrung, dass man im Winter und Sommer über Wochen kaum eine Veränderung der Tageslänge bemerkt, während in Frühling und Herbst die Tageslänge rasch variiert, findet in diesem sinusförmigen Verlauf der Sonnendeklination, der geringe tägliche Deklinationsveränderungen während der Zeiten der Sonnenwenden und große bei den Tag-und-Nacht-Gleichen bewirkt, ihre geometrische Begründung.

Lässt man die Refraktion und die kleine Horizontalparallaxe der Sonne von ca. 9 Bogensekunden unberücksichtigt (dazu später mehr) und betrachtet man die Sonnenmitten und nicht etwa den Ober- oder Unterrand des auf- oder untergehenden Gestirns, so zeigt sich in Gestalt der Sonnenwendrichtungen auf dem mathematischen Horizont die oben genannte zweite Symmetrie: Die Richtung der aufgehenden Wintersonne liegt der Untergangsrichtung der Sommersonne diametral gegenüber. Gleiches gilt für die Aufgangsrichtung der Sommersonne und die Untergangsrichtung der Wintersonne. Somit kann ein Bauwerk, das in eine solche Sonnenwendrichtung deutet, zweierlei interpretiert werden - als zur Wintersonnenwende oder zur Sommersonnenwende, bzw. als zum Aufgang oder zum Untergang hin orientiert. Stonehenge ist dafür das prominenteste Beispiel. Die Prozessionsstraße, die auf die Mitte des Steinkreises zuläuft bzw. sich von ihr entfernt, deutet in Richtung der aufgehenden Sommersonne in der Epoche 1800 v. Chr. zum Horizont [1]. Beobachtet man den Steinkreis dagegen von der Prozessionsstraße aus, so lässt die steinerne Architektur in Richtung der Symmetrieachse ein Fenster frei, durch welches die Wintersonne kurz vor ihrem Untergang hindurchstrahlt [2].

Die genannten Effekte der Refraktion, der Horizontalparallaxe und eine von Null verschiedene Elevation des Landschaftshorizontes stören diese schöne jährliche Symmetrie, die sich in einem Achsenkreuz der Sonnenwendrichtungen auf dem mathematischen Horizont zeigt (Abb. 6), merklich. Bezogen auf das Fallbeispiel Stonehenge bedeutet dies, dass nicht beide Ereignisse im Horizont beobachtbar sind. Das Wintersonnenwend-Phänomen erfolgt in größeren Elevationen (das freibleibende Fenster deutet etwas nach oben zum Himmel) als das Aufgangsereignis am Tag der Sommersonnenwende, welches direkt am Landschaftshorizont sichtbar ist.

iii) Der Horizont als Skala für die Vermessung der Sonnenbahn

Die Daten der Sonnenwenden und auch die dazugehörigen extremalen Bahnlagen der Sonne könnte man am Himmel "ablesen", wenn man dort auch Bezugslinien z.B. für die Deklinationskoordinate vorfände, wie es in Abb. 2 angedeutet ist. Da das in der Natur nicht der Fall ist, muss man sich Hilfsmittel zur Peilung bestimmter täglicher Sonnenbahnen schaffen, will man den jährlichen Sonnenlauf erfassen und in einen leicht handhabbaren

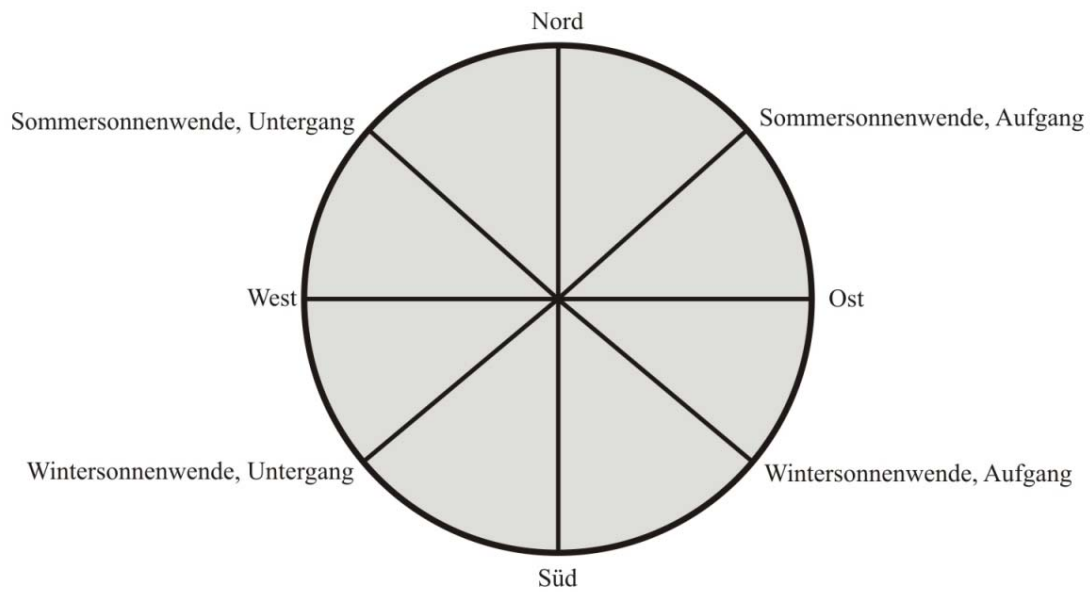


Abb. 6: Die extremen nördlichen und südlichen Auf- und Untergangsrichtungen der Sonne auf dem mathematischen Horizont

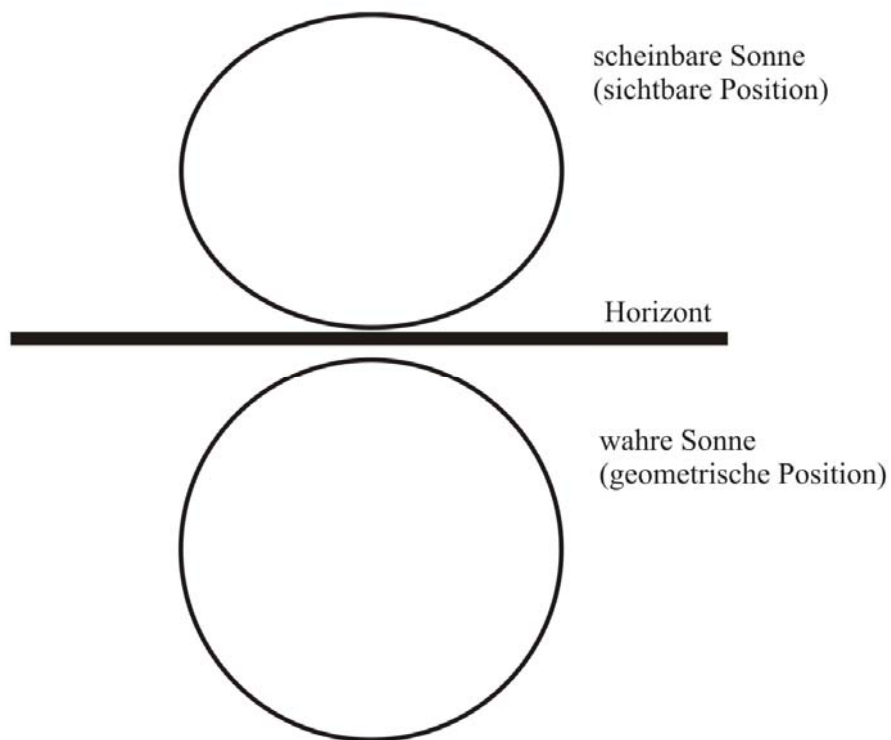


Abb. 7: Anhebung der sichtbaren Sonnenscheibe durch die Refraktion. Setzt die sichtbare Sonne auf den Horizont auf, so ist sie in geometrischer Hinsicht längst untergegangen.

Kalender abbilden. Dies geschieht zweckmäßigerweise durch die Anlage bestimmter Peileinrichtungen auf der Horizontebene, die z.B. auf die Sonnenwendrichtungen oder andere Sonnenstände im Laufe des Jahres zeigen. Hier liegt der Ansatzpunkt der Archäoastronomie begründet, gewisse Ausrichtungen von menschlichen Bauwerken als intentional im Sinne bestimmter Auf- oder Untergangsrichtungen der Sonne zu interpretieren. Hintergrund dieses Ansinnens ist die Zeitbestimmung mit dem stetig und praktisch unveränderlichen Naturzyklus des Sonnenjahres als Grundlage für einen Kalender.

Als zweite Möglichkeit muss auch die Verwendung natürlicher Strukturen in der Landschaftstopographie für die astronomische Betätigung des frühen Menschen beachtet werden. Auf eine bauliche Einrichtung lässt sich verzichten, wenn man sich einen Standort wählt, vom dem aus die gepeilte Richtung der Sonne mit einer markanten Bergspitze, einem Felsen, einer Einkerbung oder steilen Flanke im sichtbaren Landschaftshorizont o. ä. zusammenfällt. Peilungen dieser Art sind besonders genau, wenn die Entfernung zwischen Standort und Peilziel groß ist. In dem Fall äußert sich eine gewisse Ungenauigkeit oder Toleranz in der Augenposition nur in einer kleinen Winkelungenauigkeit beim Blick zum Peilziel. Demgegenüber erreichen Peilungen über z.B. nur einige zehn Meter keine große Genauigkeit und sollten eher als symbolische Ausrichtung auf die Sonne verstanden werden, nicht als astronomische Beobachtungseinrichtung zur Gewinnung kalendarischer Basisdaten.

In beiden Fällen - Einrichtung von künstlichen Peilungen oder Verwendung einer Landschaftsstruktur - übernimmt der Horizont, bzw. darauf sichtbare künstliche oder natürliche Strukturen, die Funktion einer Messskala. Mit ihrer Hilfe lässt sich der jährliche scheinbare Lauf der Sonne durch die Ekliptik (Abb. 5) in Gestalt ihrer Deklinationsänderung verfolgen, die durch den Schnitt der Himmelskugel mit dem Horizontlinie in eine Azimutveränderung des Horizontstandes der Sonne übertragen wird.

Je nach der geographischen Breite des Beobachtungsortes wird der Deklinationsunterschied zwischen Sommer- und Wintersonne von 2ε in einen mehr oder minder großen Azimutunterschied umgewandelt. Auf einer geographischen Breite von 51° - 52° (z. B. Stonehenge und Nebra) beträgt dieser Azimutunterschied zwischen Sommer- und Wintersonnenwende, der sogenannte solare Pendelbogen, in heutiger Zeit ca. 80° . Da die Ekliptikschiefe kein fester Parameter ist, sondern im Lauf der Zeit zu kleineren Werten driftet, folglich in der Vergangenheit ein wenig größer war als heute, war auf der gleichen geographischen Breite der Pendelbogen im Neolithikum ca. 2° - 3° größer.

Verlagert man den Beobachtungsstandort nach Norden (Süden) so vergrößert (verkleinert) sich der Pendelbogen, und zwar ebenfalls nach genau berechenbarem Muster.

Die Weite des Pendelbogens ist damit - ebenso wie die Angabe der Dauer des längsten Tages - ein Maß für die geographische Breite des Beobachters. Ist man sich dieser Veränderungen beim Übergang auf andere Breitengrade bewusst, so ist sogleich auch ein Widerspruch zur Annahme einer scheibenförmigen Erde erbracht, auf der es solche Variationen im Pendelbogen bzw. in der Länge des längsten Tages nicht gibt. Von der Reise des Pytheas von Marseille in die nördlichen Gefilde Europas ist z.B. überliefert, dass er die Nordbreite über die Dauer des längsten Tages angab [3]. Den Polarkreis, wo beim Sommeranfang das Phänomen der Mitternachtssonne zu sehen ist, der solare Pendelbogen sich mithin auf 180° aufweitet und die Sonne im Laufe des Jahres den ganzen Horizontkreis erfasst, erreichte er allerdings nicht.

iv) Teilung des Jahres in Eckdaten für Sonnenwenden und Äquinoktien

Die tägliche Variation der Auf- oder Untergangsrichtung der Sonne wird vor einer Sonnenwende immer kleiner. Begibt sich die Sonne schließlich in die Richtung der Wende hinein, scheint sie dort beim Auf- oder Untergang für einige Tage stillzustehen. Danach verlagert sie zunächst unmerklich langsam, dann wieder schneller und schneller werdend, ihre Richtung aus dem Extremstand wieder heraus. Einige Tage um die Sonnenwende herum kann man mit bloßem Auge keine Veränderung ihres Horizontstandes mehr feststellen, da die tägliche Variation dann unterhalb der Auflösungsgrenze des freisichtigen Auges liegt. Will man folglich das Datum der Sonnenwende auf den Tag genau bestimmen, so hilft die Beobachtung des Horizontstandes am Tag der Sonnenwende allein wenig. Man muss dazu eine merkliche Zeitspanne vor der Sonnenwende (z.B. zwei oder drei Wochen) die Aufgangsrichtung der Sonne peilen und markieren und dann bei der Wiederkehr dieser Richtung die entsprechende Zeitspanne nach der Sonnenwende das Datum der Wende aus der Mittelung der Daten dieser beiden gleichartigen Ereignisse vorher und nachher gewinnen.

Hat man auf diese Weise die Daten der Sommer- und Wintersonnenwende und die beiden dazwischen liegenden Zeitspannen ermittelt, so erhält man das Datum der Tag-und-Nacht-Gleichen nicht etwa durch Mittelung der Zeitspannen zwischen den Sonnenwenden. Die Äquatorbahn liegt zwar räumlich gesehen in der Mitte zwischen den extremalen Sonnenbahnen an den Tagen der Sonnenwenden und stellt folglich die räumliche Halbierung dar, nicht aber die zeitliche.

Weil die scheinbare Bewegung der Sonne durch den Tierkreis den auf die Erdbahnellipse bezogenen keplerschen Gesetzen zufolge nicht mit konstanter Geschwindigkeit erfolgt, muss man diese beiden Arten der Halbierung voneinander unterscheiden. Die Sonne durchläuft das winterliche Teilstück ihre Bahn (von Herbst bis Frühlingsanfang) schneller als das sommerliche Teilstück (von Frühlings- bis Herbstanfang). In heutiger Zeit macht der Unterschied der beiden Halbjahre fast sechs Tage aus.

Das Perihel der Erdbahn, jener Punkt der Ellipsenbahn, an dem ihr Abstand zur Sonne minimal und ihre Bahngeschwindigkeit auf der Keplerellipse maximal ist, wird derzeit alljährlich am 3. Januar durchlaufen; der Winter ist demnach kürzer als der Sommer (auf der Nordhalbkugel). Der Periheldurchgangstag verschiebt sich allerdings pro Jahrhundert um 1,75 Tage vorwärts im Kalender, und die Länge der beiden Halbjahre hängt deshalb auch von der Epoche der Betrachtung ab.

Bei der Mittelung der Zeitspanne zwischen der Sommer- und Wintersonnenwende erhält man damit ein Datum, das noch im Sommerhalbjahr liegt und bei dem die Sonne eine Deklination im Bereich von $0,5^\circ$ bis 1° aufweist, je nach der Lage eines Jahres im vierjährigen Basisschaltzyklus und je nach der Epoche der Betrachtung.

Bei archäoastronomischen Untersuchungen sind diese zeitlichen Äquinoktien den geometrischen oder räumlichen Äquinoktien mit einer Sonnendeklination von Null (Sonne auf dem Himmelsäquator) vorzuziehen, weil sie aus der einfachen zeitlichen Mittelwertbildung zwischen Sonnenwendeterminen folgen, nicht auf der mit horizontastronomischen Beobachtungstechniken praktisch nicht machbaren Bestimmung der Sonnenbahn mit Deklination 0. Die geometrische Sonnenmitte geht in dem Fall zwar in der Ostrichtung auf und in der Westrichtung unter; sie ist aber nicht sichtbar, weil die Refraktion den scheinbaren Ort der Sonne merklich anhebt (Abb. 7) und dieses einfache Prinzip damit zunichte macht. Außerdem besorgt die schnelle Deklinationsänderung der Sonne bei den Äquinoktien schon innerhalb eines Tages eine beträchtliche zusätzliche Abweichung der Sonnenmitte vom Himmelsäquator zwischen Sonnenauf- und -untergang. Die Bestimmung der räumlichen

Äquinoktien, so einfach es zunächst anmutet, ist deshalb in der Praxis mit größeren Schwierigkeiten behaftet. Bei der Bestimmung der zeitlichen Äquinoktien durch einfache Mittelwertbildung treten solche Schwierigkeiten nicht auf. Das spricht für die Präferenz dieser zeitlichen Äquinoktien in der Archäoastronomie.

v) Formelmäßige Erfassung

Der scheinbare Lauf der Sonne durch den Tierkreis, der gemäß den keplerschen Gesetzen mit ungleichförmiger Geschwindigkeit erfolgt, lässt sich mit guter Näherung durch die folgende Formel berechnen:

$$\bar{\lambda} = M + 2e \cdot \sin M$$

Die ekliptische Länge $\bar{\lambda}$, bezogen auf das Perihel der Erdbahn als Ausgangspunkt der Zählung, setzt sich aus der mittleren Länge der Sonne M und einem Zusatzterm zusammen, der die Schwankung im Planetenlauf aufgrund des zweiten Keplerschen Gesetzes beschreibt. In diesen Zusatzterm geht die numerische Exzentrizität der Erdbahn ein ($e = 0,0167$). Die mittlere Länge M , die auch das Zeitargument für den Zusatzterm bildet, steigt gleichmäßig mit der Zeit an (sog. mittlere Anomalie):

$$M = \frac{360^\circ}{365,2422 \text{ Tage}} \cdot n = 0,9856^\circ / \text{Tag} \cdot n, \quad n = \text{Zahl der Tage seit dem Periheldurchgang}$$

Tatsächlich beginnt die Zählung der ekliptischen Länge λ konventionsgemäß mit dem Durchgang der Sonne durch den Frühlingspunkt am 21. März, nicht an dem Periheldurchgangstag am 3. Januar. Entsprechend ist in der folgenden Formel λ_0 so zu wählen, dass die ekliptische Länge bei Frühlingsanfang Null wird:

$$\lambda = \bar{\lambda} + \lambda_0$$

Mit $\lambda_0 \approx 280^\circ$ erreicht man dies. Allerdings sollte für genauere Betrachtungen der für das laufende Jahr gültige Wert von λ_0 einem Jahrbuch entnommen bzw. aus den tatsächlichen Zeitpunkten für Periheldurchgang und Frühlingsanfang ermittelt werden, weil sich diese Daten von Jahr zu Jahr leicht verschieben. Man bestimmt zunächst $\bar{\lambda}$ für die Zeitdifferenz zwischen Periheldurchgang und Frühlingsanfang und addiert einen Wert für λ_0 auf, so dass λ für diesen Tag (Frühlingsanfang) Null wird.

Für archäoastronomische Betrachtungen ist die Kenntnis des Periheldurchgangstages vergangener Epochen ebenfalls zwingend erforderlich, wenn man die schwankenden Effekte der Keplerbewegung erfassen möchte. Gegenüber einer hypothetischen, gleichförmig auf einer Kreisbahn laufenden Erde treten Unterschiede von bis zu zwei Tagen auf ($2e = 0,0334 \text{ rad} = 1,91^\circ$ im Vergleich zu einer mittleren täglichen Bewegung von $0,9856^\circ$), was nicht mehr vernachlässigt werden kann, wenn man sich z.B. die Frage stellt, wo die Sonne an den Tagen in der zeitlichen Mitte zwischen Sonnenwenden und Äquinoktien auf der Ekliptik steht.

Ist die ekliptische Länge der Sonne für einen bestimmten Tag bekannt (die ekliptische Breite ist immer 0), so lässt sich der Satz der Sonnenkoordinaten im Ekliptiksystem (ekliptische Länge λ , ekliptische Breite β) durch Transformation in den entsprechenden Koordinatensatz

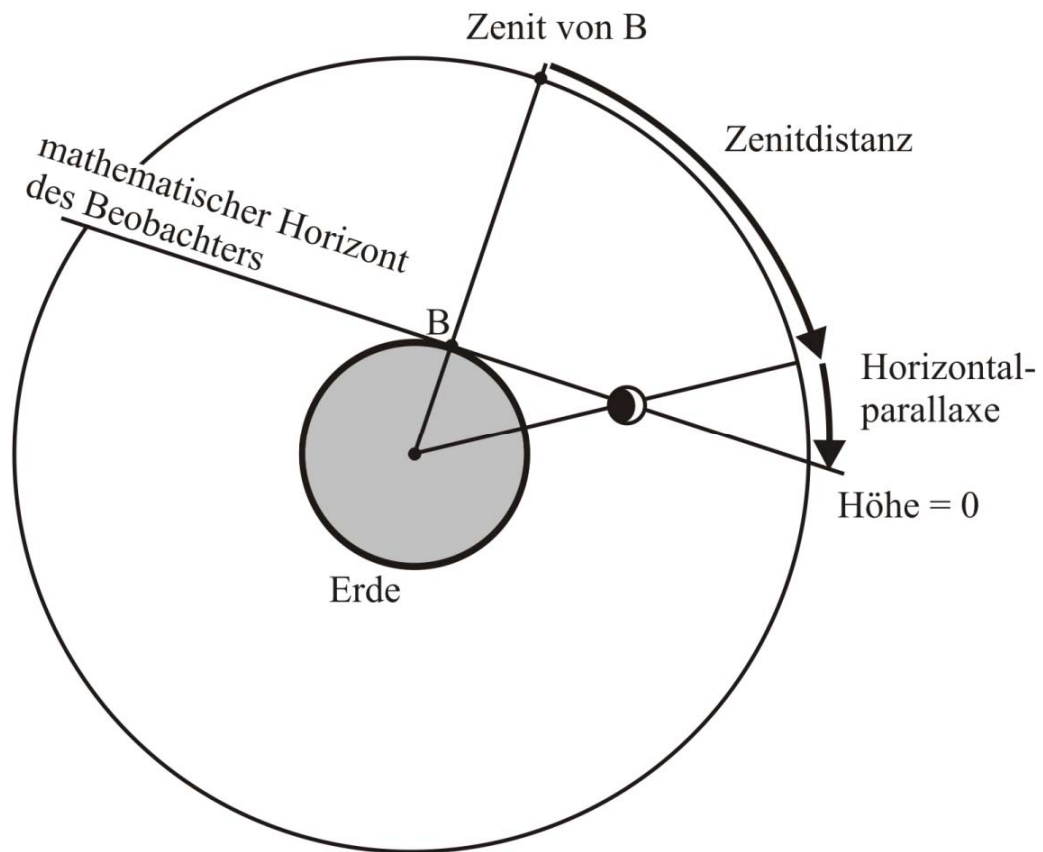


Abb. 8: Horizontparallaxe eines nahen Gestirns. Der Beobachter am Erdrand erblickt es in geringerer Höhe als ein hypothetischer Beobachter im Erdzentrum.

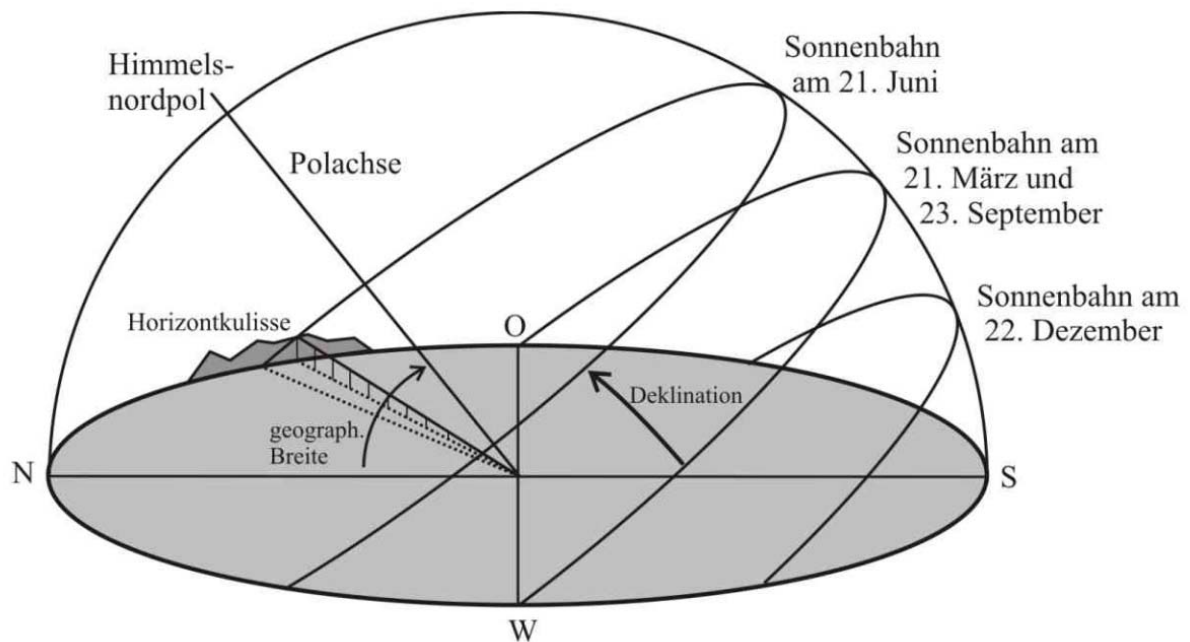


Abb. 9: Der in Nordostrichtung erhöhte Landschaftshorizont führt zu einer Verlagerung des Aufgangssazimutes gegenüber der Richtung auf dem mathematischen Horizont (strichlierte Line) nach Süden.

im Äquatorialsystem überführen (Rektaszension α , Deklination δ). Dafür muss weiterhin nur die Ekliptikschiefe für den Zeitpunkt der Betrachtung bekannt sein, die sich für alle in der Archäoastronomie relevanten Epochen folgendermaßen bestimmt [5]:

$$\varepsilon(T) = 23,4392911111 - 0,01300555556 \cdot T - 0,01666666666 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 + 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot T^3$$

Darin ist T die Zahl der Jahrhunderte seit dem Jahr 2000 nach Christi Geburt. Untersucht man z.B. die Epoche 2000 v. Chr. so ist $T = -40$.

Für $\beta = 0$ lauten jetzt die Transformationsformeln ins Äquatorialsystem:

$$\tan \alpha = \cos \varepsilon \cdot \tan \lambda$$

$$\sin \delta = \sin \varepsilon \cdot \sin \lambda$$

Damit liegt nun auch die Information über die Sonnendeklination an diesem Tag vor. Oft genügt allerdings für einfache Überslagsberechnungen bereits die folgende Näherungsformel für die Sonnendeklination (sie ignoriert die Besonderheiten der Keplerbewegung):

$$\delta \approx \varepsilon \cdot \sin \left(\frac{360^\circ}{365,2422 \text{ Tage}} \cdot n \right), \quad n = \text{Zahl der Tage seit Frühlingsanfang (n = 0)}$$

Zur Berechnung der Aufgangssazimute (Abkürzung a_N für Nordazimut) der Sonnenwenden auf einer ebenen Horizontlinie wird die folgende Formel aus der sphärischen Trigonometrie verwendet (ϕ = geographische Breite des Beobachtungsortes):

$$\cos a_N = \frac{\sin \delta - \sin \phi \cdot \sin h_w}{\cos \phi \cdot \cos h_w}$$

Darin ist h_w die „wahre Höhe“ des Gestirns bei der Beobachtung, also die Höhe der Horizontlinie. In dieser wahren Höhe wird es jedoch nicht gesehen, da die Parallaxe P und die Refraktion R einen anderen Stand vortäuschen, der als „scheinbare Höhe“ h_s bezeichnet wird. Man erhält die wahre Höhe folgendermaßen:

$$h_w = h_s - R + P (\pm \text{Gestirnsradius})$$

Der Refraktionseffekt hebt ein Gestirn scheinbar an. Deshalb ist sie bei der Ermittlung der wahren Höhe von der scheinbaren abzuziehen. Bei der Parallaxe ist es genau umgekehrt. Sie führt zu einer scheinbaren Absenkung des Gestirns gegen die geometrische - "wahre" - Position, weil man die Gestirne vom Erdrand aus beobachtet und nicht vom Geozentrum (Abb. 8).

Beobachtet man nicht die Gestirnsmitte, sondern den Oberrand, so ist der Gestirnsradius noch abzuziehen bzw. hinzuzurechnen (bei der Unterrandsbeobachtung).

Die scheinbare Höhe ist bei der Beobachtung auf dem mathematischen Horizont Null, bei der Beobachtung der Kimm z.B., der sichtbaren Meereshorizontlinie, ist es die Kimmtiefe, bei Beobachtungen im Flachland die Elevation der Horizontlinie. Kimm und Horizontlinie liegen unterhalb des mathematischen Horizontes, wenn die Beobachtung von einem erhöhten

Standpunkt erfolgt. Man spricht dann auch von einem negativen Höhenwinkel, der entsprechend in die obige Formel mit negativem Vorzeichen einzusetzen ist.

Die Refraktion zur scheinbaren Höhe, also $R(h_s)$, wird mit der folgenden Näherungsformel ermittelt, die sich auch gut für eine Programmierung eignet [4]:

$$R(h_s) = \frac{1'}{\tan\left(h_s + \frac{7,31}{h_s + 4,4}\right)} \quad (h_s \text{ in Grad})$$

Für $h_s = 0$, also Horizontständen auf dem mathematischen Horizont, erhält man eine mittlere Horizontalrefraktion von 34,5 Bogenminuten. Die entsprechende Formel für die Refraktion zu wahren Höhen, $R(h_w)$, sei der Vollständigkeit hier auch aufgeführt. Man benötigt sie, wenn man bei der Berechnung von Gestirnspositionen, die zunächst auf der wahren (geometrischen) Position basieren, zur scheinbaren (tatsächlich sichtbaren) Position gelangen will.

$$R(h_w) = \frac{1,02'}{\tan\left(h_w + \frac{10,3}{h_w + 5,11}\right)} \quad (h_w \text{ in Grad})$$

Die Höhenparallaxe P berechnet sich nach $\sin P = HP \cdot \cos(h_s - R)$, wobei für die Horizontalparallaxe HP der Sonne 9 Bogensekunden eingesetzt werden. Der Effekt der Sonnenparallaxe erweist sich somit als sehr gering; er liegt unterhalb des Auflösungsvermögens des freisichtigen Auges und kann in der Archäoastronomie getrost vernachlässigt werden.

Für die Berechnung der Auf- und Untergangsrichtungen der Sonne nimmt man i. a. den Sonnenoberrand, weil das Auftauchen des ersten Sonnenstrahls bzw. das Verschwinden des letzten Strahls hinter dem Horizont wegen der großen Helligkeit der Sonnenscheibe ein auffälliges Ereignis ist. Es ist sogar ein Kriterium, welches der binären Logik folgt: Ist direktes Sonnenlicht sichtbar - ja oder nein?

Für Überschlagsrechnungen kann man aber auch den Aufgang der Sonnenmitte auf dem mathematischen Horizont nehmen, wenn man die genaue Form einer unregelmäßig verlaufenden Horizontlinie nicht kennt. Die Fehler solcher Überschlagsrechnungen für die Sonnenwendazimute liegen zumeist nur im Bereich von 1 Grad, was ausreicht, um sich einen ersten Überblick zu verschaffen.

Die größte Unsicherheit bei allen Kalkulationen liegt in der möglichen Schwankung der Refraktion begründet, die von Tag zu Tag aufgrund der Abhängigkeit von Luftdruck und Temperatur zu jeweils anderen Werten führt. Die Variation der Horizontrefraktion kann sogar im Bereich des Sonnendurchmessers liegen können, wenn sich eine Inversionswetterlage einstellt [6]. Auch dieser Effekt kann u. U. zu Schwankungen im Bereich von einem Grad führen, wenn die Peilung horizontnah ist. In größeren Höhen ist der Sonnenstand dagegen nicht so stark von der Refraktion und ihren witterungsbedingten Schwankungen berührt.

Erst nachdem die beobachtete (scheinbare) Höhe von den Effekten der Refraktion und der Parallaxe bereinigt ist, kann die eingangs dieses Abschnitts angegebene Formel, die für wahre, geozentrische Höhen gültig ist, zur Bestimmung der Azimutrichtungen der Sonnenwenden herangezogen werden. Sie kann verwendet werden, wenn man die

Richtungen auf dem mathematischen Horizont bzw. auf einem (zumindest abschnittsweise) ebenen Landschaftshorizont bekannter Höhe bestimmen will. Im Fall unebener, gar zerklüfteter Landschaftshorizonte lässt sich so nicht vorgehen, da die Elevation des Horizontes selbst vom Azimut abhängt, das es eigentlich zu bestimmen gilt. Ein erhöhter Landschaftshorizont in Richtung Nordosten führt z.B. zu einer Verschiebung des Aufgangssazimutes der Sommersonne nach Süden (Abb. 9).

Bei unregelmäßigen Landschaftshorizonten beschreitet man den umgekehrten Weg und bestimmt aus dem Nordazimut und der Elevation eines bestimmten Horizontpunktes die Deklination dieser Landmarke nach folgender Formel:

$$\sin \delta = \sin h_w \cdot \sin \varphi + \cos a_N \cdot \cos h_w \cdot \cos \varphi$$

Ausgehend von der scheinbaren Höhe des Landschaftsmals ist auch hier durch Berücksichtigung der Refraktion und ggf. des Parallaxeneffektes die wahre Höhe der Sonnenmitte für ihre Position in Richtung dieser Peilung zu bestimmen. Zusammen mit dem Nordazimut des Landschaftsmals und der geographischen Breite des Beobachtungsortes erhält man dann gemäß der Formel die geozentrische Deklination δ der Sonnenmitte. Die Deklination ermöglicht schließlich die Bewertung der Horizontmarke hinsichtlich ihrer astronomischen Relevanz. Liegt ihr Betrag z.B. im Bereich der Ekliptikschiefe, so darf man eine Verwendung dieser Marke als Sonnenwendpeilung vermuten.

vi) Häufigkeitsverteilung der Horizontrichtungen und Deklinationen der Sonne

Berechnet man die Aufgangsrichtungen der Sonne an allen Tagen über mehrere Jahre hinweg, so erhält man die in Abbildung 10 gezeigte Häufigkeitsverteilung. Horizontstände der Sonne treten natürlich nur innerhalb ihres Pendelbereichs auf, der durch die Sonnenwendrichtungen begrenzt ist. Wegen der Veränderung der täglichen Variation der Aufgangsrichtung, die bei den Wendungen verschwindet, zeigt die Verteilung zwei Spitzen bei den Sonnenwendrichtungen. Dort sind mehr Aufgänge sichtbar, als etwa im mittleren Bereich der Verteilung, in dem die Sonne ihre Aufgangsrichtung täglich rasch ändert.

Nimmt man in einem fiktiven Beispiel einmal an, eine prähistorische Kultur habe ihre Gräber zur Sonnenaufgangsrichtung am Todestag der Verstorbenen hin orientiert, und setzt man weiterhin voraus, die Sterblichkeit der Population sei nicht abhängig von der Jahreszeit (was natürlich fraglich ist, wenn man bedenkt, dass der frühe Mensch den winterlichen Einflüssen stärker ausgesetzt war, als das in der heutigen technischen Zivilisation der Fall ist), so erhielte man bei einer sehr großen Zahl von Gräbern diese Verteilung ihrer Orientierungen.

Flüchtig betrachtet sieht es so aus, als seien die Sonnenwenden in dieser Kultur bevorzugt worden. Die nähere Betrachtung verrät jedoch, dass die Grabrichtungen - im zeitlichen Sinne - über das Jahr gleichmäßig verteilt sind.

Auch wenn sich diese Verteilung unter den gewählten Grundannahmen nicht als Hinweis auf eine Sonnenwendverehrung entpuppt, so verrät sie aber dennoch die Hinwendung der Kultur zur Sonne. Käme der Orientierung der Gräber keine besondere Beachtung zu und wäre sie zufällig erfolgt, so müssten die Orientierungen über alle Richtungen des Horizontkreises gleichverteilt sein (in Abb. 10 in grau hinterlegt). Es ist klar, dass man bei einer sehr großen Anzahl von Gräbern, die zudem einer Kultur und einer bestimmten Region, deren Grenzen durch unabhängige archäologische Erkenntnisse festgelegt sein sollten, schon durch den Augenschein entscheiden kann, ob eine Verteilung von z.B. Graborientierungen von der Zufallsverteilung abweicht oder ihr entspricht. Im praktischen Fall ist das dagegen nur selten

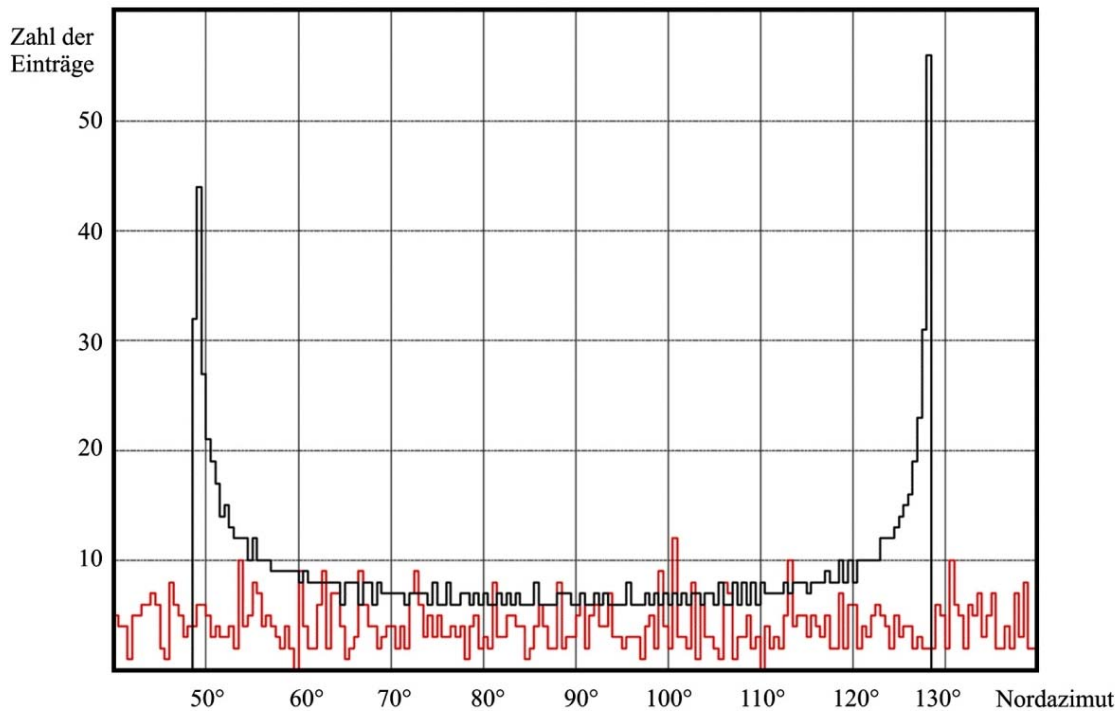


Abb. 10: Häufigkeitsverteilung der täglichen Aufgangsazimute der Sonne über einen Zeitraum von vier Jahren. Die Häufungen bei den Sonnenwendrichtungen erklären sich durch die geringe tägliche Variation der Aufgangsrichtung in diesen beiden Bereichen. Hinterlegt ist eine Zufallsverteilung für die gleiche Anzahl beliebiger Richtungen auf dem gesamten Horizont.

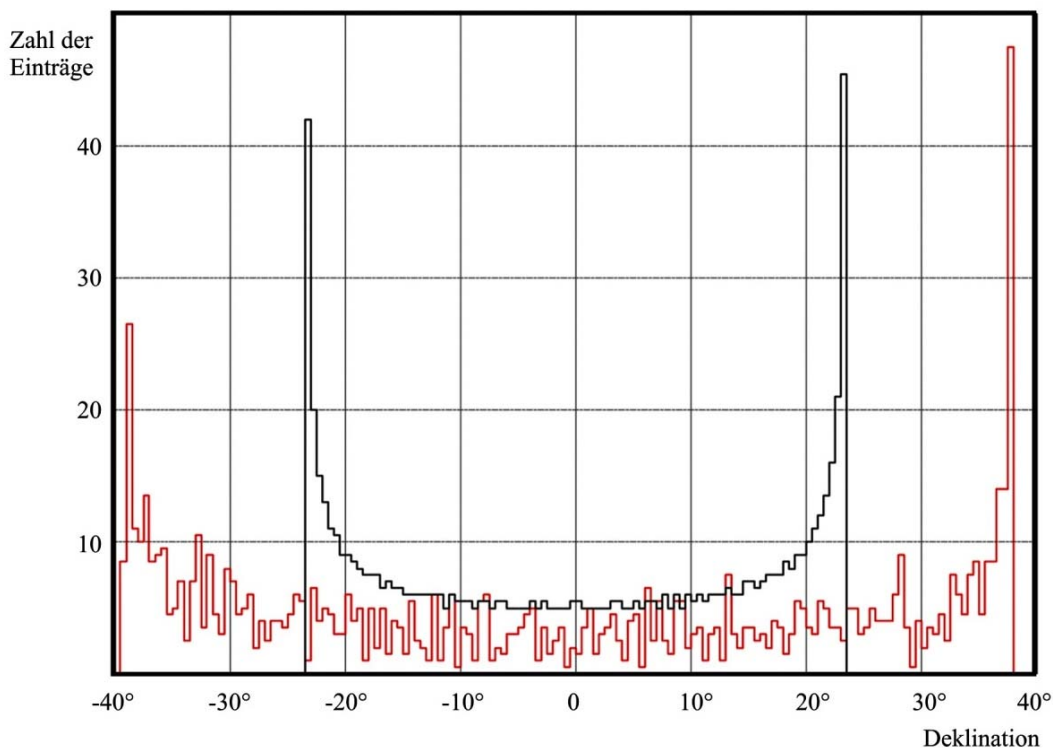


Abb. 11: Häufigkeitsverteilung der täglichen Sonnendeklinationen über einen Zeitraum von vier Jahren. Hinterlegt ist eine Zufallsverteilung für die gleiche Anzahl beliebiger Richtungen auf dem gesamten Horizont. Die Zufallsdeklinationen liegen zwischen den Deklinationswerten des Nord- bzw. Südpunktes des Horizontes und häufen sich dort, weil die Gestirnsbahnen in diesen Richtungen parallel zum Horizont liegen.

möglich, weil die regional und zeitlich eingegrenzten Fundensembles zumeist recht klein sind. In solchen Fällen muss man mit den Methoden der mathematischen Statistik entscheiden, ob sich eine Verteilung signifikant von der Zufallserwartung unterscheidet, oder mit ihr konform ist. Die Statistik führt nie zu absolut gesicherten Aussagen, sondern immer nur zu Ergebnissen, die mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit richtig sind. Innerhalb zuvor verabredeter Vertrauensgrenzen veranlassen sie gegebenenfalls zur Ablehnung der Zufallshypothese.

Üblicherweise geht man nicht vom Zufall aus, wenn eine beobachtete Verteilung mit einer Wahrscheinlichkeit von nur noch 0,3% vom Zufall hervorgebracht wird (3σ - Grenze). Die Irrtumswahrscheinlichkeit, mit der man sich bei diesem Urteil abfinden muss, liegt dann immer noch bei 1 in rd. 330 Fällen.

Die Behandlung von geeigneten Berechnungsmethoden, die diese Entscheidungskriterien liefern, ist nicht Gegenstand dieser Arbeit. Einige dieser Methoden, Anwendungsbeispiele und Ergebnisse archäoastronomischer Forschungsarbeiten auf der Basis dieser Betrachtungen sind in der Literatur beschrieben, wovon das Literaturverzeichnis eine Auswahl bietet [7, 8, 9, 10, 11].

Ist der Landschaftshorizont zerklüftet, so dass eine Betrachtung der Verteilung der Azimute nicht mehr ratsam ist, weil man dabei den Effekt der Elevation des Landschaftshorizontes unterschlägt, so sind die Deklinationen der Sonnenbahnen bzw. der untersuchten Landschaftsmerkmale zu betrachten. Die Abbildung 11 zeigt die Verteilung der Sonnendeklinationen über einen Zeitraum von vier Jahren. Ihre Ähnlichkeit zur Azimutverteilung in Abbildung 10 ist evident, denn durch die Beobachtung der Horizontstände der aufgehenden Sonne, wird diese Deklinationsverteilung einfach zum azimutalen Pendelbogen gedehnt. Das Ausmaß der Dehnung hängt von der geographischen Breite des Beobachtungsortes ab. Eine Deklinationsverteilung, die der Zufallsannahme (zufällige Gräberorientierungen) entspricht, überdeckt den gesamten Bereich der auf der gewählten geografischen Breite von $51,5^\circ$ Nord möglichen Deklinationen zwischen $-38,5^\circ$ und $+38,5^\circ$ (gilt auf dem mathematischen Horizont). Die Verschiebung zu etwas größeren Deklinationen kommt durch die Berücksichtigung größerer Elevationswerte zustande, wie sie in einer hügeligen Landschaft zu erwarten sind.

Eine Zufallsverteilung erzeugt man zum Beispiel mit Monte-Carlo-Methoden, indem man im Computer mit einem Zufallsgenerator Richtungen mit beliebigen Azimutwerten zwischen 0 und 360° "würfelt" und scheinbare Höhenwinkel mit einer für die Untersuchungslandschaft typischen Verteilung simuliert. Aus den gewürfelten Wertepaaren für das Nordazimut und die scheinbare Höhe einer jeden simulierten Peilung berechnet man mit den Methoden des vorherigen Abschnitts die zugehörigen Deklinationswerte und trägt diese ebenfalls in einem Häufigkeitsdiagramm auf. In Abbildung 11 ist eine solche Zufallsverteilung der Deklinationsverteilung der Sonne in grau hinterlegt. Die Häufungen bei den Grenzen des möglichen Deklinationsbereichs kommen zustande, weil am Nord- und Südpunkt des Horizontes die Gestirnsbahnen flach verlaufen, und bei einer gewählten Schrittweite für die einzelnen Azimutbereiche des Diagramms (hier $0,5^\circ$) in den nur gering von Nord oder Süd abweichenden Richtungen sich praktisch der gleiche Deklinationswert wie dort einstellt (Abb. 12). In den Richtungen, wo die Gestirnsbahnen einen größeren Winkel zur Horizontlinie aufweisen, ist das dagegen nicht der Fall.

Sofern die Orientierung eines Gräber-Ensembles nicht zufällig, sondern z.B. nach der Sonne erfolgt ist, muss sich dessen Deklinations-Verteilung wiederum von dieser Zufallsverteilung signifikant unterscheiden.

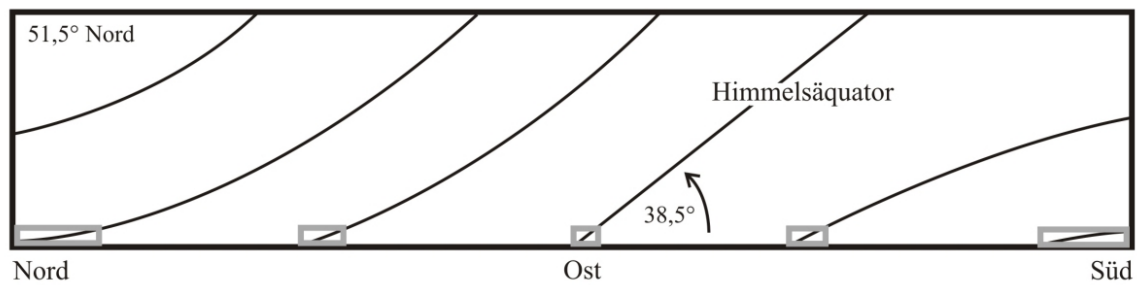


Abb. 12: Verlauf der Gestirnsbahnen in Bezug zum Horizont auf einer geographischen Breite von $51,5^\circ$ Nord. Die größte Neigung zum Horizont stellt sich bei der Deklination 0 ein, wenn die Bahn auf dem Himmelsäquator liegt. Im Bereich der Sonnenwenden ist die Neigung flacher und in der Nord- und Südrichtung verlaufen die Bahnen parallel zum Horizont. Die Bahnen zeigen an, dass bei gegebener Toleranz im Höhenwinkel eine flach verlaufende Bahn in einem weiten Azimutbereich zu einer identischen Deklinationszuweisung führt, wodurch die Häufungen in der Zufallsverteilung der Abbildung 9 an den Grenzen des Deklinationsbereichs erklärt werden.

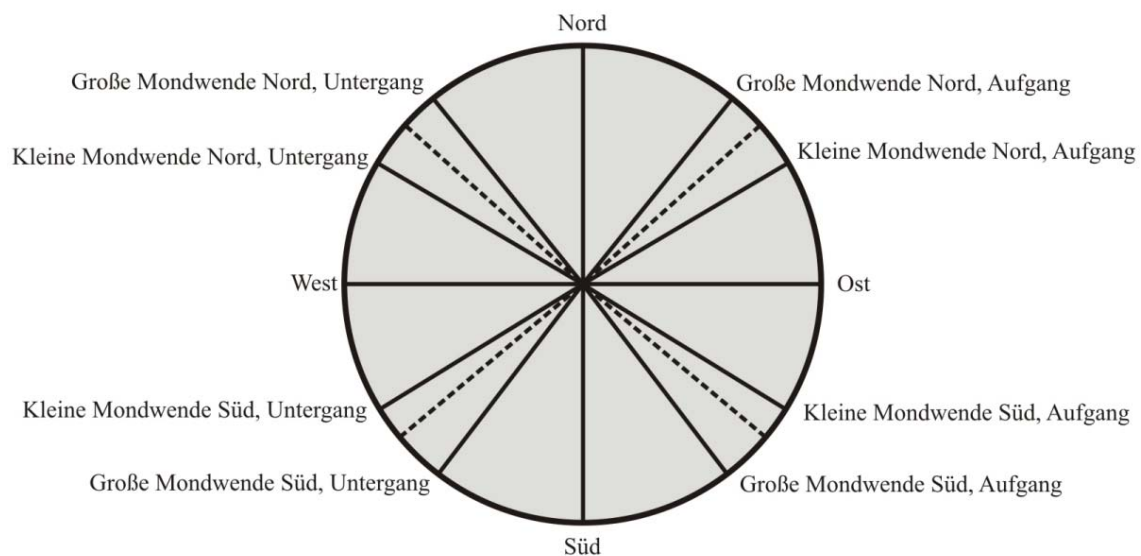


Abb. 13: Die extremen nördlichen und südlichen Auf- und Untergangsrichtungen des Mondes auf dem mathematischen Horizont. Der monatliche Pendelbogen des Mondes variiert zwischen den Richtungen der Großen und Kleinen Mondwenden. Die Sonnenwendrichtungen sind zum Vergleich als Strichlinien eingezeichnet.

Teil 2: Die Mondwenden

i) Allgemeine Beschreibung

Der Mond wandert ähnlich wie die Sonne täglich von Ost über Süd nach West über den Himmel. Jedoch durchläuft er den gesamten Pendelbogen aller Auf- und Untergangsorte, den die Sonne halbjährlich zwischen den zwei Sonnenwenden abschreitet, bereits halbmonatlich zwischen den Extremständen der sogenannten Mondwenden. Jeden Monat - genauer: jeden siderischen Monat von im Mittel 27,3 Tagen - gibt es eine südliche und eine nördliche Mondwende mit entsprechenden nördlichsten und südlichsten Auf- und Untergangsorten des Mondes. Die Phase, in der sich der Mond bei einer Mondwende befindet, hängt von der Jahreszeit ab. Die nördliche Mondwende z.B. erfolgt in der Zeit der Wintersonnenwende bei Vollmond. Dann hat der Mond die größte nördliche Deklination und läuft auf seiner nördlichsten Bahn, die der der Sommersonne ähnelt. Im Sommer dagegen, um die Zeit der Sommersonnenwende, durchläuft der Mond die monatlich nördlichste Bahn in der Neumondphase, wenn er zusammen mit der Sonne hoch über den Tageshimmel wandert. Die nördliche Mondwende bzw. der nördlichste monatliche Mondaufgang ist in dem Fall natürlich nicht zu sehen. Im Frühling läuft der zunehmende, im Herbst der abnehmende Halbmond auf der nördlichsten Tagesbahn.

Die Beobachtung der nördlichsten Mondaufgänge muss sich folglich auch noch an die wechselnde Tageszeit anpassen. Der Aufgang des Wintervollmondes erfolgt nämlich in der Zeit des Sonnenuntergangs, der Aufgang des Sommerneumondes - unsichtbar - bei Sonnenaufgang, der zunehmende Frühlingshalbmond erscheint gegen Mittag und der abnehmende Herbsthalbmond gegen Mitternacht.

Schon diese Betrachtung zeigt, dass es bei den Mondwenden zwar auch eine Systematik gibt, die den extremen Mondstand mit der Jahreszeit und der Tageszeit verknüpft, aber auch, dass sie ungleich komplexer ist als im Fall der Sonne und der Beobachtung ihrer jährlich wiederkehrenden Wendepunkte beim Sommer- und Winteranfang.

Die Mondwenderichtungen liegen in der Nähe der Sonnenwendrichtungen am Horizont, jedoch verändern sie sich systematisch über einen Zeitraum von 18,61 Jahren. In manchen Jahren übersteigt der Mond in seinem nördlichsten Aufgang die Richtung des Mittsommeraufgangs der Sonne um bis zu 10° nach Norden und im südlichsten Aufgang die Richtung des Mittwinteraufgangs um die entsprechende Spanne nach Süden (Abb. 13; gilt für mitteleuropäische Nordbreiten).

Sein Pendelbogen übertrifft dann den Pendelbogen der Sonnenaufgänge deutlich und man spricht von den „Großen Mondwenden“. In den Jahren, die zeitlich in der Mitte zwischen Großen Mondwenden liegen, erreicht er die Wendemarken der Sonne in seinem monatlichen Wendezyklus dagegen bei weitem nicht. Zu diesen Zeiten ist sein monatlicher Pendelbogen maximal kleiner als der jährliche der Sonne und man spricht von den „Kleinen Mondwenden“. In der zeitlichen Mitte zwischen den Jahren der „Großen“ und „Kleinen Mondwenden“ durchläuft der Mond etwa einen Pendelbogen wie alljährlich die Sonne. In solchen Jahren treten die Finsternisse von Sonne und Mond (von denen von einem festbleibendem Ort aus zumeist nur die Mondfinsternisse gesehen werden können) zum Zeitpunkt der Sonnenwenden auf. Bei der Großen und der Kleinen Mondwende liegen die Finsternistermine dagegen bei den Äquinoktien. Bei einer systematischen Beobachtung der Veränderlichkeit der Mondwenderichtungen im Laufe von 18 bis 19 Jahren eröffnet sich folglich ein phänomenologischer Ansatz zur Vorhersage finsternisgefährdeter Vollmond- und Neumondtermine.

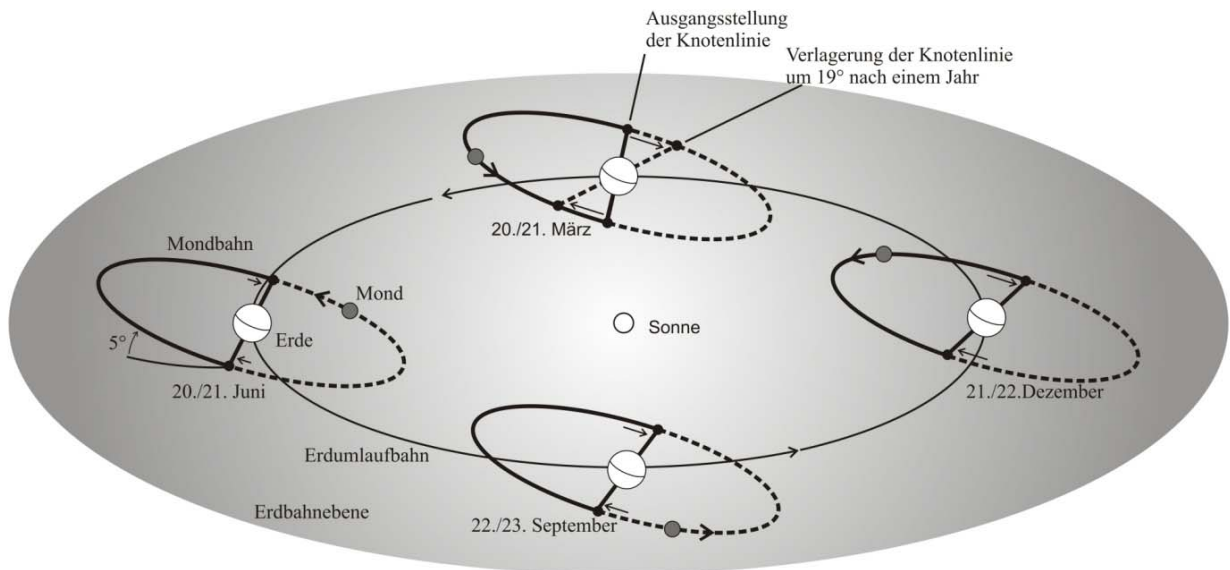


Abb. 14: Mondbahn und Erdbahn in heliozentrischer Darstellung. Die Mondbahn ist gegen die Ekliptik um ca. 5° verkippt. Unterhalb der Erdbahnebene verlaufende Bahnstücke der Mondbahn sind mit gestrichelten Linien gezeichnet. Die Schnittlinie von Erdbahnebene (Ekliptik) und Mondbahn wandert rückläufig auf der Ekliptik und verlagert sich in einem Jahr um ca. 19° .

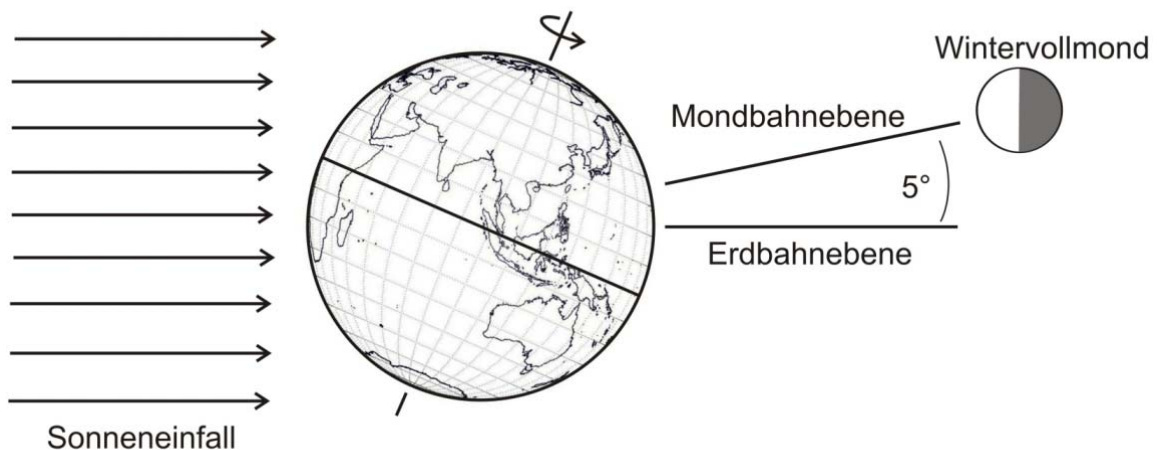


Abb. 15: Der nördlichste Einfall des Vollmondlichtes erfolgt zur Zeit der Wintersonnenwende. Die zusätzlichen 5° gegenüber dem Stand der Sommersonne (Deklination $+23,44^\circ$) stammen von der Neigung der Mondbahn gegen die Ekliptik. Nur wenn der aufsteigende Knoten der Mondbahn im Frühlingspunkt der Ekliptik steht, wird sich die Mondbahnneigung in diesem Sinne aus und sorgt für die größtmöglich nördliche Deklination des Wintervollmondes.

Der Grund für diese zyklische Veränderlichkeit des monatlichen lunaren Pendelbogens zwischen 100° und 60° (in Mitteleuropa) ist in der Neigung der Mondbahnebene gegen die Ebene des Erdumlaufs um die Sonne zu finden. Die Mondbahnebene und die Erdbahnebene sind um einen mittleren Winkel von $5^\circ 09'$ (die "Bahninklination" i) gegeneinander verkippt, wobei beide Ebenen die Erdmitte erfassen (Abb. 14).

Der Mond weicht deshalb mit seinen extremalen Deklinationen von denen der Sonne um bis zu $5^\circ 09' = 5,15^\circ$ nach Norden oder Süden ab. Von der Erde aus betrachtet erscheint der Mond dann in einem größeren Winkelabstand von der Äquatorialebene, als ihn die Sonne je erreichen kann. Das hat eine Aufgangsrichtung zur Folge, die nördlicher (bzw. südlicher) als die Mittsommer- (bzw. Mittwinter-) Aufgangsrichtung der Sonne liegt. Er scheint dann senkrecht auf Breitenkreise der Erde, die um gut fünf Breitengrade weiter nördlich und südlich liegen als die nördlichsten und südlichsten Breitenkreise mit senkrechtem Sonneneinfall, die sog. Wendekreise bei geographischen Breiten von $\pm 23,44^\circ$ (Abb. 15). Für den Mond lassen sich deshalb auf der Erdkugel eigene Wendekreise definieren, die nicht mit den Wendekreisen der Sonne zusammenfallen.

Eine entsprechende Überlegung gilt für jene Zonen der Erde in denen das Phänomen der Oberläufigkeit beobachtet werden kann, wenn der Mond ohne unterzugehen einen vollen Kreis oberhalb des Horizontes beschreibt. Bei der Sonne tritt diese Oberläufigkeit innerhalb der Polarregion der Erde auf, die durch den nördlichen Polarkreis mit der geographischen Breite von $66,56^\circ$ ($90^\circ - 23,44^\circ$) von den mittleren Breiten abgrenzt ist (auf der Südhalbkugel entsprechend). Man spricht dann vom Phänomen der "Mitternachtssonne", wenn sie z.B. am nördlichen Polarkreis am Tag der Sommersonnenwende nicht untergeht (Abb. 16). Eine entsprechende Extrembahn des Mondes (im Zustand der Großen Mondwende) ist zu beobachten, wenn er eine Deklination von $23,44^\circ + 5,15^\circ$ aufweist, weshalb der Polarkreis des Mondes gut 5° weiter nördlich liegt als der der Sonne.

Die Schnittlinie der Mondbahnebene und der ekliptischen Ebene - die sog. "Knotenlinie" - geht durch die Erdmitte hindurch (weil die Erdmitte Bestandteil beider Ebenen ist) und deutet an zwei gegenüberliegende Stellen der Himmelskugel (Abb. 17).

Diese Stellen sind die sog. "Knoten der Mondbahn" oder auch "Mondknoten". Nur in oder nahe bei ihnen können Finsternisse auftreten - Mondfinsternisse bei Vollmond, Sonnenfinsternisse bei Neumond. Im aufsteigenden Mondknoten wechselt der Mond von südlichen zu nördlichen ekliptischen Breiten, im absteigenden von nördlichen zu südlichen Breiten. Die Knotenlinie ist nicht raumfest, sondern sie bewegt sich rückläufig auf der Ekliptik, die sie infolgedessen in 18,61 Jahren (6798,4 Tagen) einmal ganz umrundet. Die Mondbahn präzidiert folglich auf der ekliptischen Ebene und die zu ihr senkrechte Richtung beschreibt dabei einen Kegel um die Ekliptikachse mit einem Öffnungswinkel von ca. $5,15^\circ$ (die periodische Schwankung der Bahninklination, die den Öffnungswinkel zyklisch variiert, wird später noch in die Betrachtung mit eingeschlossen).

Liegt der aufsteigende Knoten im Frühlingspunkt, so addiert sich bei der ekliptischen Länge von 90° die Mondbahninklination zur Ekliptikschiefe voll hinzu und der Mond erreicht dort monatlich eine Maximaldeklination, die jene der Sonne um den Betrag der Bahninklination übertrifft (Abb. 18).

Monatlich durchläuft der Mond alle Deklinationen zwischen seinem momentanen nördlichen und südlichen Extremwert, jedoch nur alle 18,61 Jahre - wenn der aufsteigende Knoten der Mondbahn im Frühlingspunkt steht - pendelt der Mond zwischen den maximalen Deklinationen $+(\varepsilon + i)$ und $-(\varepsilon + i)$. Dieses Ereignis wird als Große Mondwende bezeichnet, im Gegensatz zur Kleinen Mondwende mit extremalen Deklinationen von $\pm(\varepsilon - i)$. Diese treten ein, wenn der absteigende Knoten der Mondbahn im Herbstpunkt liegt.

Die monatlichen Bahnen des Mondes im Zustand der Großen und der Kleinen Mondwende sind in Abbildung 18 in Gestalt der beiden sinusförmigen gelben Linien dargestellt. Bei der Kleinen Wende schlängelt sich der Deklinationsverlauf des Mondes in einem schmalen Bereich als der der Sonne und verbleibt innerhalb der solaren Deklinationsspanne, während der Mond bei der Großen Wende die solare Deklinationsspanne übertrifft. Steht der aufsteigende oder absteigende Knoten der Mondbahn in den Punkten der Ekliptik, den die Sonne zur Sommer- oder Wintersonnenwende erreicht (ekliptische Länge 90° oder 270° ; Sommer- bzw. Winterpunkt), so entspricht seine monatliche Maximaldeklinaton der maximalen Sonnendeklinaton ε (Ekliptikschiefe). Er pendelt dann mit seinen Deklinationswerten zwischen $\pm \varepsilon$ hin und her.

Das Verhalten der Monddeklinaton im monatlichen Verlauf und im Ablauf des 18,61-jährigen Mondknoten-Zyklus kann durch folgende Näherungsformel modelliert werden:

$$\delta \approx \underbrace{\left[\varepsilon + i \cdot \cos \left(2\pi \cdot \frac{n}{6798,4} + \phi_1 \right) \right]}_{\text{Amplitude}} \cdot \underbrace{\cos \left(2\pi \cdot \frac{n}{27,32} + \phi_2 \right)}_{\text{monatlicher Verlauf}}$$

Die Monddeklinaton durchläuft innerhalb eines siderischen Monats (27,32 Tage) alle Deklinationswerte zwischen der positiven und negativen Amplitude der monatlichen Maximaldeklinaton. Diese Amplitude wiederum schwankt im 18,61-jährigen Mondknotenzyklus. Die Phasenwinkel Φ_1 und Φ_2 dienen der Anpassung der Formel an den Kalender, mit n als der Anzahl der Tage, die seit einem beliebig gewählten Startereignis, z.B. der letzten Großen Mondwende, verstrichen sind. Will man diese einfache Formel, die mitnichten die vielen Feinheiten der Mondbewegung erfasst, sondern nur die Variation der monatlichen Extremaldeklinatonen hinreichend gut modelliert, an die natürlichen Verhältnisse möglichst genau anpassen, so sind geeignete Werte für die beiden Phasenwinkel zu ermitteln. Für die Diskussion der monatlichen Extremaldeklinatonen des Mondes, die periodisch zwischen denen der Großen und Kleinen Mondwende schwankt, ist hier allerdings nur die Darstellung des generellen Deklinationsverlaufs von Interesse. Dieser Verlauf ist in Abbildung 19 aufgetragen. Der Tag "Null" sei jener des absoluten Deklinatonsextrems bzw. der Tag, an dem der aufsteigende Mondknoten im Frühlingspunkt liegt. Das war zuletzt am 19. Juni 2006 der Fall. Man erkennt die Modulation der Amplitude (monatliche Maximaldeklinaton) um den Mittelwert der Ekliptikschiefe. Wegen der schnellen Deklinationsveränderung während eines siderischen Umlaufs würde der Bereich zwischen der positiven und negativen Amplitude in dieser Darstellung, bei der der Deklinationsverlauf einzelner Lunationen innerhalb der Einhüllenden nicht mehr aufgelöst werden kann, nahezu völlig ausgefüllt werden. Deshalb sind nur zwei vollständige Lunationen andeutungsweise mit eingezeichnet.

Die Abbildung 20 zeigt einen kleinen Zeitausschnitt von einem Jahr aus Abbildung 19 im Bereich der Großen Mondwende Süd. In den Jahren vor oder nach einer Großen Mondwende strebt die monatliche Maximaldeklinaton ihrem Maximum systematisch zu bzw. fällt danach von diesem wieder ab. Dieses Verhalten der monatlichen Maximaldeklinaton um die Zeit der Großen Mondwende Süd herum ist in Abbildung 20 zu sehen. Ein, zwei, drei oder vier Jahre vor oder nach dem Deklinationsmaximum weicht das monatliche Deklinationsmaximum um $17'$, $68'$, $145'$ und $241' = 4^\circ 1'$ vom Maximalwert ab (ohne Berücksichtigung der Neigungsstörung Δ , siehe unten). Beobachtet man z.B. systematisch die Aufgangsrichtung des Sommervollmondes (oder des abnehmenden Frühlings- bzw. des zunehmenden Herbsthalbmendes) so erkennt man das Nahen der Zeit Großen Mondwende Süd an der von

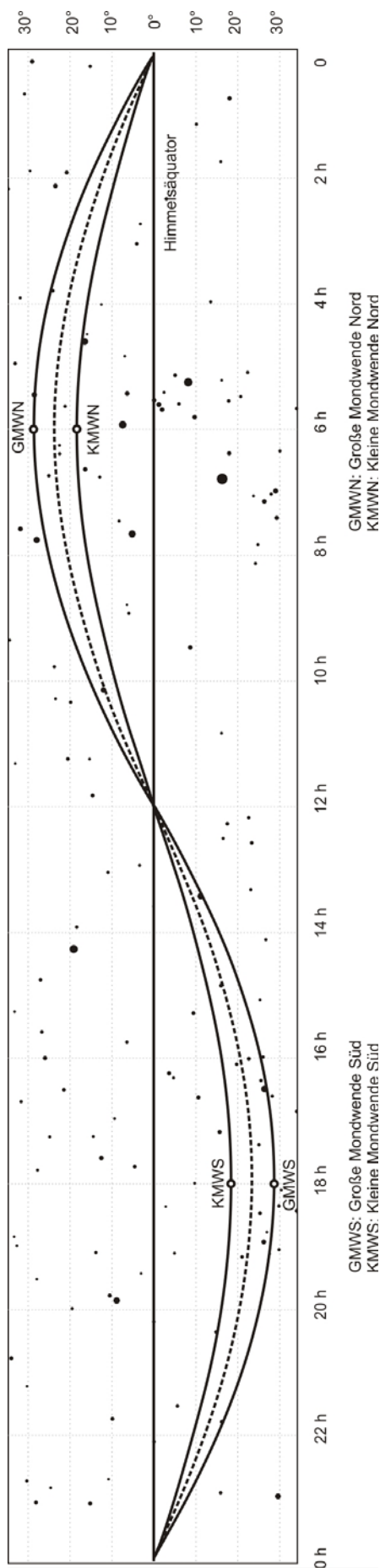


Abb. 18: Die Sternkarte aus der Abbildung 5 mit Himmelsäquator, Ekliptik und Mondbahnen im Zustand der Großen Mondwende (aufsteigender Knoten im Frühlingspunkt) und der Kleinen Mondwende (aufsteigender Knoten im Herbstpunkt). Die monatlichen nördlichen und südlichen Deklinationsextrema bei diesen Bahnen sind durch Punkte gekennzeichnet (GMWN, KMWN, KMWS, GMWS).

Jahr zu Jahr weiter nach Süden verschoben in die südlichsten Aufgangsrichtung des Mondes. Die jährliche Verschiebung wird dabei umso kleiner, je mehr man sich den Zeiten der Großen Mondwenden annähert. Die Neigungsstörung überlagert diesen Verlauf allerdings noch und führt zu merklichen Variationen im Bereich der monatlichen Minimaldeklinationen.

ii) Formelmäßige Erfassung

Bei der Berechnung der Mondwendeazimute werden dieselben Formeln wie im Fall der Sonnenwendeazimute verwendet. Es tritt aber neben dem Refraktionseffekt nun noch ein großer Parallaxeneffekt hinzu. Weil der Mond nicht aus dem Geozentrum, sondern dem Topozentrum am Erdrand beobachtet wird, steht er für den realen Beobachter tiefer am Himmel als für den gedachten Beobachter im Geozentrum. Demnach täuscht die Parallaxe im Topozentrum einen tieferen Stand ("scheinbare Position") und damit südlichere Mondwenderichtungen vor, als man sie bei der rein geometrischen Betrachtung ("wahre Position") erhielte (Abb. 8). Wegen seiner Nähe zur Erde erreicht der Mond eine mittlere Horizontalparallaxe von 57 Bogenminuten bei Schwankungen im Bereich zwischen 53 und 60 Bogenminuten. Sofern man kein spezielles Datum betrachtet, für das die Mondparallaxe bekannt ist, nimmt man bei Modellrechnungen am besten die mittlere Mondentfernung und die sich daraus ergebende Horizontalparallaxe von 57'.

Der scheinbare Winkeldurchmesser der Mondscheibe schwankt ebenfalls aufgrund der variablen Mondentfernung. Er nimmt Werte zwischen von rd. 29,4' und 33,6' bei einem Mittelwert von 31' ein. Bei der Bestimmung der wahren Höhe des Mondes nach der Formel $h_w = h_s - R + P$ ($\pm$ Gestirnsradius) sind alle diese schwankenden Einflüsse bei einem konkreten Einzelfall zu berücksichtigen.

Betrachtet man die Mondbewegungen im Allgemeinen, sollte man diese mögliche Spanne von unterschiedlichen Werten für den Winkeldurchmesser und die Parallaxe beachten und bei Aussagen über eine Mondbahn oder Mondposition am Himmel als Schwankungsbreite veranschlagen, sofern es nicht um einen Einzelfall geht, bei dem diese Werte genau bekannt sind. Dies führt zur Idee des "Bandes von möglichen Mondbahnen" bei der Untersuchung von Peilungen auf ihre mögliche lunare Bedeutung in der Archäoastronomie.

Die Frage, ob man die Mondwendeazimute für den Mondoberrand, die Mitte oder den Unterrand berechnen soll, ist beim Mond schwieriger zu bewerten als bei der Sonne, weil er bei Aufgängen am Tag bei der großen Himmelselligkeit des Horizontstreifens nicht direkt am Horizont gesehen werden kann. Sein schwaches, durch die Lufthülle in Horizontnähe stark ausgedünntes Licht kann sich nicht gegen Dunst und geringe Restbewölkung durchsetzen. Zur Berechnung von Horizontrichtungen des Mondes nimmt man deshalb besser die Mondmitte oder den Unterrand und nicht den Oberrand, wie es bei der Sonne angeraten ist.

Die Inklination der Mondbahnebene schwankt um den konstant bleibenden Mittelwert von $5^\circ 9'$ um einen kleinen Wert von ca. $9'$ mit der Periode des halben Finsternisjahres von 173,31 Tagen. Man nennt diese periodische Schwankung die "Neigungsstörung Δ ". In der Forschungsgeschichte der Archäoastronomie hatte die Debatte um den Einfluss der Neigungsstörung auf die visuelle Mondbeobachtung eine große Bedeutung, weshalb auf sie an späterer Stelle genauer eingegangen wird. Wegen dieser Schwankung von Δ mit der Periode des halben Finsternisjahres kann man pauschal keine festen Werte für die geozentrischen Deklinationen der Großen und Kleinen Mondwenden angeben und somit muss man auch hier noch ein Deklinationsband der Breite $2 \times 9' = 18'$ für die möglichen

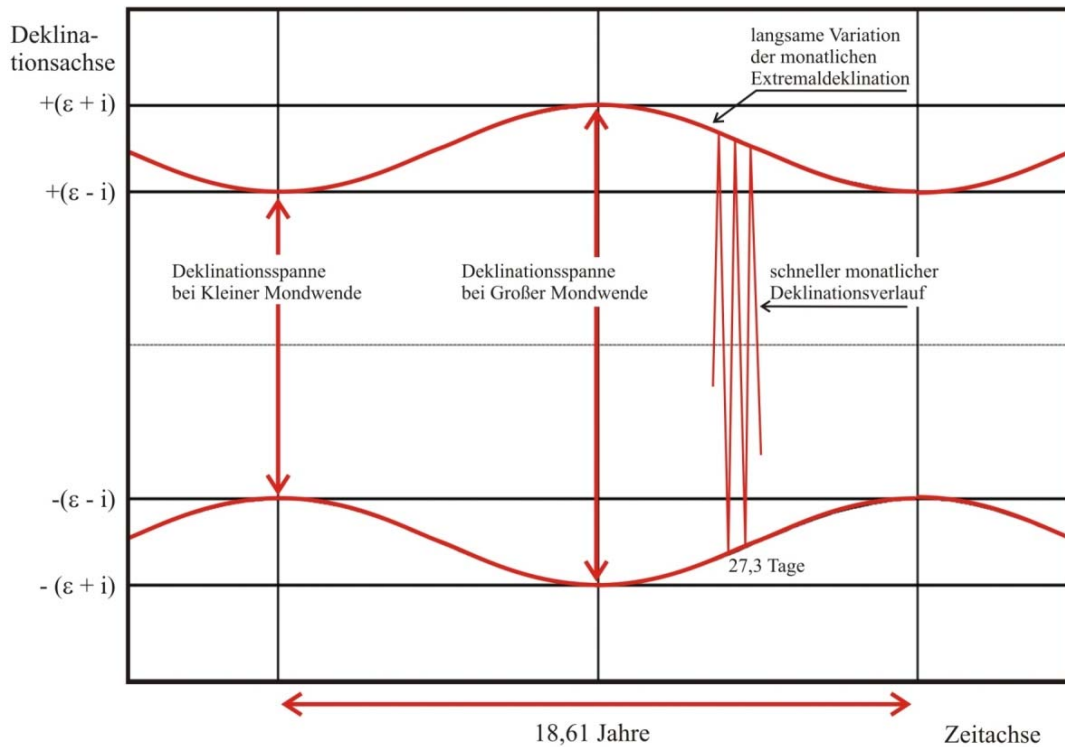


Abb. 19: Verlauf der Monddeklination innerhalb des 18,61-jährigen Mondwendezyklus gemäß der obigen Näherungsformel.

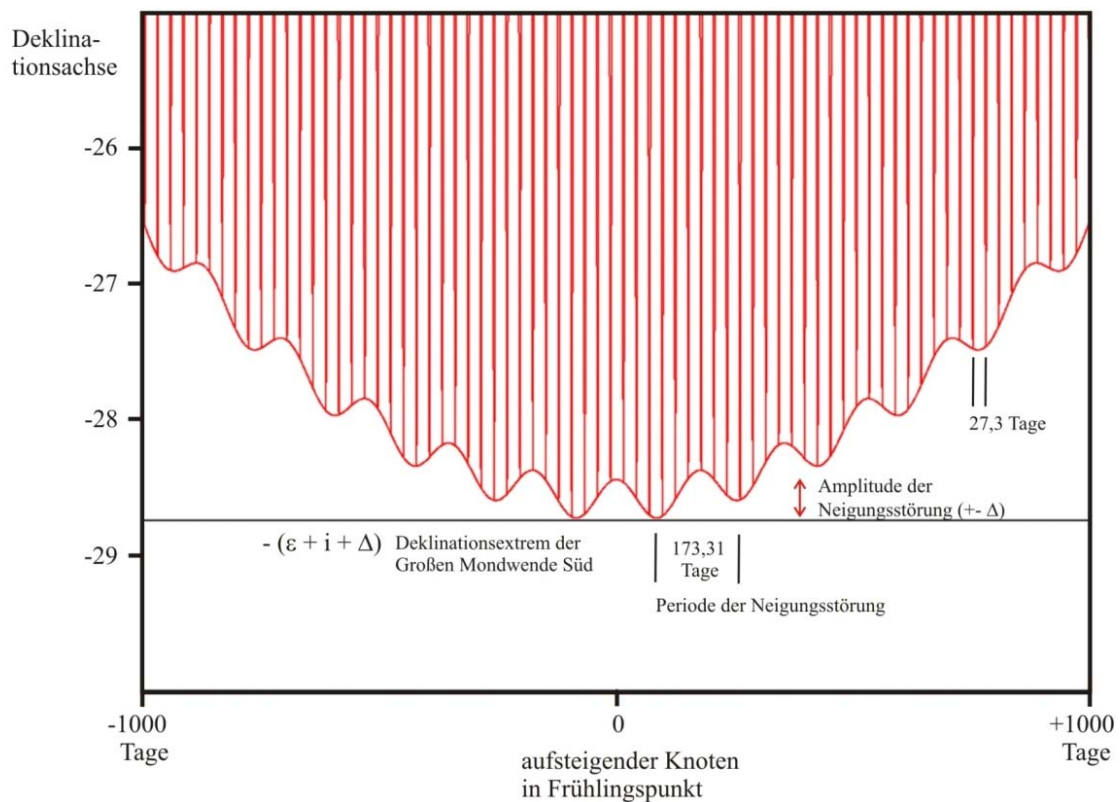


Abb. 20: Ausschnitt aus der Abbildung 19 im Bereich der Großen Mondwende Süd. Der monatliche Deklinationsverlauf ist hier noch gut sichtbar (senkrechte Linien im Abstand von 27,3 Tagen). Das monatliche Deklinationsminimum wird systematisch kleiner, je näher die Zeit der Großen Mondwende Süd rückt. Dieser Verlauf ist allerdings überlagert von der periodischen Neigungsstörung der Mondbahninklination. Die Periode dieser Störung beträgt das halbe Finsternisjahr (173,3 Tage).

Deklinationen der Mondmitte in den Zuständen der Großen und Kleinen Mondwenden in Betracht ziehen.

Wenn man in der zuvor angegebenen Näherungsformel für die Monddeklinatation die Mondbahnneigung i nicht als konstant ansetzt, sondern den kleinen Störungsterm Δ berücksichtigen möchte, stellt sie sich formelmäßig folgendermaßen dar (genähert):

$$i = 5^{\circ}09' + \Delta, \quad \Delta = 9' \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{n}{173,3 \text{ Tage}} + \Phi_3\right)$$

Der Phasenwinkel Φ_3 dient der Anpassung an die realen Verhältnisse. Er ist so einzurichten, dass sich das Maximum der Neigungsstörung einstellt, wenn die Sonne und ein Mondknoten gleichzeitig im Frühlings- oder Herbstpunkt stehen.

Bei den Großen Mondwenden setzt man die Neigungsstörung (sofern sie überhaupt beachtet werden soll) zumeist so an, dass der maximale Deklinationswert erreicht wird, um die allernördlichste Bahn und die äußersten Grenzrichtungen des Mondes am Horizont zu erhalten: $(\varepsilon + i + \Delta)$.

Bei den kleinen Mondwenden setzt man den Einfluss der Neigungsstörung am besten derart an, dass man den minimalen monatlichen Pendelbogen erhält: $(\varepsilon - i - \Delta)$.

Somit hat man auch hier diejenigen äußersten Grenzfälle erfasst, die der Mond im monatlichen Deklinationsextrem niemals unterschreitet.

Alle bisherigen Betrachtungen bezüglich der Schwankungen der Parallaxe, des Winkeldurchmessers, der Refraktion und der Bahninklination (aufgrund der Neigungsstörung) werden noch überlagert vom Effekt der i. a. immer vorhandenen Differenz der Monddeklinatation im Moment des Auf- oder Untergangs zum eigentlichen Deklinationsextrem der Mondwende. Das monatliche Mondextrem tritt nämlich i. a. zu einem Zeitpunkt ein, an dem der Mond nicht am Horizont steht. Man beobachtet mit einer Horizontpeilung folglich einen Mondstand kurz vor oder nach dem eigentlichen Deklinationsextrem. Auch dieser Effekt wird später noch ausführlicher behandelt.

(Die Vertröstungen auf später demonstrieren bereits augenfällig, dass etliche Details bei Mondwendebeobachtungen zu beachten sind. Zunächst seien die allgemeinen Grundlagen vorangestellt, bevor es zur Diskussion der mondspezifischen Feinheiten kommt.)

Für Überschlagsrechnungen, die einen ersten Eindruck vermitteln sollen, ob eine bestimmte Peilung als Ausrichtung auf eine Große oder Kleine Mondwende interpretiert werden kann, empfiehlt es sich, mit den folgenden Richtwerten für die Deklinationswerte zu rechnen:

Nördliche Große Mondwende:	$+(\varepsilon + i + \Delta) - 0,6^{\circ} = \text{ca. } + 28^{\circ}$
Nördliche Kleine Mondwende:	$+(\varepsilon - i - \Delta) - 0,6^{\circ} = \text{ca. } + 18^{\circ}$
Südliche Kleine Mondwende:	$-(\varepsilon - i - \Delta) - 0,6^{\circ} = \text{ca. } - 19^{\circ}$
Südliche Große Mondwende:	$-(\varepsilon + i + \Delta) - 0,6^{\circ} = \text{ca. } - 30^{\circ}$

Bei der Berechnung dieser Werte wurde jeweils ein numerischer Korrekturterm $(-0,6^{\circ})$ veranschlagt, der den Einfluss der Horizontalparallaxe berücksichtigt. Die Parallaxe betrifft eigentlich den Höhenwinkel und muss demnach unter Berücksichtigung des Winkels zwischen der Mondbahn unter dem Vertikal in einen effektiven Korrekturwert für die Deklination umgewandelt werden. Da die Neigung der Mondbahn gegen den Vertikal von der geographischen Breite abhängt, gilt die oben angebrachte Korrektur nicht universell. Sie

liefert bei archäoastronomischen Betrachtungen in Mittel- und Nordeuropa nützliche Näherungen, die oft ausreichend sind, wenn man Ausrichtungen betrachtet, die nur eine Genauigkeit von etwa einem Grad aufweisen. Mit diesen Deklinationswerten kann man den horizontnahen Mond rechnerisch so behandeln wie die Sonne in Abschnitt v) des ersten Teils. Für genaue Positionsrechnungen sind aber die vollständigen Betrachtungen dieses Abschnitts zu berücksichtigen.

iii) Große Mondwenden in der Archäoastronomie

Die Bedeutung des 18,61-jährigen Mondwendezyklus für frühe Kulturen wird in der Archäoastronomie kontrovers diskutiert. Da sich die Mondwenderichtungen wegen der schnellen Deklinationsveränderung des Mondes und der anderen merklichen Abweichungen von den Mittelwerten z.B. für die Parallaxe und den scheinbaren Durchmesser nicht in vergleichbarer Schärfe und Konstanz zeigen, wie das bei der Sonne der Fall ist, ist die Beobachtung der Mondwenden und insbesondere ihres generationenlangen Zyklus zwischen den Großen und Kleinen Wendeereignissen in prähistorischen Bauwerken und Landschaften schwerer nachweisbar als etwa die Hinwendung einer prähistorischen Kultur zur Sonne und überhaupt fraglich. Die vielen Schwankungen und Störungen in seinem Bahnverlauf erschweren eine präzise und einfache Bestimmung einer Mondwenderichtung außerordentlich und sind schwerwiegende Argumente für die Ansicht, die genauen Richtungen der Großen und Kleinen Mondwenden am Horizont haben für frühe Kulturen keine besondere Bedeutung gehabt.

Welches besondere Interesse könnte denn überhaupt mit den Extremständen des Mondes am Horizont verknüpft gewesen sein? - Der frühe Mensch betrieb seine Himmelsbeobachtungen, um die Zeit zu bestimmen und einen regelmäßig ablaufenden Kalender einzurichten, der auf der zyklischen Wiederkehr einer bestimmten Himmelserscheinung basiert. Der schnelle Phasenwechsel des Mondes ist das wohl einleuchtendste Beispiel. Mit der Beobachtung seines Lichtwechsels, die keine Schrift und keine ständige Fernkommunikation voraussetzt, weil man den Mond in einer bestimmten Region von überall sieht und die sichtbare Form gleichsam Schriftzeichen am Himmel selbst ist, kann man regional einheitliche Fest- und Versammlungszeiten vereinbaren. Man trifft sich z.B. allmonatlich beim Vollmondtermin. Ein weiteres Beispiel für einen leicht sichtbaren Naturzyklus ist die Drehung des Himmelsgewölbes, die sich unmittelbar zur Bestimmung der Nachtstunde verwenden lässt. Der Große Wagen z.B. kreist wie ein Uhrzeiger um den Himmelspol herum. Schließlich zeigt sich im Pendeln der Horizontstände der Sonne zwischen Sommer- und Wintersonnenwende der Rhythmus des Sonnenjahres mit seinen Jahreszeiten. Das Naturjahr wiederholt sich im Gleichklang mit dem Sonnenjahr, da die Sonne für die Lebensvorgänge auf der Erde die nötige Energie bereitstellt. Zwangsläufig kommt dem Sonnenjahr damit eine herausragende Bedeutung zu.

Sehr bedeutsam für verschiedene frühe Kulturen war auch die Beobachtung des Mondlaufs unter den Sternen, der sich nach Ablauf von 27 bis 28 Tagen wiederholt (siderischer Monat). Anders als im Fall des entsprechenden Laufes der Sonne durch die Ekliptik kann man den siderischen Mondlauf anhand der Sterne, die zusammen mit dem Mond sichtbar sind (zumindest für die sehr hellen Sterne gilt das auch noch in Vollmondnächten) unmittelbar am Himmel beobachten. Man benötigt folglich nicht den Horizont als Messskala zur Bestimmung der extremalen Deklinationen des Mondes - auch ein wichtiges Argument gegen die Bedeutsamkeit der Mondwenden.

Alle genannten Phänomene dienen der Zeitbestimmung bzw. der Unterteilung der Zeit in Einheiten (Stunden, Tage, Monate, Jahre), die nicht etwa willkürlich gewählt, sondern der Natur entnommen sind. Würde sich bei der Beobachtung der Großen oder Kleinen Mondwenden ein entsprechender Zyklus unmittelbar und leicht sichtbar einstellen, so könnte man auch dieses Phänomen unter die zur Zeitbestimmung geeigneten Naturzyklen einreihen. Das ist aber nicht der Fall, denn zum Einen dauert es 18,61 Jahre bis der Mondknotenzyklus vollendet ist - er ist damit ein Generationenereignis von keiner alltäglichen Relevanz -, zum Anderen ist es durch die Beobachtung der monatlichen Extremstände des Mondes am Horizont allein nicht möglich, einen festen Zyklus bzw. Festdaten für z.B. "Große Mondwendefeste" [12] mit nur einiger Genauigkeit zu bestimmen. Der nördlichste Mondaufgang tritt nämlich nicht nur einmal in 18,61 Jahren auf, sondern innerhalb einer Spanne von gut einem halben Jahr gibt es mehrere Aufgänge, die ein vergleichbares hohes nördliches Azimut erreichen. Keiner dieser Aufgänge erreicht im Allgemeinen den theoretischen Maximalwert. Man spricht deshalb besser von einer "Saison" Großer oder Kleiner Mondwenden, nicht von einem festen Datum. Die Ursache dafür ist in den oben beschriebenen Schwankungen und in der Deklinationsdifferenz zum Maximalwert beim Zeitpunkt des Aufgangs zu sehen, die das genannte Band der möglichen und (fast) nördlichsten Mondbahnen zur Folge haben.

Will man nun diesen Zyklus in einen leicht abzählbaren Kalender abbilden, was ja unbedingt nötig ist, wenn man über lange Sicht damit rechnen, arbeiten und feiern will, so bieten die Zeitpunkte der Mondwenden einfach keine hinreichend festen und genauen Bezugsdaten. Im Falle eines einfachen Mondphasenkalenders, der z.B. mit dem monatlichen Neulicht beginnt, oder eines Sonnenkalenders, der auf den Jahreszeiten der Sonnenwenden und Äquinoktien basiert, sind diese Bezugsdaten mit etwa Tagesgenauigkeit vorhanden und kehren häufig und systematisch wieder. Wegen der vielen schwankenden Einflüsse beim Mond kommt man bei der Beobachtung von Mondaufgängen dagegen auf keine genaue Länge des Mondknotenzyklus, auch wenn der aufsteigende Knoten der Mondbahn taggenau nach 6798,4 Tagen in den Frühlingspunkt der Ekliptik zurückkehrt. Als Grundlage für einen Kalender, der ein stetiges und wenig schwankendes Gleichmaß im zugrundeliegenden Naturzyklus voraussetzt, sind die Mondwenden damit nicht geeignet.

Doch es gibt noch andere Bedeutungsmöglichkeiten für die Mondwenden in der Archäoastronomie. Man kann die Mondwendebeobachtung zur Bestimmung des Finsterniszyklus einsetzen. Das von Alexander Thom Ende der 1960er Jahre vorgeschlagene Verfahren der Vorhersage von Mondfinsternisterminen anhand der kleinen Neigungsstörung [13, 14], die mit den Finsternisterminen synchron läuft, erweist sich als prinzipiell machbar (siehe unten), es mutet jedoch kompliziert und gekünstelt an.

Die Neigungsstörung ist maximal, wenn der aufsteigende Mondknoten bei Frühlings- oder Herbstanfang im Frühlings- oder Herbstpunkt steht. Der Frühlings- bzw. Herbstvollmond tritt dann in den Erdschatten ein (der der Sonne auf der Ekliptik diametral gegenübersteht) und verfinstert sich. Zu diesen Zeiten erreicht der Mond seine größtmögliche Deklination und damit auch seinen höchsten Stand am Himmel, wenn er als zunehmender Halbmond beim Frühlingsanfang (Sonne im Frühlingspunkt, ekliptische Länge des Mondes 90° , aufsteigender Knoten im Frühlingspunkt, Neigungsstörung maximal) bei Sonnenuntergang (Sonne, Frühlingspunkt und aufsteigender Knoten im Westpunkt des Horizontes) im Meridian steht (Abb. 21).

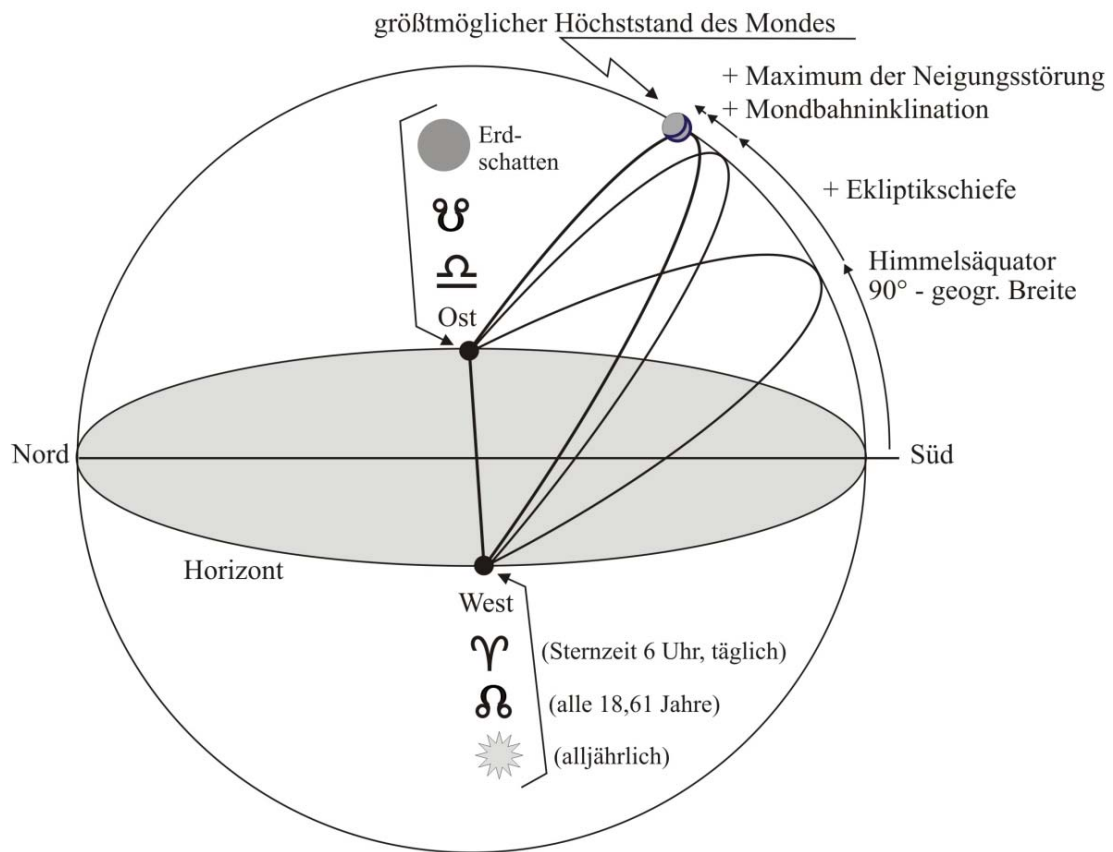


Abb. 21: Die vollkommene Symmetrie von Horizont, Himmelsäquator, Ekliptik und Mondbahn bezüglich des Meridians beim Sonnenuntergang bei Frühlingsanfang und mit dem aufsteigenden Knoten im Frühlingspunkt. Der Mond erreicht beim Ersten Viertel (zunehmender Halbmond) den höchstmöglichen Stand im Meridian. Die Neigungsstörung ist dann maximal und beim kommenden Vollmond gut eine Woche später tritt eine Mondfinsternis auf.

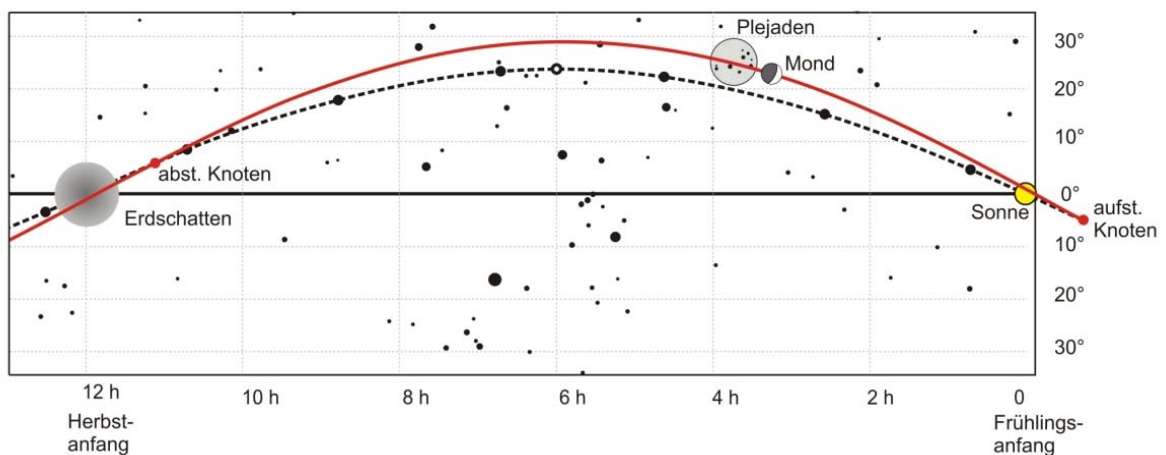


Abb. 22: Plejadenbedeckung durch den Mond. Das Ereignis tritt bei einer ekliptischen Mondbreite von ca. 3,5° bis 4,5° auf. Der aufsteigende Mondknoten steht dann ca. 40° bis 60° vor den Plejaden (bzw. 120° bis 140°).

Eine entsprechende Situation stellt sich bei abnehmendem Halbmond bei Sonnenaufgang zum Herbstanfang ein. Die Großkreise der Ekliptik und der Mondbahn liegen bei diesen seltenen Zeitpunkten alle symmetrisch zum Meridian und es ist schon überraschend, dass diese hohe Symmetrie der Himmelskugel, die Bahnen von Sonne und Mond betreffend, genau dann eintritt, wenn der Mond seinen höchstmöglichen Stand erreicht und damit der Mond gleichsam als Anzeiger dieser Symmetrie der Himmelskugel auftritt. Diese Symmetriestellung ist zwangsläufig mit einer Mondfinsternis beim nächsten Vollmond verknüpft. Fazit dieser Betrachtung: Es gibt eine tief verborgene Verbindung zwischen der Systematik der Finsternisse und der Symmetriestellung der Himmelskugel im Horizontsystem, bei der der Maximaleinfluss der kleinen Neigungsstörung, die erst die größtmögliche Monddeklinatation bewirkt, im Gleichklang zu den anderen Einflüssen mitspielt!

Der maximale Einfluss der Neigungsstörung, der beim Zusammentreffen eines Mondknotens mit der Sonne im Frühlings- oder Herbstpunkt eintritt, kann deshalb als Indikator für das Auftreten der Finsternisse beim Frühlings- oder Herbstanfang, was alle neun Jahre vorkommt, verwendet werden. Dieses Verfahren, welches auf der Erfassung der kleinen Neigungsstörung der Mondbahninklination beruht, setzt aber eine visuelle Präzisionsastronomie mit einer Genauigkeit von etwa 1 Bogenminute voraus und es funktioniert nur bei Großen und Kleinen Mondwenden, ist folglich nur alle neun Jahre in einigen Monaten anwendbar. Gegen die Verwendung eines solchen Verfahrens zur Bestimmung mondfinsternisgefährdeter Termine lässt sich als Kritikpunkt anführen, dass sich die Lage der Knotenlinie des Mondes am Himmel, die maßgeblich für das Datum der Finsternistermine in einem Sonnenkalender erweist, auch ohne Rückgriff auf die kleine Neigungsstörung und ohne Horizontbeobachtungen einfacher und anschaulicher ableiten lässt, wenn man nur aufmerksam die Lage der Mondbahn in Bezug zu den Sternen bestimmt. Dazu eignet sich z.B. die Sterngruppe der Plejaden besonders gut, denn sie hat eine ekliptische Breite von ca. 4° (sie liegt damit innerhalb der Spanne möglicher ekliptischer Breiten des Mondes von $\pm 5,15^\circ$) und hat scheinbare Mondgröße, weshalb es in bestimmten Phasen des 18,61-jährigen Mondknotenzyklus monatliche Bedeckungen einiger heller Plejadensterne durch den Mond oder aber nur einfache Vorbeizüge gibt, je nachdem wo der aufsteigende Knoten sich gerade auf der Ekliptik befindet (Abb. 22). Die zyklisch wiederkehrende Epoche der Plejadenbedeckungen läuft ebenfalls synchron mit der Lage der Finsternistermine im Kalender.

Wenn der Mondwendezyklus weder zur exakten Zeitbestimmung und als Kalendergrundlage einsetzbar ist, noch die Bestimmung der Finsterniszeiten die Beobachtungen der Mondwenden am Horizont voraussetzt, gibt es dann überhaupt einen Grund, die Mondwenden zum Kanon der für die Archäoastronomie relevanten astronomischen Phänomene hinzuzunehmen? - Zwar nicht aus den zeitlichen, wohl aber aus den räumlichen Aspekten des Mondlaufs heraus lassen sich noch Argumente für ihre mögliche Bedeutung in der Prähistorie ableiten. Im Stand der Großen Mondwende erreicht der Mond Horizontrichtungen, die der Sonne immer verschlossen bleiben. Dieses Phänomen und die Tatsache, dass er am Tag und in der Nacht gesehen werden kann, könnten als Grundlage einer Metapher dienen: Der Mond mag als mächtiger als die Sonne angesehen werden, weil er nicht auf den Tageshimmel gebannt ist und auch Bahnen bzw. Horizontgegenden erreicht, vor denen die Sonne umkehren muss.

In der Mythologie gibt es Beispiele für die Zuweisung religiöser Bedeutungsaspekte zu verschiedenen Horizontrichtungen. Norden z.B. galt nach Jacob Grimm den betenden Heiden als Sitz ihrer Götter und ihres Totenreiches Helliga. Die Christen sahen den Norden als "unselige heidnische Gegend" an und deuteten diese Richtung als Wohnort des Teufels [15].

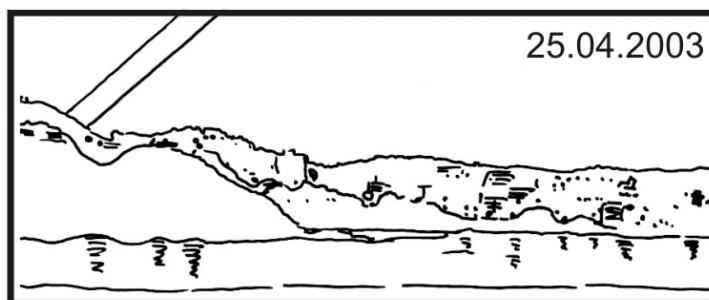
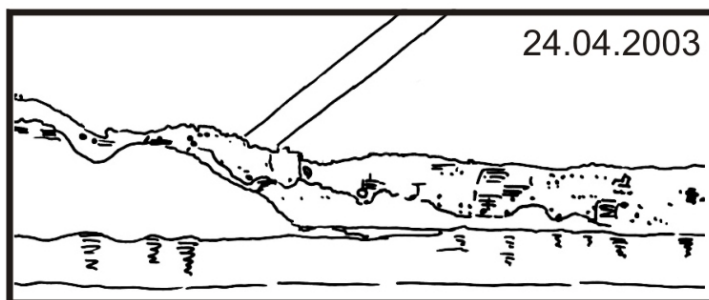
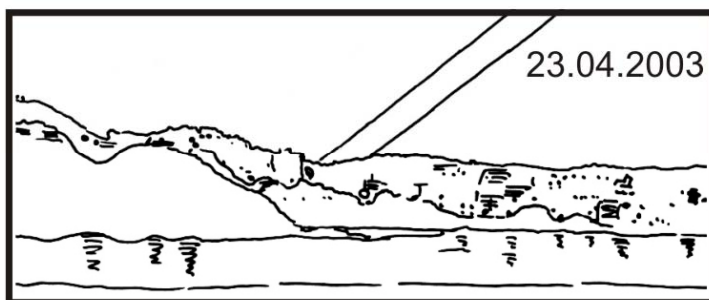
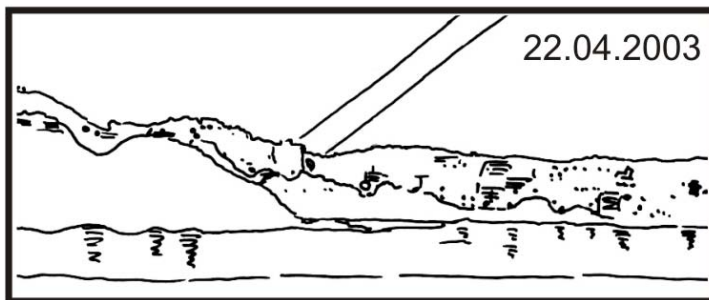
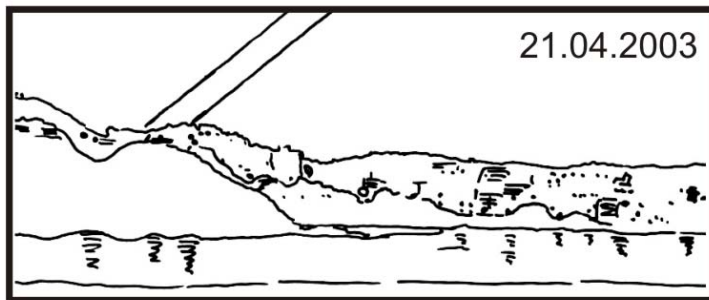


Abbildung 23: Südliche Mondwende
im April 2003, aufgenommen von der
Insel Mallorca.

Das Vordringen des Mondes in die nördliche Zone des Horizontes bei Großen Mondwenden könnte damit in vorchristlicher Zeit als Zeichen für seine Beziehung zum Götter- und Totenreich aufgefasst werden.

Diese Idee der Einbeziehung religiöser Bedeutungsaspekte in die astronomische Phänomenologie mag als Beispiel dafür dienen, dass nicht ausschließlich die Zeitbestimmung das Motiv für die Beobachtung des Himmels in der Prähistorie gewesen sein muss, sondern in der Archäoastronomie auch andere - hier räumliche und geometrische - Aspekte unter Einbeziehung mythologischer Vorstellungen eine Rolle spielen können. Die Großen Mondwenden sind in dieser Hinsicht von Interesse und sie sollten deshalb nicht grundsätzlich von der Liste der relevanten astronomischen Phänomene in der Archäoastronomie gestrichen werden, auch wenn die Zahl der Argumente gegen ihre Beachtung überwiegt.

iv) Kleine Mondwenden und die Häufigkeit bestimmter Mondbahnen

Im Stand der Kleinen Mondwende pendelt der Mond innerhalb des Bereiches der jährlichen Sonnenbahnen (Abb. 18), weshalb er dann nur Horizontrichtungen erreicht, die auch der Sonne zugänglich sind. Die oben angestellte Überlegung für die Sonderstellung der Großen Mondwenden sind bei den Kleinen Mondwenden damit hinfällig.

Die geometrische Besonderheit der Kleinen Mondwende lässt sich besser verstehen, wenn man sie als ein ausschließendes Kriterium formuliert: Mit bestimmten Mondständen im Deklinationsbereich des Pendelbogens der Kleinen Mondwende kann man im Prinzip in jedem Monat rechnen, auch in denen mit Großer Mondwende, wo der Mond monatlich immer auch über den kleinen Pendelbereich hinweg wandern muss. Nur in der Saison mit kleinen Mondwenden bleibt der Mond immer innerhalb des kleinen Pendelbereichs gefangen. Das mag kein besonders bemerkenswerter geometrischer Umstand sein, jedoch erweist sich dies als bedeutsam für die nun folgende Überlegung, die die Häufigkeit bestimmter Mondstände oder -bahnen am Himmel behandelt.

Für die Fragestellung, in welcher Horizontrichtung oder auf welcher Himmelsbahn (bzw. auf welchem Deklinationskreis) man den Mond auf lange Sicht am häufigsten sieht, wird die Variation des Pendelbogens zwischen den Großen und Kleinen Mondwenden wesentlich. Weil der Mond den Horizont jenseits der Pendelspanne der kleinen Mondwende seltener erreicht als innerhalb dieser Spanne, sind die außerhalb des Sektors der Kleinen Mondwende liegenden Horizontrichtungen gegenüber denen, die innerhalb des Pendelbogens der Kleinen Mondwenden liegen, benachteiligt. Man wird folglich die häufigste Aufgangsrichtung des Mondes im Pendelbogen der Kleinen Mondwende suchen müssen. Innerhalb dieses Bogens überstreicht der Mond wegen seiner raschen Deklinationsänderung in großen Schritten die Himmelsrichtungen. Beobachtet man täglich den Mondaufgang, so stellt man fest, dass er - im Gegensatz zur Sonne, die von Tag zu Tag nur gemächlich am Horizont voranschreitet - Himmelsrichtungen auslässt und am Horizont große Sprünge macht. Die tägliche Sprungweite, also die Variation der Himmelsrichtung der Mondaufgänge innerhalb von zwei aufeinander folgenden Tagen, wird klein im Bereich der Mondwenderichtungen, die den Pendelbogen begrenzen. Deshalb spricht man auch hier - in Analogie zum Sonnenstillstand oder "Solstiz" - vom Mondstillstand oder "Lunistiz".

Die Abbildung 23 veranschaulicht die Wanderung bzw. die tägliche Sprungweite der Mondaufgänge am Horizont. Die Skizzen sind Umzeichnungen von langzeitbelichteten Fotografien. Man sieht, dass die Mondbahn zunächst von Tag zu Tag große Sprünge nach Süden macht (nach rechts in den Skizzen), dann - in den Tagen um das Lunistiz herum - nur noch wenig springt, und sich schließlich wieder nach Norden (nach links) wendet. Nach der

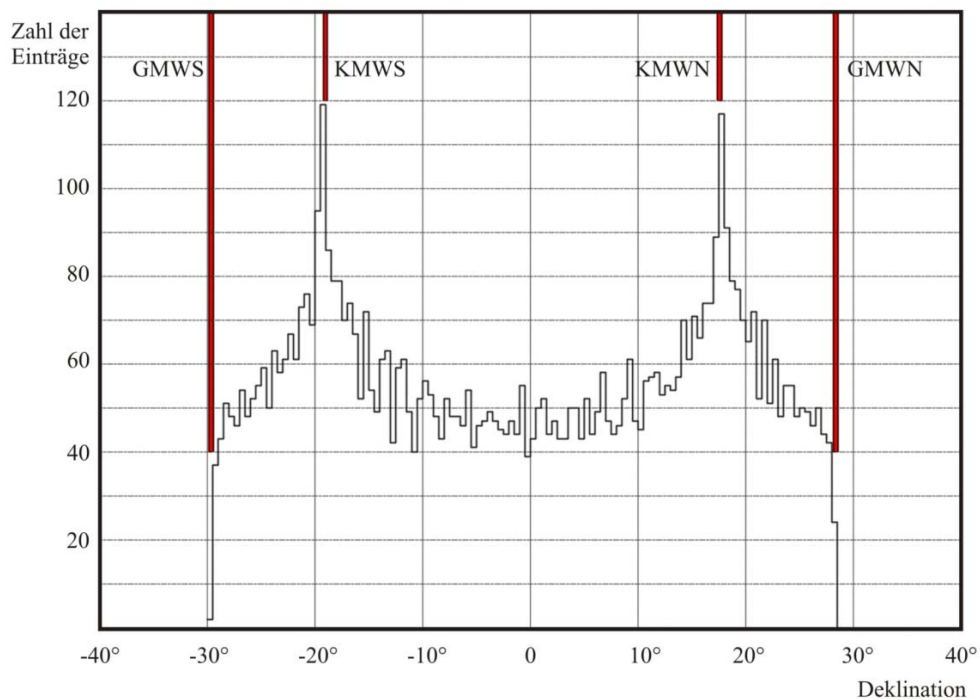


Abbildung 24: Verteilung der Monddeklinationen im Zeitraum vom 19.06.2006 bis zum 28.01.2025. Berechnet wurden scheinbare topozentrische Monddeklinationen von 6559 Mondkulminationen auf dem Südmeridian für einen hypothetischen Beobachter in Westfalen (51°19' Nord, 8°32' Ost, Bruchhauser Steine). Der Einfluss der geographischen Breite auf diese Verteilung ist sehr gering, weshalb die Verteilung auch die Verhältnisse in anderen Gebieten richtig wiedergibt. Die roten Striche markieren die Großen und Kleinen nördlichen und südlichen Mondwenden. Die scheinbaren Deklinationswerte der Mondwenden wurden unter Zugrundelegung einer mittleren Höhenparallaxe bei der Kulmination auf dem Südmeridian berechnet.

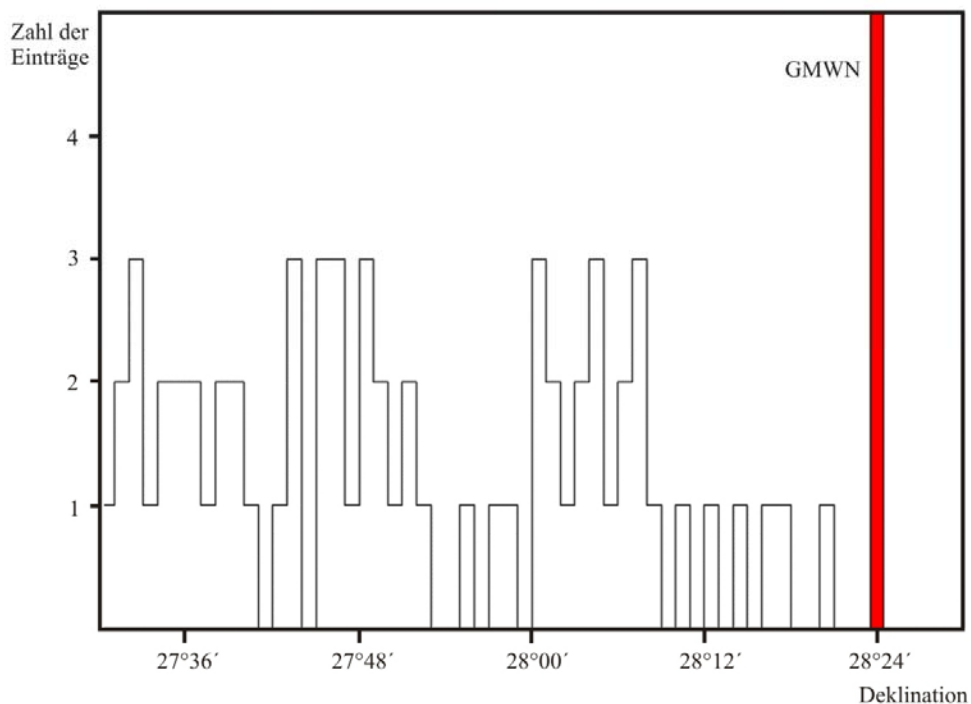


Abbildung 25: Häufigkeiten der Monddeklinationen größer als 27°30' innerhalb des 18,61-jährigen Mondwendezyklus von 2006 bis 2025. Der theoretische Maximalwert wird nicht erreicht und die einzelnen Deklinationswerte (Schrittweite 1 Bogenminute) sind anscheinend nach zufälligem Muster belegt. Eine Systematik kann hier jedenfalls nicht ohne Weiteres herausgelesen werden. Diagramm nach W. Schlosser.

Wende nimmt die Sprungweite wieder zu. Beobachtet wurde die südliche Mondwende im April 2003, bei der es sich um ein normales Wendeereignis handelte, also weder um eine Große noch um eine Kleine Mondwende. Die Skizzen der drei Tage vom 21. bis zum 23. April 2003 zeigen die drei Mondaufgänge um den Tag der eigentlichen Mondwende herum. Die Bahnen liegen dicht beisammen, während an anderen Tagen große Lücken zwischen benachbarten Bahnen liegen.

Die häufigsten Monddeklinationen innerhalb eines Monats sind die im Bereich der Mondwenden, weil der Mond langsam in seinen Extremstand hineinwandert und bei der zunächst langsamen Rückkehr nach der Wende die Bahn, die er einen Tag vor der Mondwende durchlief, zwangsläufig fast genau ein zweites Mal trifft. Über den gesamten Zyklus von 18,61 Jahren betrachtet sind jene Monddeklinationen am häufigsten, die mit einer Genauigkeit von ca. $0,5^\circ$ mit der nördlichen und südlichen Kleinen Mondwende zusammenfallen (etwa einen Tag vor bis einen Tag nach dem monatlichen Extremstand). Anschaulich wird diese Häufung anhand des sinusförmigen Deklinationsverlaufs der Mondbahn im Zustand der Kleinen Mondwende in Abbildung 18. Dort, wo die Kurve etwa parallel zur Rechtsachse verläuft (im Bereich der extremalen Deklinationen), verändert sich die Deklination von Tag zu Tag nur wenig und der Mond ist deshalb häufiger bei den Deklinationswerten der Mondwenden zu finden, als bei jenen, die im steileren Bereichen der Sinuskurve liegen. Auf den anderen Bahnen mit höheren Extremaldeklinationen als denen der Kleinen Mondwende schneidet die Mondbahn aber auch zweimal monatlich den Deklinationswert der Kleinen Mondwende und sorgt für zusätzliche Ereignisse mit Mondständen bei den Deklinationswerten der Kleinen Mondwende.

Die berechnete Häufigkeitsverteilung von topozentrischen Monddeklinationen (mit Berücksichtigung der Parallaxe und der Refraktion) über einen ganzen Mondwendezyklus hinweg (incl. Anfangstag des nächsten Zyklus) zeigt die Abbildung 24. Dort sind für einen bestimmten Ort in Westfalen (an allen anderen zeigen sich ähnliche Verhältnisse) die Deklinationen der 6559 Mondhöchststände im Südmeridian innerhalb von 6798,2 Tagen zwischen dem 19.06.2006 und dem 28.01.2025 aufgetragen. An diesen Daten steht der aufsteigende Knoten jeweils im Frühlingspunkt der Ekliptik. Eine Verteilung der Monddeklinationen beim Auf- oder Untergang führt zu einer praktisch identischen Abbildung.

In der Verteilung sind alle Mondkulminationen innerhalb des Mondwendezyklus eingetragen, also auch die bei den Neumondphasen, die man am Himmel nicht sehen kann. Da der Mond um Neumond herum ca. drei Tage unsichtbar bleibt, müsste man etwa 10% aller Einträge tilgen, wenn man nur die beobachtbaren Mondstände berücksichtigen will. Auch diese Einschränkung ändert im Prinzip nichts an der Gestalt der Verteilung. Mit großem Abstand am häufigsten sind die Deklinationen der Kleinen Mondwenden. Am seltensten sind die Deklinationen der Großen Mondwenden. Die Grafik ist aufschlussreich, weil sie ein von den extremen Horizontständen unabhängiges Kriterium für die Auszeichnung der Großen und Kleinen Mondwenden augenfällig macht: Der Mond wird am häufigsten bei den Deklinationswerten der Kleinen Mondwenden angetroffen. Der Mond steht dagegen praktisch nie im äußersten Deklinationsextrem der Großen Mondwende ($\varepsilon + i + \Delta$). Im betrachteten Zeitraum liegen insgesamt 24 Deklinationswerte über 28° . Das Diagramm in der Abbildung 25, das nach einem Vorbild von W. Schlosser [16] mit den oben genannten Daten gezeichnet wurde, zeigt dies augenfällig. Aufgetragen sind die Häufigkeiten der topozentrischen Deklinationswerte oberhalb von $27^\circ 30'$ innerhalb eines Mondwendezyklus mit einer Schrittweite von 1 Bogenminute (der von A. Thom behaupteten Präzision der lunaren megalithischen Präzisionsastronomie). Der theoretische Maximalwert der Großen

nördlichen Mondwende ($28^{\circ}24'$, scheinbare Deklination unter Berücksichtigung der mittleren Parallaxe und der Refraktion) wird nicht erreicht; hohe Monddeklination, die nur um bis zu einen Monddurchmesser (ca. $0,5^{\circ}$) vom äußersten Extremwert abweichen, jedoch relativ oft. Weder in dem einen Sinne (höchste Präzision) noch in dem anderen Sinne (Regelmäßigkeit der Wiederkehr) erfüllt die Große Mondwende die Erwartungen, die man an ein genau definiertes und kalendarisch nutzbares Ereignis stellt.

Die "Alleinstellungsmerkmale" der Großen und Kleinen Mondwenden seien hier nochmal kurz zusammengefaßt:

Große Mondwenden

- i) Häufigkeitskriterium (gültig bei einer Genauigkeit von 1 Bogenminute für die Deklination): Seltenste mögliche Horizontrichtungen bei den geozentrischen Deklinationsextremen $-(\varepsilon + i + \Delta)$, in denen der Mond fast nie gesehen werden kann.
- ii) Geometrisches Kriterium (gültig bei einer Genauigkeit von ca. $0,5^{\circ}$ für die Deklination): Extreme Horizontrichtungen die die Sonne nie erreicht, der Mond aber alle 18 - 19 Jahre mehrmals während einer Große-Mondwende-Saison aufsucht.

Kleine Mondwenden

- i) Geometrisches Kriterium (gültig bei einer Genauigkeit von 1 Bogenminute für die Deklination): Horizontrichtungen die der Mond im monatlichen Extremstand mit dem Deklinationsextrem $-(\varepsilon - i - \Delta)$ nur alle 18-19 Jahre während einer Saison mit Kleinen Mondwenden unterschreiten kann.
- ii) Häufigkeitskriterium (gültig bei einer Genauigkeit von ca. $0,5^{\circ}$ für die Deklination): Häufigste Horizontrichtungen, in denen der Mond gesehen werden kann.

Veranschlagt man für archäoastronomische Betrachtungen eine Genauigkeit von nicht mehr als ca. $0,5^{\circ}$, was sich in statistisch abgesicherten Untersuchungen verschiedener Ensembles von orientierten Gräbern, Steinreihen oder Steinkreisen mit ausgerichtetem Eingang oder Altarstein als sinnvoll und richtig bestätigt hat, so spricht für die Große Mondwende das geometrische Kriterium und für die Kleine Mondwende das Häufigkeitskriterium. Die Großen und Kleinen Mondwenden erweisen sich demnach als besonders bemerkenswert in diesem Sinn.

v) Deklinationsdifferenzen zum monatlichen Maximalwert in Abhängigkeit von der Zeit

Dieser und der noch folgende Abschnitt behandeln die Frage nach der kleinen Abweichung vom theoretischen Maximalwert der Monddeklination bei Großen und Kleinen Mondwenden und ihre Bestimmbarkeit mit archaischen Methoden. Diese Abweichung erfassen zu können, ist die Voraussetzung für die von A. Thom vorgeschlagene Finsternisvorhersage auf der Basis der kleinen Neigungsstörung. Die archäoastronomische Forschung ist über diesen Punkt der Diskussion mit einem für Thoms Vorschlägen und Behauptungen negativem Ergebnis hinaus [17, 18, 19, 20], jedoch ist die Behandlung dieser Frage von theoretischem Interesse und auch im Sinne der vollständigen Abhandlung des Mondwendethemas im archäoastronomischen Kontext geboten.

Oft bestehen Unklarheiten über das Wesen und die Bestimmungsgenauigkeit der extremen Richtungen des Mondes am Horizont, so dass sie zuweilen als im Prinzip gleichberechtigt zu den Sonnenwendrichtungen angesehen werden. Die sich hier anschließende Darstellung ist geeignet, den Unterschied der Mondwenden zu den Sonnenwenden nochmals deutlich herauszustellen.

Die genaue Horizontrichtung einer Mondwende ist nicht durch die Beobachtung z.B. des Aufganges des Mondes am Tag der Mondwende zugänglich, sondern sie muss wegen der Abweichung des Mondes von eigentlichen Deklinationsextrem beim Auf- oder Untergang aus der Beobachtung mehrerer Mondaufgänge vor und nach dem monatlichen Maximum erschlossen werden. Die Sequenz von drei Monduntergängen an den drei Tagen um eine südliche Mondwende herum, dargestellt in Abbildung 26 (beobachtet am 1. bis 3. August 2001 in Balderschwang im Allgäu), verdeutlicht das Verhalten der Deklinationsdifferenz mit der Zeitdifferenz zum eigentlichen Zeitpunkt der Mondwende. Es handelt sich bei der Abbildung 24 um überlagerte Umzeichnungen von Strichspurbahnen des Mondes kurz vor seinen Untergang hinter einer Waldkulisse. Der Verlauf der Mondbahn konnte an allen drei Tagen gut dokumentiert werden. Man erkennt eine teilweise Überlappung der Bahnen am 1. und 2. August. Im Bereich der Mondwende wird also eine bestimmte Mondbahn in den Tagen um die eigentliche Wende herum zweimal durchlaufen, sofern man als Genauigkeitskriterium für diese Bewertung wieder den Winkelpunkt oder den Winkeldurchmesser der Mondscheibe nimmt.

Der Deklinationsverlauf des Mondes, sein Wandern ins Extrem und sein darauf folgender Abstieg zu kleineren Deklinationsbeträgen lässt sich durch einen parabelförmigen Funktionsverlauf gegen die Zeit darstellen (nach A. Thom). Die Parabel ist innerhalb weniger Tage um die Mondwende herum eine sehr gute Näherung für die eigentlich sinus- bzw. kosinusförmige Variation der Deklination. Um das monatliche Deklinationsmaximum δ_{MMD} herum nimmt die Deklination den folgenden Verlauf:

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

Die Gesamtumlaufzeit P des Mondes ist der siderische Monat 27,32 Tagen. Im Folgenden werden die Defizite der Deklination zum monatlichen Maximalwert (MMD) 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:

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

Es lässt sich mit dieser Parabel-Formel schnell ausrechnen, welche Deklinationsdifferenz man erhält, wenn der Mond ein gewisse Zeitdifferenz t vor oder nach dem eigentlichen Wendeereignis beobachtet wird. Der Mond weicht also praktisch immer merklich vom theoretischen monatlichen Extremstand ab und zwar umso mehr, je weiter der Zeitpunkt des beobachteten Horizontstandes vom Zeitpunkt des eigentlichen Deklinationsextrems entfernt liegt. Bei einer Zeitdifferenz von $t = 0,25$ Tagen zum MMD und $\delta_{MMD} = \varepsilon + i$ (Große Mondwende Nord) erhält man beispielsweise $\partial\delta \approx 3'$, für $t = 0,5$ Tage ist $\partial\delta \approx 11'$ und für $t = 1$ Tag ergibt sich $\partial\delta \approx 46'$.



Abb. 26: Überlagerung der drei Monduntergangsbahnen bei einer südlichen Mondwende. Am 2.08.2001 war der Tag der Mondwende, aber auch am Vortag durchlief der Mond eine ähnlich südliche Untergangsbahn. Erfolgt eine Mondwende genau zum Zeitpunkt des Horizontstandes, so liegt die Bahn des Vortages deckungsgleich zur Bahn des Folgetages nach der Wende. Aus der Asymmetrie der Bahnlagen am Vor- und Folgetag kann man das genaue Datum der eigentlichen Mondwende rekonstruieren.

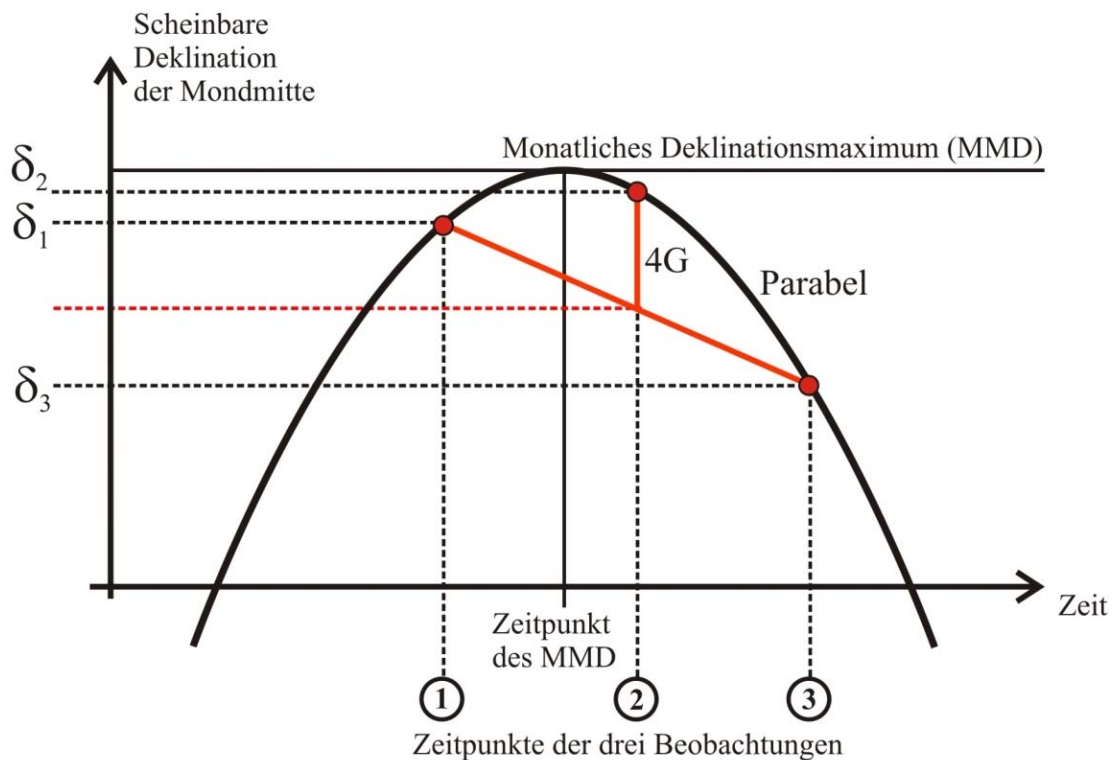


Abb. 27: Parabelförmiger Deklinationsverlauf im Bereich einer nördlichen Mondwende. Die Deklinationswerte bei den Mondaufgängen an drei aufeinanderfolgenden Tagen sind durch die Punkte 1, 2 und 3 gekennzeichnet. Das tatsächliche MMD liegt zwischen Tag 1 und 2.

vi) Die Extrapolationstheorie - eine Technik zur Bestimmung der monatlichen Extremaldekklination des Mondes

Es gibt eine Beobachtungs- und Konstruktionstechnik, mit deren Hilfe man das Maximum an Genauigkeit (eine Bogenminute!) bei der Bestimmung der tatsächlichen Mondwenderichtung herausholen kann, auch wenn der Mond zum Zeitpunkt seines Auf- oder Untergangs nicht im monatlichen Deklinationsextrem steht.

Der Mond geht jeden Tag später auf, weil er in seinem monatlichen Lauf entgegen der Richtung der täglichen Wanderung fortläuft und somit gleichsam seinem Untergang zu entfliehen versucht. Im Mittel verspätet sich der Mond täglich um 51 Minuten. Um welche Zeitspanne er sich an einem bestimmten Tag tatsächlich gegenüber dem Vortrag verspätet, hängt nicht nur von der momentanen Deklination und den anderen astronomischen Verhältnissen des Mondlaufs ab (er bewegt sich u. a. mit ständig wechselnder Geschwindigkeit auf einer Bahnellipse, die wiederum selbst ihre Lage im Raum verändert), sondern auch vom Verlauf des Landschaftshorizontes am Beobachtungsort und der Neigung der Ekliptik zum Horizont im Moment der Beobachtung.

Thoms Behauptung, die Priesterastronomen der Stein- und Bronzezeit hätten durch die systematische Beobachtung der Mondwenden die Systematik der Mondfinsternisse und die kleine Neigungsstörung der Mondbahninklination entdecken und künftige Finsternisereignisse vorhersagen können basiert auf vereinfachenden Annahmen, diesen und andere Aspekte des Mondlaufs wie die schwankende Horizontalparallaxe und die variable seine Geschwindigkeit auf seiner Bahnellipse betreffend, weshalb seine Aussagen schon der Überprüfung auf die Richtigkeit der astronomischen Voraussetzungen nicht standhielten. Außerdem konnte eine nachträgliche Analyse die von Thom behauptete hohe Präzision seiner zahlreichen Fallbeispiele "megalithischer Mondobservatorien" nicht bestätigen, wodurch auch die Datengrundlage für seine weitreichenden Schlußfolgerungen wegbrach [21].

Hier soll der Frage nachgegangen werden, ob es grundsätzlich möglich ist, mit einem gegenüber Thoms ursprünglichen Vorschlag leicht modifizierten Verfahren, welches die ignorierten Effekte näherungsweise erfasst, die erforderliche Genauigkeit zu erreichen; unabhängig davon, ob sich das letztlich als relevant für die prähistorische Astronomie erweist. Voraussetzung für einen Nachweis der kleinen Neigungsstörung ist die Bestimmbarkeit des monatlichen Deklinationsmaximums (in der Folge abgekürzt mit MMD) mit etwa Bogenminutengenauigkeit. Da der Mond nur zweimal am Tag im Horizont steht und nur dann mit Hilfe einer Peilung auf eine Marke des natürlichen Landschaftshorizontes der Positionsmessung zugänglich ist, wird man ihn zumeist nicht im Deklinationsextrem antreffen. Viel wahrscheinlicher ist das Erreichen seines extremalen Deklinationswertes, wenn er hoch am Himmel steht oder unterhalb der Horizontlinie verborgen ist. Bereits in wenigen Stunden verändert der Mond seine Deklination so deutlich, dass sein monatlicher Maximalwert nicht durch eine einzelne Horizontbeobachtung gefunden werden kann.

Weil der Mond mit immer geringer werdenden stündlichen Deklinationsveränderungen in sein südlichstes Extrem läuft, fand im Beispiel der Abbildung 26 die tatsächliche Mondwende zwischen dem 1. und dem 2. August 2001 statt. Wäre das südliche Deklinationsextrem exakt beim Monduntergang am 2. August erfolgt, so lägen die Mondbahnen der Nachbartage nicht asymmetrisch zur Bahn am Mittag, sondern exakt auf gleicher Höhe.

Typische Verhältnisse für die beobachtbaren Deklinationen an den drei Tagen um eine nördliche Mondwende herum sind in der Abbildung 27 in ein Diagramm eingezeichnet. Aufgetragen ist der Betrag der Monddekklination gegen die Zeit. Der Deklinationsverlauf des

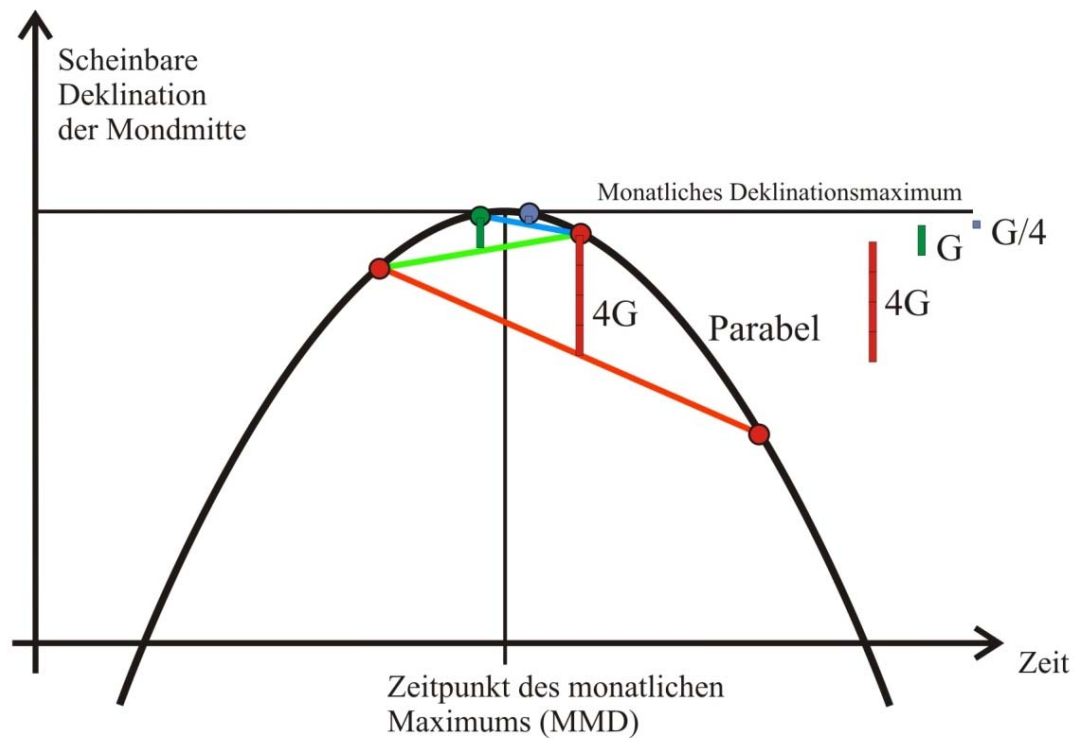


Abb. 28: Anwendung der Extrapolationstheorie. Ausgehend von der Extrapolationslänge $4G$ werden in mehreren Schritten (mit G , $G/4$,...) Zwischenwerte der Deklinationsparabel bestimmt, die dem MMD im Prinzip beliebig nahe kommen.

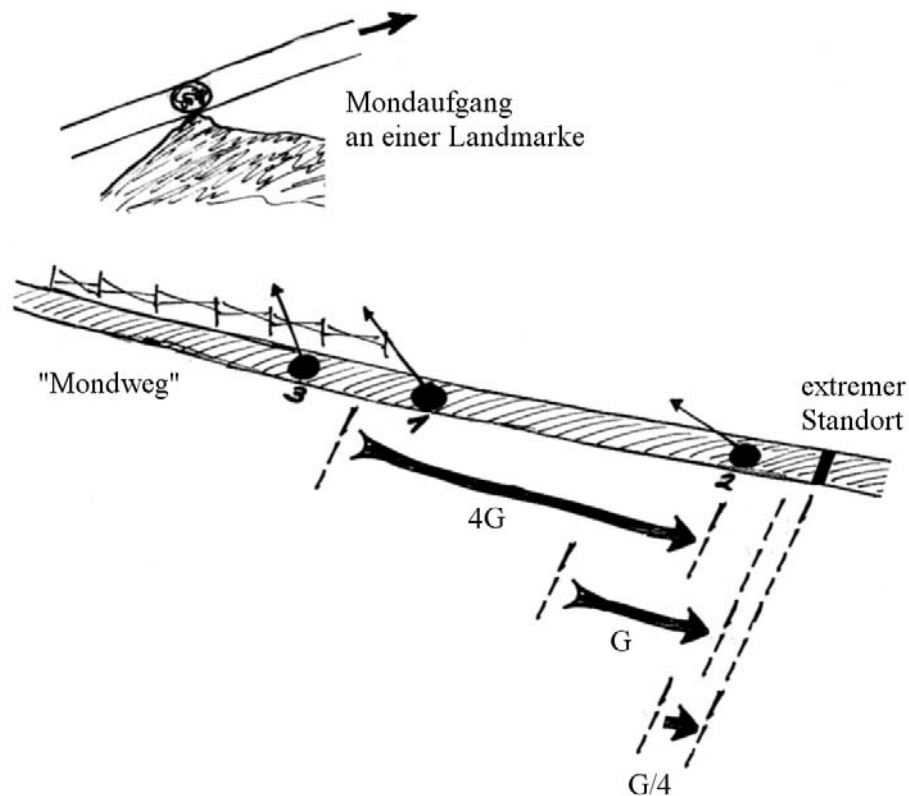


Abb. 29: Durchführung der Extrapolation auf einem "Mondweg". Mithilfe eines fernen Peilziels werden Deklinationsunterschiede in Wegstreckenunterschiede überführt. Man bestimmt die drei Ausgangspunkte für die Extrapolation durch Verlagerung des Beobachtungsortes entlang des Weges derart, dass der Mond bei den drei aufeinanderfolgenden Aufgängen immer hinter dem Peilziel steht.

Mondes, sein Wandern ins Extrem und sein darauf folgender Abstieg zu kleineren Deklinationsbeträgen sind hier durch die Parabelnäherung dargestellt.

Die roten Punkte stellen die Deklinationswerte zu den Zeiten der drei Monduntergänge dar. 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 übertrifft? - Das folgende Konstruktionsverfahren, welches auf den drei Beobachtungen und der Parabelnäherung des Deklinationsverlaufs basiert, leistet dies. Aus den drei Beobachtungspunkten auf der Kurve des Deklinationsverlaufs lassen sich sukzessive weitere Punkte der Parabel zwischen den begrenzenden Beobachtungstagen 1 und 3 ermitteln, die dem wirklichen Extremwert der Deklination schnell nahe kommen. Dazu wird zunächst die sog. Extrapolationslänge $4G$ ermittelt, die als Maßstab für das Extrapolieren der gesuchten MMD aus den beobachteten Werten dient (wir folgen der Notation von Thom, wählen aber das Vierfache von G , weil zunächst dieser Wert als Ausgangsgröße für das Verfahren gewonnen werden muss). Thoms ursprüngliche Annahme, der Wert $4G$ sei allmonatlich gleich und damit eine konstante Größe im Mondlauf, ist der bereits erwähnte Fehler in seiner Theorie. Wegen der Geschwindigkeitsänderung auf der Bahnellipse, die sich in der Darstellungsweise der Abbildung 27 in von Monat zu Monat verschieden erweiterten Parabeln und variablen Zeitabständen zwischen den rot gezeichneten Messpunkten äußert, und auch wegen der variablen Parallaxe schwankt G um bis zu 20% um den Mittelwert. Der Wert von $4G$ ist deshalb für jede Mondwende aus den drei Mondbeobachtungen neu zu ermitteln, und kann nicht auf jene Monate übertragen werden, wo vielleicht eine Beobachtung wegen schlechter Witterung ausfiel. Dies war das Hauptargument gegen Thoms modifizierte Theorie der Präzisionsmondbeobachtung: Man benötigt an allen drei Tagen um die Mondwende herum gutes Wetter und gute Sicht auf den Horizont, um die Sequenz der drei Aufgänge (oder Untergänge) beobachten zu können. Das aber ist zumindest für Mittel- und Nordeuropa eher selten der Fall. Da Kleine bzw. Große Mondwenden, die allein zur Bestimmung der kleinen Neigungsstörung mit diesem Verfahren geeignet sind, nur einige Male während ihrer jeweiligen Saison alle 18 bis 19 Jahre auftreten, multipliziert sich die Wahrscheinlichkeit für schlechtes Wetter noch mit der kleinen Wahrscheinlichkeit von Lunationen im Zustand der Großen bzw. Kleinen Mondwende und insgesamt gibt es nur sehr wenige Gelegenheiten für die Durchführung dieses Verfahrens.

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 aufeinander folgenden zeitlich äquidistanten Mondbeobachtungen im halbierten Zeitmaßstab auf die Spanne zwischen 1 und 2, in der ja das MMD liegt, übertragen. Bei halbiert 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. 28; 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 $G/4$ abbrechen (Abb. 28; blau gezeichnet). Das MMD berechnet sich damit zu:

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

1. Extrapolationsschritt :

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

2. Extrapolationsschritt

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

Wie aber funktioniert das Verfahren ohne die Möglichkeit der Deklinationsmessung? - Dazu muss man die beobachteten Mondstände am Horizont, also die Azimutwerte des auf- oder untergehenden Mondes in Strecken auf dem Erdboden überführen. Man wählt sich zunächst ein markantes Landschaftsmal, an dem die drei erforderlichen Mondstände in immer gleicher Weise beobachtet werden können (z.B. durch Kontakt des aufgehenden Mondunterrandes an einem Felsen, in einer Einkerbung des Horizontes oder an einem Berggipfel; siehe Abbildung 29). Dies setzt die Möglichkeit der Verlagerung des Beobachtungsstandpunktes auf einem "Mondweg" voraus, der in hinreichend planem aber nicht notwendig ebenem Gelände liegen muss. Man sucht sich den Beobachtungsort entlang des Weges, von dem aus das Ereignis exakt in der zuvor definierten Weise (z.B. "Kontakt des Mondunterrandes am Gipfel") gesehen werden kann. An Genauigkeit erreicht man dabei das Auflösungsvermögens des freisichtigen Auges von einer Bogenminute, wenn es sich um eine Fernpeilung auf ein Peilziel in größerer scheinbarer Höhe handelt, wodurch die mögliche große Schwankung der Refraktion, wie sie auf dem mathematischen Horizont auftreten kann, stark unterdrückt ist.

Der Abstand der drei unterschiedlichen Beobachtungsorte auf dem Mondweg an den drei Tagen um die Mondwende herum hängt von der Entfernung des Peilziels ab. Die Extrapolationslänge $4G$ äußert sich in einer charakteristischen Weglänge auf dem Mondweg, und zwar als Wegstreckendifferenz zwischen dem Mittelpunkt der Beobachtungspositionen am Tag 1 und 3 und der Beobachtungsposition am Tag 2. Die Strecke $4G$ entspricht dem Deklinationsunterschied zwischen dem MMD beim Aufgang und dem Wert beim Mondaufgang einen Tag vor oder nach dem MMD. Der Deklinationsunterschied zum MMD beträgt dann bei der Großen Mondwende Nord (siehe Zahlenbeispiel am Ende von Abschnitt v):

$$\partial\delta \approx 46'$$

Dieses Deklinationsdefizit zum MMD lässt sich in eine Strecke überführen, wenn die entsprechende Azimutverschiebung bekannt ist. Mit der sphärischen Trigonometrie erhält man für diese Azimutvariation in Abhängigkeit von der geographischen Breite des Beobachters, der Deklinationsdifferenz, dem Nordazimut und dem Höhenwinkel der angepeilten Richtung:

$$\frac{\partial a}{\partial \delta} = \frac{\cos \delta}{\cos \phi \cdot \cos h \cdot \sin a_N}$$

Für $\phi = 51,5^\circ$, $h = 0$, $\delta = 28^\circ$, $a_N = 40^\circ$ erhält man z.B.:

$$\frac{\partial a}{\partial \delta} = 2,2$$

Das heißt, dass z.B. bei einer Verringerung der Deklination um 1° die entsprechende Aufgangsrichtung des Mondes auf dem Horizont sich um $2,2^\circ$ in Richtung Süden verlagert. Bei einer Verringerung der Deklination um $46'$ beträgt die Azimutverlagerung in diesem Beispiel $1^\circ 41'$. Diese Azimutverlagerung lässt sich mittels der Entfernung s des Peilziels zum Beobachter nun in die Extrapolationslänge $4G$ umwandeln (Abb. 30):

$$4G = s \cdot \tan \left[\partial \delta \cdot \left(\frac{\partial a}{\partial \delta} \right) \right]$$

Für eine Peilzielentfernung von $s = 4 \text{ km}$ erhält man für die Extrapolationslänge in diesem Zahlenbeispiel ca. 260 Meter. Allerdings gilt diese Strecke nicht für jedes MMD, da der Wert von $\partial \delta$ von Monat zu Monat schwankt.

Auf dem Weg kann nun das Extrapolationsverfahren in der oben beschriebenen Weise durchgeführt werden, nur, dass es jetzt auf Azimutdifferenzen und nicht auf Deklinationsdifferenzen beruht. Die Abbildung 29 verdeutlicht, wie man zum theoretischen Beobachtungsort für das Deklinationsextrem gelangt. Das Verfahren wird an Ort und Stelle auf dem Mondweg mit Messlatten oder Seilen durchgeführt, nicht in einem abstrakten Deklinationsdiagramm wie in Abbildung 28.

Vollführt man dieses Verfahren in den Zeiten der Großen Mondwende, so kann man auf diese Weise auf dem Mondweg einen äußersten Standort ermitteln, von dem aus betrachtet der Mond sich in seinem allernördlichsten Deklinationsextrem am Felsen befände, wenn er nur zu diesem Zeitpunkt wirklich dort aufginge. Wiederholt man es Monat für Monat innerhalb einer Großen Mondwende-Saison, so wird man leicht unterschiedliche Extremalstandorte für die Große Mondwende erhalten, je nachdem, wie sich die schwankende Neigungsstörung in den einzelnen Monaten auswirkt. Den äußersten Standort innerhalb einer Großen Mondwende-Saison erhält man, wenn die Sonne zusammen mit der Knotenlinie im Frühlings- oder Herbstpunkt steht, also bei zunehmenden Halbmond beim Frühlingsanfang oder bei abnehmendem Halbmond bei. Es verfinstert sich dann auch der dem Frühlings- oder Herbstanfang nächstgelegene Vollmond und alle weiteren Vollmonde, die den Terminen, die man durch Addition von je 173,3 Tagen (halbes Finsternisjahr und Periode der Neigungsstörung) zum Ausgangsdatum erhält, am nächsten liegen.

Zur Illustration der Tauglichkeit dieser Methode wurden alle südlichen Mondwenden in der Zeit vom 6.12.2002 bis zum 12.01.2010 mittels einer Astronomiesoftware berechnet. Trägt man die monatlich südlichsten Deklinationen (MMD) und die Werte an den nachbartagen vor und nach der Wende in einem Diagramm gegen die Zeit auf (Abb. 31), so erkennt man in Analogie zur Abbildung 20 die Variation des beobachtbaren MMD in der Zeit von ca. 3,5 Jahren vor bis 3,5 Jahren nach der Großen-Mondwende-Saison des Jahres 2006. Im Bereich des Minimums der Werte (Große Mondwende Süd) schwanken die monatlichen Einträge stark und erreichen vor allem nie den theoretischen Minimalwert (waagerechte Linie unterhalb der Kurve). Da auch die beiden Deklinationenwerte des Mondes am Vortag und am Folgetag der südlichen Mondwende eingetragen sind, liegt im Diagramm auch die Information zur Durchführung der Extrapolationstheorie vor. Extrapoliert man nun alle beobachtbaren MMDs in drei Schritten mit G , $G/4$ und $G/16$, so erhält man Extremalwerte für die Deklination, die nahe (bis auf ca. 1 Bogenminute) am theoretischen MMD eines jeden Monats liegen (Abb. 32).

Im Verlauf dieser konstruierten Extremstände sieht man nun endlich auch den Einfluss der kleinen Neigungsstörung. Die extrapolierten Extremstände erreichen schließlich auch den absoluten Minimalwert (waagerechte Linie), der ohne Anwendung dieses

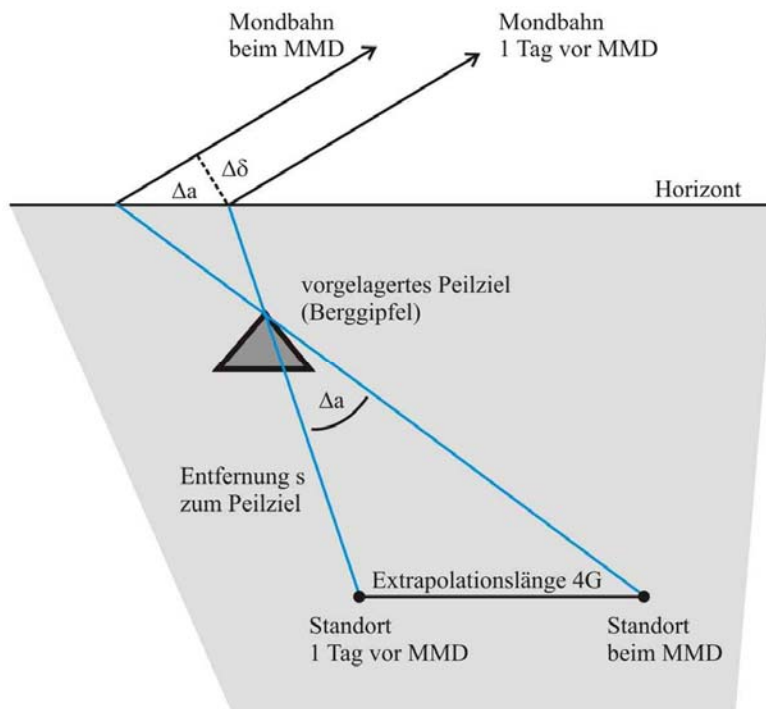


Abb. 30: Bestimmung der Strecke 4G aus der Azimutverschiebung der Mondaufgänge am Horizont sowie der Entfernung des Peilziels.

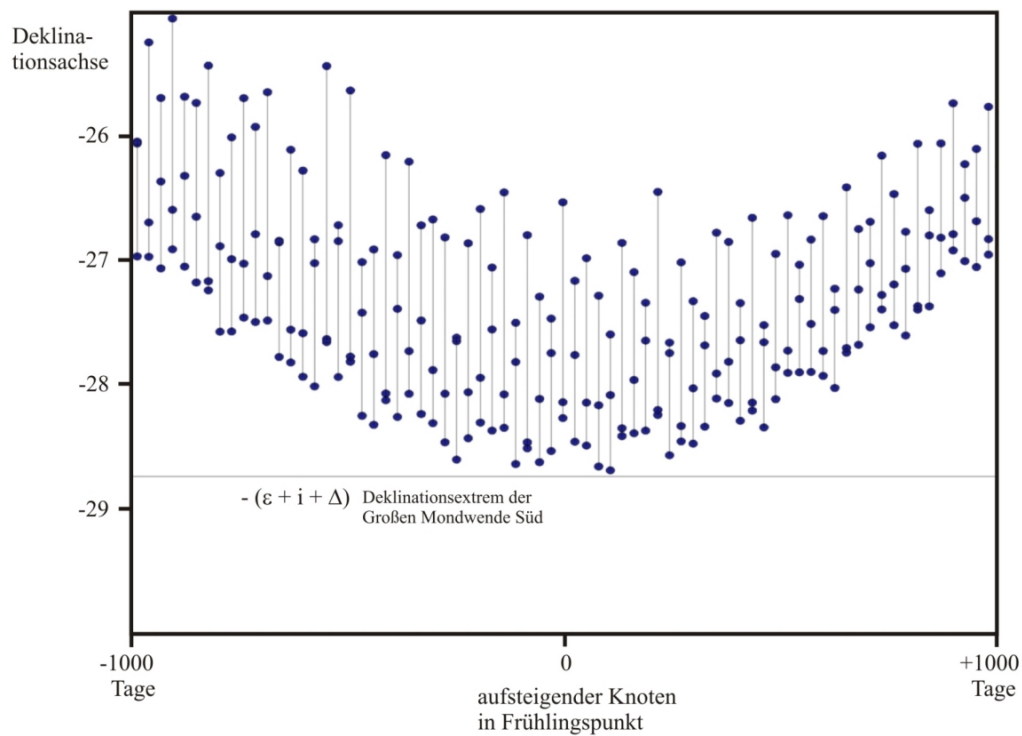


Abb. 31: Monatliche Minimaldeklinationen des Mondes und die der Nachbartage (jeweils verbunden durch senkrechte schwarze Linien) im Zeitraum von Dezember 2002 bis Januar 2010. Der theoretische Minimalwert der Großen südlichen Mondwende (waagerechter schwarzer Strich) wird praktisch nie erreicht.

Extrapolationsverfahrens immer unerreicht bliebe bzw. nur zufällig einmal getroffen würde. Die Neigungsstörung läuft synchron mit den Finsternisterminen.

Vergleicht man schließlich noch alle aus jeweils drei Beobachtungen ermittelten Werte für die Extrapolationslänge $4G$ mit den Horizontalparallaxen des Mondes an den Tagen des MMD (Abb. 33), so wird die starke Abhängigkeit der Extrapolationslänge von der Parallaxe augenfällig. Sie schwankt um bis zu 30% um ihren Mittelwert.

Die mögliche Beziehung des an sich sehr interessanten Extrapolationsverfahrens für das MMD mit der Archäoastronomie wird erkennbar, wenn man wie einst Thom postuliert, dass die mittels der Extrapolationstheorie konstruierbaren idealen Standorte der Großen und Kleinen Mondwenden im Hinblick auf ein auffälliges Landschaftsmal in der Prähistorie bewusst gesucht und anschließend durch Steinsetzungen o. ä. markiert worden seien. Eine Identifikation eines solchen megalithischen Mondobservatoriums setzt dann das Vorhandensein eines geeigneten Landschaftsmerkmals voraus, an dem der Mond in einer seiner Großen oder Kleinen Mondwenderichtungen gepeilt werden konnte (vergleiche Abb. 29). Ggf. könnte man vielleicht auch noch Reste des Beobachtungsweges bzw. von Markierungen auf ihm identifizieren. Die für das Extrapolationsverfahren erforderliche Länge des linearen Mondweges hängt von der Entfernung zum gepeilten Landschaftsmal ab. In dieser charakteristischen Länge könnte man folglich noch den Entfernungshinweis auf das in der Landschaft zu identifizierende Merkmal sehen, bzw., sofern dieses erkannt ist, ein Indiz für die Stimmigkeit der Interpretation als Mondweg für das Extrapolationsverfahren ableiten.

Auch wenn Thoms Versuch eines Nachweises dieser Beobachtungstechnik in der Prähistorie nicht erfolgreich war und man in der Archäoastronomie heute davon ausgeht, dass es sich bei Thoms Hypothese zwar um ein feinsinnig ausgedachtes Konzept, nicht aber um einen Zugang zu den realen astronomischen Fähigkeiten und Praktiken des prähistorischen Menschen handelt, gibt es viele prähistorische Bauwerke für die man eine ungefähre Ausrichtung auf ein Mondextrem feststellen kann, so dass die Großen und Kleinen Mondwenden auch heute noch als Interpretationsvorschläge z.B. für Gräberausrichtungen oder für die Lage vorgeschichtlicher Stätten in Bezug zu bestimmten Landschaftsmalen Verwendung finden. Im nun folgenden Abschnitt 3 werden neben interessanten Fallbeispielen für Sonnenwendpeilungen deshalb auch mögliche Mondwendeausrichtungen behandelt. Allerdings wird dabei nicht von Mondbeobachtungen im Bereich bis auf eine Bogenminute ausgegangen, sondern allenfalls eine Genauigkeit im Bereich der sichtbaren Mondscheibengröße (ca. $0,5^\circ$) in Betracht gezogen. Diese Einschränkung trifft auf die Sonnenwenden nicht zu, da die Sonne sehr langsam in ihre extremen Horizontrichtungen hineinwandert und bei deren Beobachtung prinzipiell auch ohne Weiteres hohe Genauigkeiten erreicht werden können.

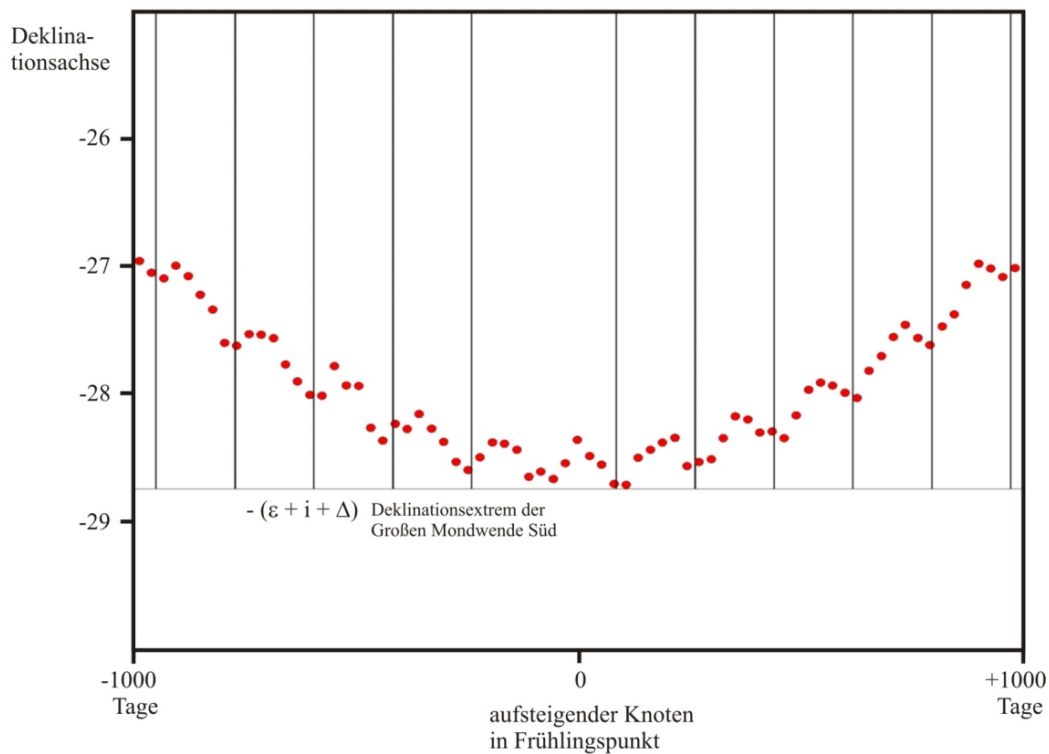


Abb. 32: Extrapolierte monatliche Minimaldeklinationen. Nun wird auch der Einfluss der Neigungsstörung auf die monatlichen Minimalwerte deutlich sichtbar. Die senkrechten Linien markieren Daten von Mondfinsternissen, die am Standort, für den die Berechnung erfolgt ist, sichtbar sind. Die Mondfinsternisdaten und die Extremalwerte der Neigungsstörung laufen (fast) synchron.

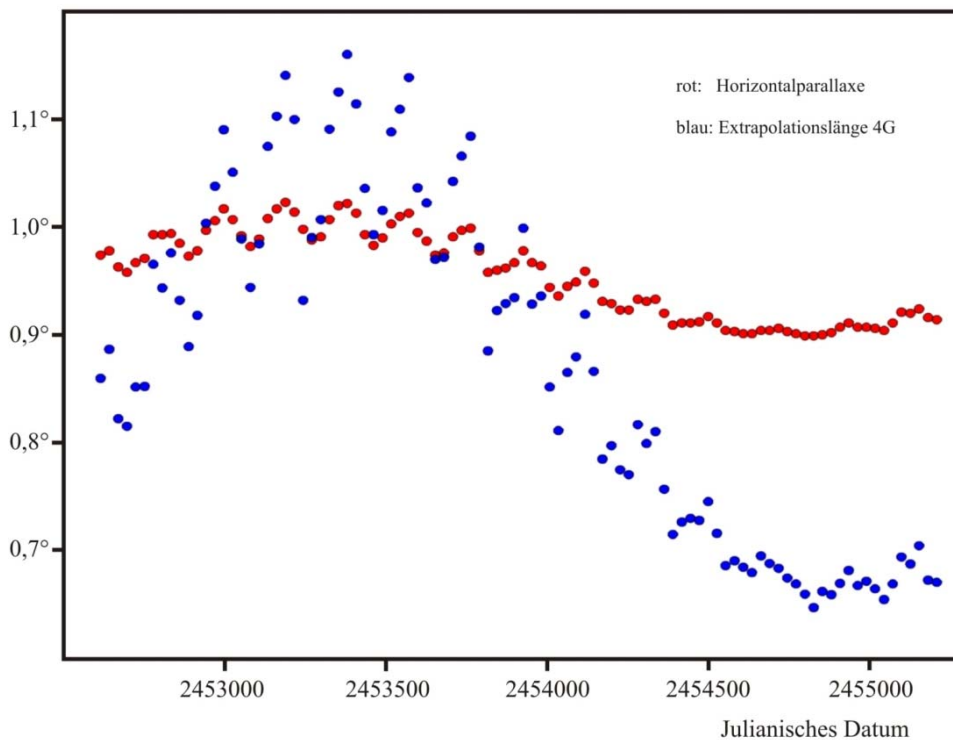


Abb. 33: Extrapolationslängen (blaue Punkte; dargestellt als Deklinationsdifferenz) und Horizontalparallaxen des Mondes (rote Punkte) aufgetragen gegen die Zeit. Man erkennt die Korrelation zwischen 4G und der Parallaxe. Es treten Schwankungen von bis zu 30% um den Mittelwert von 4G auf.

Teil 3: Fallbeispiele zur Illustration

Für die im ersten und zweiten Teil behandelten theoretischen Grundlagen werden hier einige Fallbeispiele vorgestellt und diskutiert, bei denen die Interpretation einer Orientierung zu einer Sonnen- oder Mondwende sinnvoll ist. Die ganz unterschiedlichen Beispiele illustrieren einerseits die Genauigkeit, mit der Sonnenbeobachtungen mit archaischen Techniken möglich sind, andererseits die Eignung sowohl der Landschaft bzw. auffälliger Landschaftsmale als auch baulicher Strukturen zur Richtungsfestlegung.

Es handelt sich jeweils um Einzelfälle, die eine bemerkenswerte astronomische Auffälligkeit zeigen. Als Nachweis für einen tatsächlich vorhandenen astronomischen Hintergrund bei der Errichtung dieser Stätten kann die alleinige Feststellung einer solchen Auffälligkeit allerdings nicht gewertet werden. Dies setzt eine größere Zahl gleichartiger Fälle voraus, die einen solchen Schluss aufgrund der Häufung eines bestimmten Phänomens zulassen. Nur dann lässt sich die Hypothese eines zufälligen Zustandekommens zwanglos abschmettern. Insofern dürfen die Beispiele nicht als Beweise für eine tatsächliche astronomische Motivation der Erbauer missverstanden werden, auch wenn es plausibel ist, dass sie tatsächlich vorhanden war.

Die meisten der behandelten Örtlichkeiten wurden von Autor selbst untersucht, entweder durch Vermessung vor Ort oder durch die Zuhilfenahme digitaler Geländemodelle. Die Anregung zu diesen Untersuchungen entsprang zumeist entsprechenden Behauptungen in der archäoastronomischen Literatur, die hier verifiziert oder falsifiziert werden sollen. Das betrifft die Lagebeziehungen des Fundortes der Himmelsscheibe von Nebra zum Hochharz und zum Kyffhäuser, des Fundortes des Goldhutes von Schifferstadt zum Donnersberg und die Orientierung der Visbeker Braut. Das archäoastronomische Potenzial der Bruchhauser Steine und der Galeriegräber von Beckum-Dalmer und Soest-Hiddingsen wurde erstmals vom Autor beschrieben. Es wird hier erneut zur Diskussion gestellt.

i) Eine hochpräzise Sonnenwendpeilung an den Bruchhauser Steinen

Aus der Landschaft um die Orte Assinghausen, Elleringhausen, Bruchhausen, Wiemeringhausen, Wulmeringhausen und Brunskappel, allesamt Ortsteile der Stadt Olsberg im Hochsauerlandkreis in Südwestfalen, eröffnen sich viele interessante Blicke auf die Bruchhauser Steine, markante Felstürme aus Quarzporphyr, die die Horizontlinie im östlichen Bereich des Horizontes überragen. Könnten die Vulkanfelsen als Peilmarken für bestimmte Sonnen- und Mondaufgänge verwendet worden sein? - Diese Überlegung war der Ausgangspunkt einer systematischen Untersuchung der gesamten Landschaft im Umfeld der Bruchhauser Steine nach Beobachtungsorten für besondere Sonnenaufgänge in Richtung der Felsen wie z.B. am Tag der Sommersonnenwende. In der Tat fanden sich einige Kandidaten für kalendarische Beobachtungsorte, gekennzeichnet durch christliche Bildstöcke aus der Zeit um 1700 n. Chr., die hier vorgestellt werden. Eine Bewertung dieser astronomisch auffälligen Erscheinung als zufälliges Ereignis wird dadurch entkräftet, dass es drei Bildstöcke gibt, von deren Position vergleichbare Ereignisse beobachtet werden können [22].

An einem idealen Platz für die Beobachtung der aufgehenden Sonne am Tag der Sommersonnenwende steht der Bildstock des heiligen Antonius von Padua vom 27. Mai 1699. Man findet diesen Bildstock auf halbem Weg zwischen Bruchhausen und Assinghausen am Rand der Landstrasse in einem kleinen Waldstück. Der Namenstag dieses Heiligen fällt auf den 13. Juni, was möglicherweise als Hinweis auf die Sonnenwende zu deuten ist. Vor der Gregorianischen Kalenderreform im Jahr 1582 fiel das Datum der Sommersonnenwende etwa



Abb. 34: Vorbeizug der Sonne am Feldstein am 21. Juni, dem Tag der Sommersonnenwende, bei der Beobachtung vom Bildstock des heiligen Antonius von Padua um 6.20 Uhr Mitteleuropäische Sommerzeit.

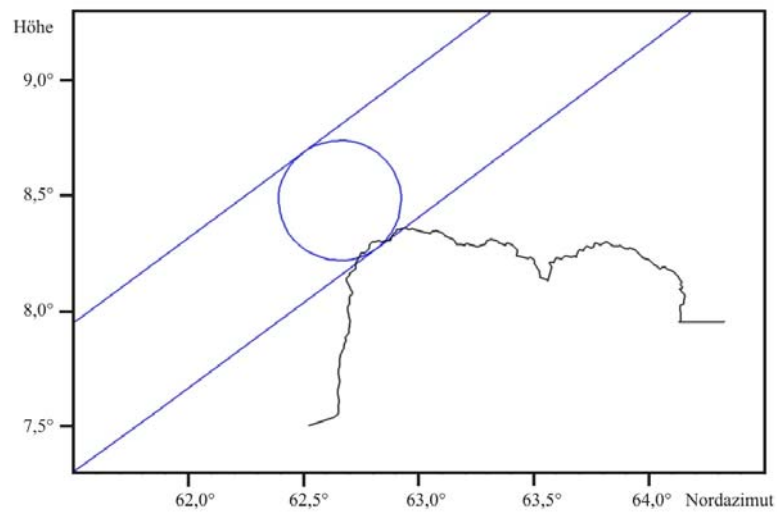


Abb. 35: Simulationsrechnung der Aufgangsbahn der Sonne am 21. Juni in heutiger Zeit. Die Sonne wird ein wenig von der Kante des Feldsteins bedeckt.

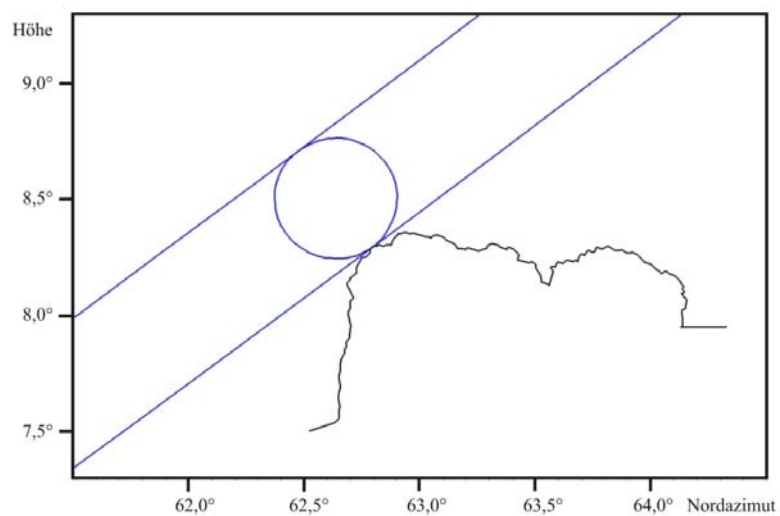


Abb. 36: Simulationsrechnung der Aufgangsbahn der Sonne am 21. Juni 1699, im Jahr der Errichtung des Bildstocks. Die Sonne streift den Feldstein ohne Restbedeckung.

auf dieses Datum. Im 17. Jahrhundert prallten auf dem Assinghauser Grund, um den sich die Kölner Erzbischöfe (katholisch) mit den Waldecker Fürsten (evangelisch) stritten, die beiden Konfessionen aufeinander und in den schriftlichen Quellen findet man Datumsangaben beider Stile (julianisch und gregorianisch) noch bis in die Mitte des 17. Jahrhunderts. Zur Zeit der Errichtung der Bildstöcke war die Gegenreformation abgeschlossen und die gesamte Gegend war wieder katholisch. Vielleicht hat man das alte julianische Datum der Sonnenwende auch bei der Errichtung des neuen Bildstocks durch die Wahl des heiligen Antonius von Padua beibehalten.

Der Bildstock steht mit Dezimetergenauigkeit (genommen ist die Heiligenfigur in der Mitte des Schreins) an jener Stelle, von der aus am 21. Juni der streifende Vorbeizug der Sonne an der Kante des Feldsteins beobachtet werden kann (Abb. 34).

Die Sommersonne geht auf dem Istenberg zwischen dem Ravenstein und dem Feldstein auf und erreicht die Felskante des Feldsteins um 6.20 Uhr Mitteleuropäische Sommerzeit (MESZ). Heutzutage wird die Sonne ein wenig vom Felsen verdeckt, was auf die geringfügige Verringerung der Schiefstellung der Erdachse in den vergangenen drei Jahrhunderten seit der Errichtung des Bildstocks zurückgeführt werden kann (Abb. 35). Im Jahr 1699 war der streifende Vorbeizug perfekt, d.h. ohne eine Restbedeckung der Sonnenscheibe durch den Felsen (Abb. 36).

Bei klarem Himmel ist das Sonnenlicht für eine direkte Beobachtung zu intensiv für das freisichtige Auge, aber man kann den Vorgang mit gleicher Präzision mit einer Camera Obscura oder mit einem berußten Glas beobachten, welches die Sonnenintensität abdämpft.

Der Mensch neigt dazu, in zufälligen Formationen (z.B. in Wolken oder an Felsen) bekannte Strukturen wie Gesichter zu erkennen, sog. "Naturspiele" oder "Simulakren". Der streifende Vorbeizug der Sonne am Feldstein erfolgt an jener Stelle, die einem nach links oben blickenden menschlichen Linksprofil ähnelt. Vielleicht gab dieses leicht sichtbare Naturspiel den Anlass zur genauen Festlegung der Peilstelle am Felsen. Nur zur Sonnenwende läuft die Sonne nördlich am Felsgesicht vorbei, wobei sie ihren jährlichen „Todeskuss“ erhält. Danach sinkt sie wieder auf tiefere Bahnen hinab.

Dieses Beispiel zeigt, dass sich selbst die geringfügige Variation der Ekliptikschiefe innerhalb von drei Jahrhunderten bei einer hochpräzisen Fernpeilung, deren Einrichtungsdatum bekannt ist, auf die Beobachtungssituation auswirkt.

Möglicherweise steht der Bildstock an einer Stelle, die schon in vorchristlicher Zeit für Sonnenwendbeobachtungen genutzt wurde. Die Peilung müsste dann aber im Jahre 1699 in Gestalt der Neufestlegung des Beobachtungsortes bewusst neu eingerichtet worden sein, wie die Genauigkeit der Peilung demonstriert, die bei der Peilzielentfernung von 1,8 km eine Positionierung auf wenige Dezimeter voraussetzt. Eine ältere Beobachtungstradition, sofern es sie an diesem Ort gegeben hat, muss also bis ins 17. Jahrhunderte noch gepflegt worden sein. Schriftliche Dokumente, die das bezeugen, sind nicht bekannt.

Ein weiterer Bildstock gleicher Zeitstellung (St. Nikolaus) steht an einem Ort, von dem aus betrachtet der Sonnenaufgang in der gleichen Weise (streifender Vorbeizug des Sonnenunterrandes am Feldstein) am 1. Mai beobachtet werden kann. Wegen der nicht ganzzahligen Länge des Sonnenjahres (gemessen in Tagen) gibt es in den vier Jahren innerhalb eines Basisschaltzyklus jeweils von Jahr zu Jahr eine leichte Variation in der Bahnlage der Sonne am 1. Mai. Nach Ablauf von vier Jahren und einem eingefügtem Schalttag wiederholt sich die Sequenz der vier Bahnen nahezu identisch. Die Peilung ist so genau, dass man die Notwendigkeit der Schaltung innerhalb von einigen Jahren erkennen kann und sich heute der Einfluss der Unregelmäßigkeit der Säkularschaltregel des

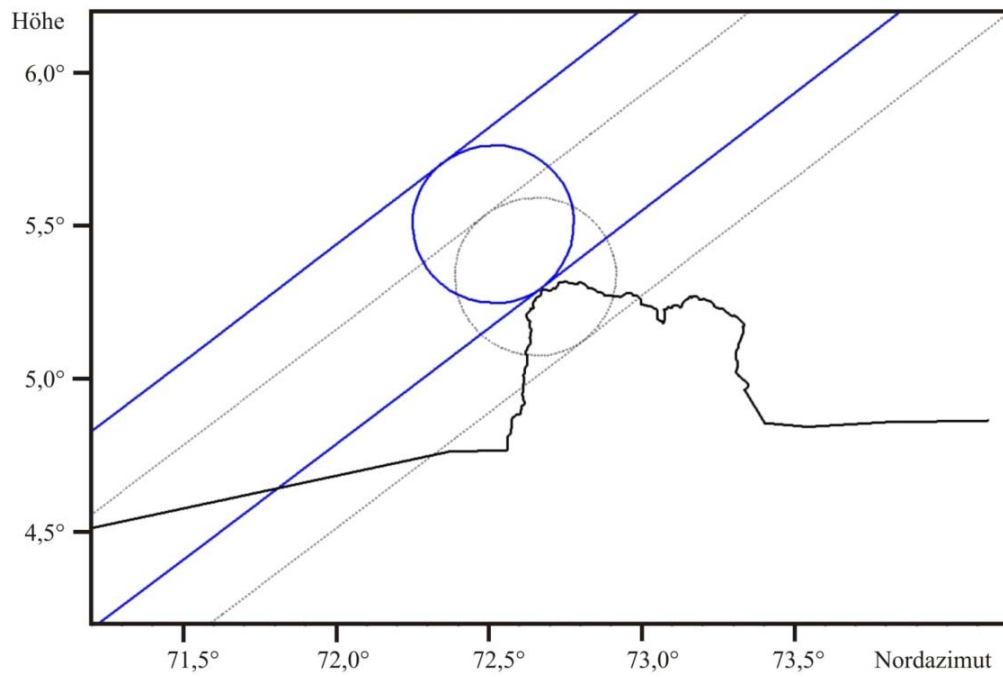


Abb. 37: Die Verhältnisse beim Sonnenaufgang am 1. Mai in der Zeit um 1700 - der Errichtungszeit der Bildstöcke. Damals gab es eine den Feldstein perfekt streifende Sonnenbahn im Schaltjahr (blaue Linien) und eine Bahn mit maximaler Restbedeckung im Vor-Schaltjahr (graue Linien).

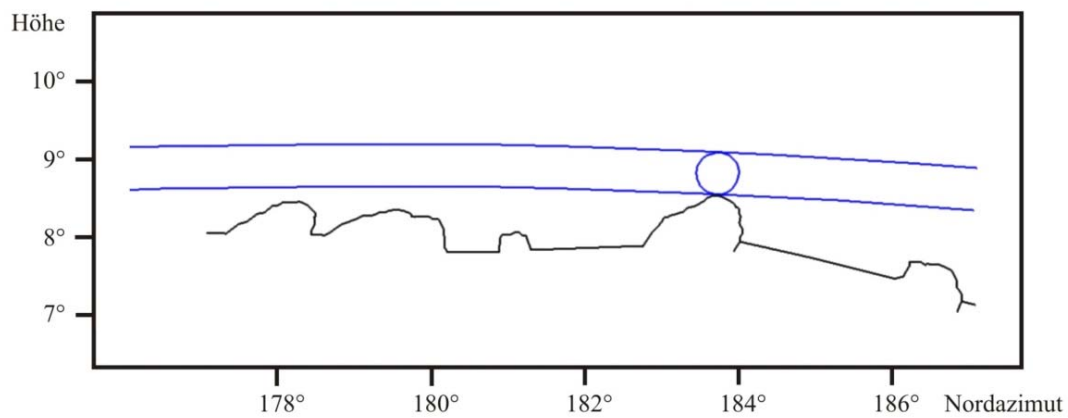


Abb. 38: Streifender Vorbeizug des Mondes am Feldstein bei seiner tiefstmöglichen Bahn über den Himmel im späten 17. Jahrhundert.

Gregorianischen Kalenders auf ihre Güte auswirkt. Optimal war die Peilung in der Zeit um 1700, als der Bildstock errichtet wurde (Abb. 37).

Ein dritter Bildstock (St. Stephanus, errichtet 1682) steht an einer Stelle, von wo aus der südlichste Mondstand am Feldstein zu sehen ist. Der Mond wanderte um 1700 im Zustand der südlichen Großen Mondwende in Meridiannähe in geringer Höhe an den Bruchhauser Steinen vorbei (Abb. 38). Alle drei Bildstöcke haben demnach ein vergleichbares astronomisches Potential, das auf entsprechende Beobachtungstraditionen Ende des 17. und zu Beginn des 18. Jahrhunderts hindeutet.

ii) Die Lagebeziehung des Fundortes der Himmelsscheibe zum Hochharz

Die bronzezeitliche Himmelsscheibe von Nebra stellt - auch wenn sich ihr enigmatisches Gesamtbild nicht zweifelsfrei und eindeutig interpretieren lässt - den gestirnten Nachthimmel dar. Durch die zwei goldenen Segmente am Scheibenrand (augenscheinlich später angebracht; eines fehlt heute) konserviert sie überdies die Winkelspanne zwischen den Richtungen zur Sommer- und Wintersonnenwende, die um 1600 v. Chr. auf dem 51. bis 52. Breitengrad ca. 82° bis 83° betrug. Diese Auffassung setzt allerdings die - naheliegende - Interpretation des Scheibenrandes als Horizont voraus.

Der Mittelberg, auf dem die Scheibe 3600 Jahre vergraben lag, war vermutlich ein nach topographischen Gesichtspunkten ausgewählter Standort für die Beobachtung von Sonnenuntergängen. Von ihm aus betrachtet erfolgen die Sonnenuntergänge in den ersten Tagen des Mais (gemessen im heutigen Kalender) in Richtung des Kyffhäuser-Gebirges und im Hochsommer zur Sommersonnenwendzeit über dem Hochharz mit dem Wurmberg und dem Brocken als höchste Erhebungen [23]. Die Bergsilhouetten übernehmen damit die Funktion von Peilmarken zur Anzeige von Sonnenuntergängen an bestimmten herausragenden Kalenderdaten.

Auf der Grundlage von digitalen Geländedaten, die bei der Shuttle Radar Topographie Mission (SRTM) gewonnen wurden und im Internet frei zugänglich sind (allerdings nur mit einer Maschenweite von 90 m) lässt sich die Horizontkulisse in Richtung Hochharz und Kyffhäuser simulieren. Zur Visualisierung und Bewertung der solaren Orientierung der Berge muss nur noch die Ansicht der berechneten Sonnenbahn für die Zeit der Himmelsscheibe (1600 v. Chr.) eingetragen werden. In Abbildung 39 ist das geschehen. Dargestellt sind die Verhältnisse beim Sonnenuntergang zur Sommersonnenwende um 1600 v. Christi Geburt. Die Abbildung 40 zeigt die heutige Sonnenbahn zum gleichen Datum.

Es ist also keineswegs so, dass die Sonne am Tag der Sommersonnenwende "genau hinter dem Brocken untergeht", wie man bei der populären Aufarbeitung dieses Themas immer wieder zu hören oder zu lesen bekommt, sogar auf den offiziellen Schautafeln am Mittelberg selber. Darüber kann man sich nur wundern, denn die Aussage "genau hinter dem Brocken" ist in der archäoastronomischen Literatur nirgends publiziert. Die hier durchgeführte Landschaftsanalyse bestätigt die in der oben genannten Quelle gemachte zeichnerische Aussage über die Sonnenbahn beim Sommeranfang hinter dem Hochharz vollauf, wenn auch die Abbildung 39 in dieser Arbeit mit einer den natürlichen Verhältnissen entsprechenden Skalierung von Azimut- und Höhenwinkelkoordinate etwas eingängiger aufzufassen sein mag. Was bedeutet der in der Abbildung 39 dargestellte Sachverhalt für die Interpretation des Mittelbergs als prähistorischen Horizontbeobachtungsort? - Folgende Möglichkeiten bieten sich an:

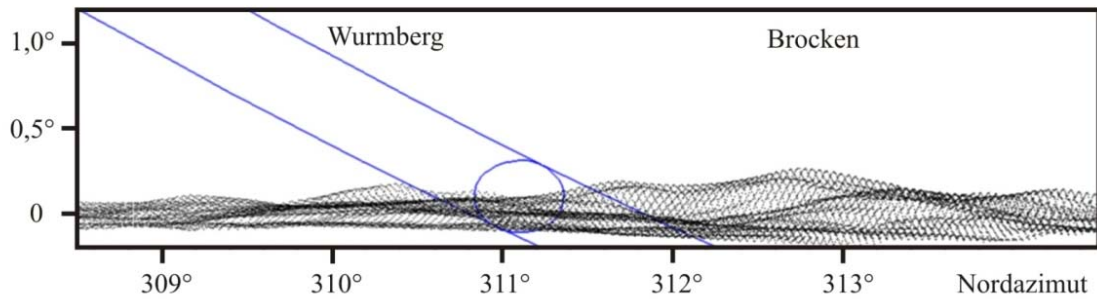


Abb. 39: Visualisierung des Sonnenuntergangs 1600 v. Chr. über dem Hochharz mit Hilfe des digitalen Geländemodells der Shuttle Radar Topographie Mission (SRTM), gesehen vom Mittelberg, dem Fundort der Himmelsscheibe.

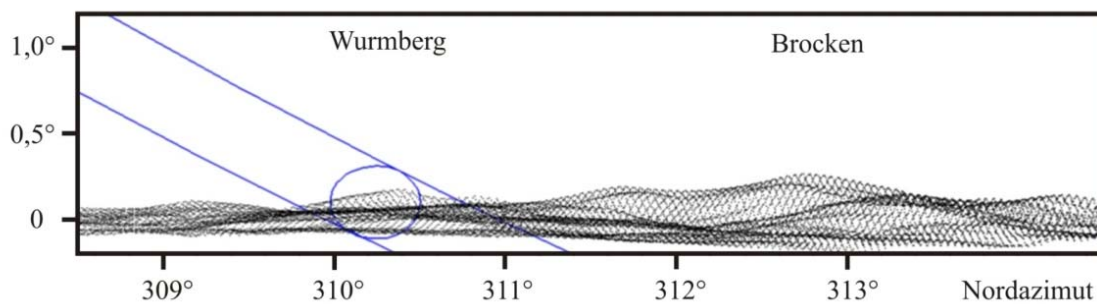


Abb. 40: Visualisierung des Sonnenuntergangs in heutiger Zeit; die Verlagerung gegenüber der Sonnenbahn in Abbildung 2 erklärt sich durch die Verringerung der Ekliptikschiefe von $23,88^\circ$ um 1600 v. Chr. auf $23,44^\circ$ in unserer Epoche.

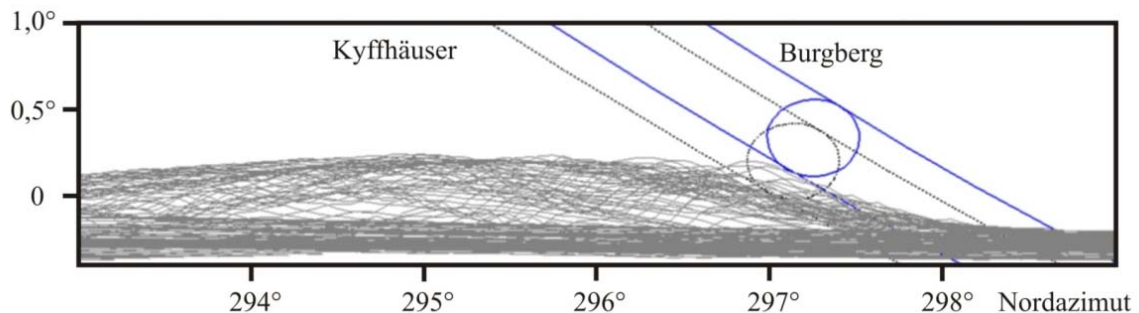


Abb. 41: Visualisierung des Sonnenuntergangs 1600 v. Chr. an der Nordflanke des Kyffhäuser-Burgbergs am Tag in der zeitlichen Mitte zwischen dem Frühlingsäquinoktium und der Sommersonnenwende. Innerhalb von vier Jahren (Basisschaltzyklus in unserem Gregorianischen Kalender) variiert die Sonnenbahn an diesem Zwischendatum zwischen der blau bzw. grau eingezeichneten Bahn. Die Feststellung der jährlichen Veränderung der Sonnenbahn an einem festen Datum und schließlich der Notwendigkeit der Einschaltung eines Tages alle vier Jahre ist bei einer solchen landschaftsbezogenen Präzisionspeilung prinzipiell leicht möglich.

- 1) Der Fundort der Himmelsscheibe zeigt keine solare Orientierung zum Brocken.
- 2) Der Fundort zeigt eine symbolische Orientierung zum Hochharz mit geringer Genauigkeit, bzw. wenn es auf Genauigkeit ankam, ist der Wurmberg oder die nördlich von ihm sichtbare Einkerbung des Horizontes die Sonnenwendmarke.
- 3) Der Brocken liegt weiter nördlich als der nördlichste Sonnenuntergangsort, es kommt mithin ein Bezug zum Mond, der weiter nördlich gelegene Richtungen als die Sonne erreicht, in Frage.

Eine Entscheidungsfindung zwischen diesen Alternativen ist nicht möglich. Zu Punkt 3) muss noch erwähnt werden, dass sich der nördlichste Monduntergang zur Zeit der Großen Mondwende weit nördlich des Brockens abspielt, etwa bei einem Azimut von 320° . Der Brocken kann demnach auch nicht als Peilmarke für die Mondwende interpretiert werden. Er liegt aber in dem Bereich des Horizontes, den gelegentlich der Mond, die Sonne aber nie erreichen kann.

Für eine Bewertung des horizontastronomischen Potentials des Mittelbergs muss noch die Peilung zum Kyffhäuser-Gebirge beachtet werden. Auffälligstes landschaftliches Merkmal auf der Horizontkulisse überhaupt ist der Burgberg des Kyffhäusers. Er liegt vom Mittelberg aus betrachtet in der Richtung, in der die Sonne an den zwei Tagen im Jahr untergeht, die in der zeitlichen Mitte zwischen der Sommersonnenwende und den zeitlichen Äquinoktien liegen - eine bemerkenswerte Tatsache. Die Abbildung 41 visualisiert diesen Sonnenuntergang. In der Vierjahressequenz des Basisschaltzyklus variiert die Sonnenbahn an diesen Tagen zwischen den beiden begrenzenden Bahnen, die mehr oder weniger stark in die nördliche Flanke des Burgbergs hinein schneiden. Im horizontastronomischen Sinn handelt es sich hierbei um eine Präzisionspeilung, die sowohl taggenau die beiden genannten Daten anzeigt als auch die exakte Bestimmung der Länge des Sonnenjahres ermöglicht und die Notwendigkeit der Schaltung innerhalb weniger Jahre offenbart.

Dies kann als Indiz für die im Teil 1 beschriebene Unterteilungsstrategie des Sonnenjahres durch mehrmalige Halbierung der Zeitspannen zwischen den beiden Sonnenwenden gewertet werden. Wenn überhaupt, ist der Mittelberg eine "prähistorische Sternwarte" (d.h. ein Beobachtungsplatz, der nicht allein einer Einbeziehung der Sonne in religiöse Handlungen, sondern auch der Erhebung astronomischer Daten diene) aufgrund dieser Auffälligkeit, nicht aber hinsichtlich seiner Lagebeziehung zum Brocken.

iii) Die Sonnenwendpeilung vom Fundort des Schifferstädter Goldhutes zum Donnersberg

Nördlich von Schifferstadt im Rheintal wurde 1835 bei Arbeiten auf einem Feld ein bronzezeitlicher Goldhut aus der Zeit um 1400 v. Chr. gefunden. Der Hut war aufrecht stehend im Boden mit drei seitlich angelegten Absatzbeilen vergraben. Es handelt sich folglich um eine absichtsvolle Bestattung dieses goldenen Herrschafts- und Sakralobjektes, und die Vermutung auch einer bewussten Auswahl des Bestattungsortes ist naheliegend. Das Motiv für die Auswahl des Ortes könnte in der Astronomie liegen.

Untersucht man die Landschaftstopographie auf Auffälligkeiten, die als kalendarisch relevante Peilziele mit dem Fundort des Goldhutes als ursprünglichem Beobachtungsstandort in Frage kommen, so wird man mit dem in nordwestlicher Richtung in 41 km Entfernung gelegenen Donnersberg fündig, der sich durch seinen Namen (er deutet auf den germanischen Hauptgott Donar hin) und durch kilometerlange vorgeschichtliche Wallanlagen in seinem Gipfelbereich als von herausragender vorgeschichtlicher Bedeutung verrät. Der Berg ist nach Kurt Kocher sonnenwendorientiert in Bezug zum Fundort des Goldhutes [24].

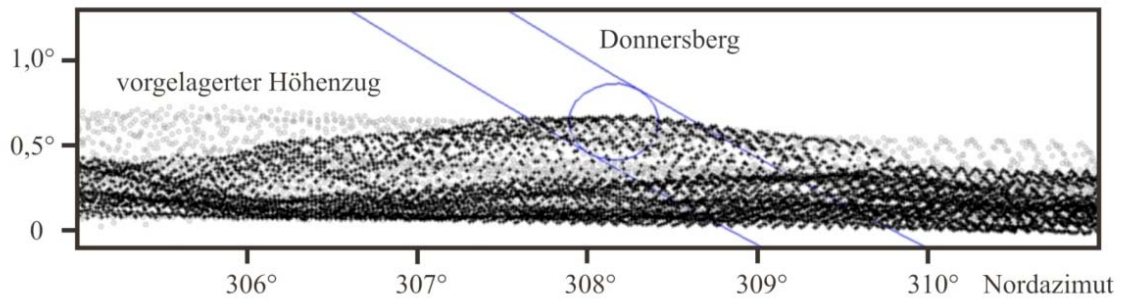


Abb. 42: Visualisierung der Sonnenbahn am Tag der Sommersonnenwende um 1400 v. Chr. in Bezug zum Donnersberg (schwarze Kreuze). Der vorgelagerte Höhenzug (graue Kringel) verstellt den Blick auf den Berg und lässt nur noch die Sicht auf den Gipfelbereich des Donnersbergs zu. Standort für diese Perspektive ist der Fundort des Schifferstädter Goldhutes. Die Geländedaten entstammen der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).



Abb. 43: Blick entlang der Hauptachse der Visbeker Braut in Richtung Südwesten auf die vier großen Abschlusssteine. Die beiden Kreuze auf den mittleren Steinen sind Hilfsmarken für die Vermessung der Anlage durch den Autor. Im Vordergrund die überwachsene Grabkammer, deren Decksteine fehlen.



Abb. 44: Blick auf die Abschlusssteine der Visbeker Braut in Richtung Nordosten.

Eine zweite topographische Auffälligkeit kommt noch hinzu. Zwischen dem Fundort des Goldhutes und dem Gipfel des Donnersberges besteht so eben Sichtverbindung. Ein vorgelagerter Höhenzug verdeckt ihn bei der Betrachtung vom Fundort aus fast vollständig. Bewegt man sich vom Fundort entlang der Blickrichtung auf den Donnersberg zu, so wird er nach und nach durch diese Geländestufe verdeckt. Anscheinend kam es bei der Auswahl des Bestattungsortes sowohl auf die Sichtbarkeit des Berggipfels, als auch auf seine Richtlage zur Sonne an. Zur Visualisierung dieser Sichtverhältnisse und zur Analyse der Genauigkeit der Sonnenwendorientierung wird die sichtbare Horizontlinie mithilfe von digitalen Geländedaten graphisch dargestellt und diese Zeichnung um die Untergangsbahn der Sonne am Tag der Sommersonnenwende in der Bronzezeit ergänzt (Abb. 42).

Um 1400 v. Chr. ging die Sommersonne hinter dem Gipfel des Donnersberges unter (mit einer Genauigkeit im Bereich von einigen Zehntelgraden). Die Gipfelsilhouette ist nicht besonders markant, sondern bildet nur einen schmalen Streifen von etwaiger Sonnenbreite über dem vorgelagerten Höhenzug. Sofern es auch höher aufragende größere bauliche Strukturen auf dem Gipfel gab, konnten diese als Silhouette auf der untergehenden Sonnenscheibe erkannt werden. Eine Struktur der Breite 5 - 10 m (z.B. ein Turm oder ein Gebäude) erscheint aus einer Entfernung von 41 km unter der Winkelbreite von 0,4 bis 0,8 Bogenminuten. Bei der besonderen Beleuchtungssituation mit der Sonne hinter einer solchen Struktur ist ein solches Bauwerk noch mit bloßem Auge sichtbar.

Eine Beobachtung dieser Art allein verrät natürlich nicht das genaue Datum der Sonnenwende. Dieses muss mit der in Teil 1 beschriebenen Mittelungstechnik gefunden werden. Die Aufreihung von Sonne, Berggipfel und Beobachter am Tag der Sonnenwende in Form einer in der Landschaft orientierten Linie ist vermutlich das zugrundeliegende Motiv einer solchen Installation, nicht der wissensbezogene Charakter einer präzisen kalenderastronomischen Peilung.

Die Aufreihung Sonne-Berggipfel-Beobachter lässt sich als thematischer Gleichklang zu den Alignements aus aufgerichteten Steinen werten, eines der Hauptelemente der megalithischen Sakralarchitektur. Der Hintergrund für diese Aufreihungen liegt wohl nicht im technischen oder praktischen, sondern im symbolischen, religiösen oder künstlerischen Bereich, verweist also auf das Geistesleben des prähistorischen Menschen.

iv) Die Orientierung der Längsachse der Visbecker Braut zur Großen Mondwende

Die monumentale Steinzeitanlage in unmittelbarer Nähe der Bundesautobahn A1 (Anschlußstelle Wildeshausen West) in der Ahlhorner Heide besteht aus zwei parallelen ca. 79 m langen und 9 m voneinander getrennten Steinreihen, die eine Grabkammer einfassen. An der südwestlichen Stirnseite der Anlage befinden sich vier große Abschlusssteine (Abb. 43 und 44).

Das Nordazimut der Steinreihen beträgt nach Rolf Müller 38,1°. Eine Nachmessung durch den Autor bestätigte dieses Azimut. Müller klassifizierte die Visbeker Braut aufgrund der vier markanten Abschlusssteine, die Visiermarken gewesen sein könnten, als herausragendes Mondobservatorium [25].

Es ist aber unwahrscheinlich, dass diese Steine schon um 3000 v. Chr., der Entstehungszeit der Anlage, dort standen. Womöglich handelt es sich nur um die dort zur "Verschönerung" aufgestellten Deckplatten der Grabkammer, die an Ort und Stelle nicht mehr vorhanden sind [26]. Das Grab war ohnehin von einem Hügel überhäuft, weshalb es auf die genaue Lage und Form einzelner heute sichtbarer Steine für die archäoastronomische Interpretation gar nicht ankommt, sondern nur die generelle Ausrichtung der Anlage von Interesse ist.

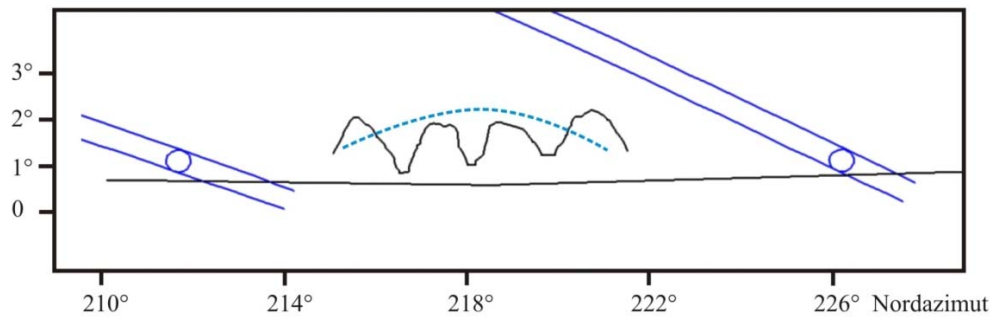


Abb. 45: Ansicht der Visbeker Braut vom nordöstlichen "Eingang" des Grabs. Die extreme Bahn des Mondes beim Untergang im Zustand der Großen Mondwende Süd (linke Bahn) und die der Sonne am Tag der Wintersonnenwende (rechte Bahn) sind über dem simulierten Horizont, der nahezu flach verläuft, eingezeichnet. Die Hauptachse der Visbeker Braut deutet zwischen diese beiden Untergangspunkte von Mond und Sonne. Der ursprüngliche Hügel ist durch die gewölbte blaue Linie eingetragen.

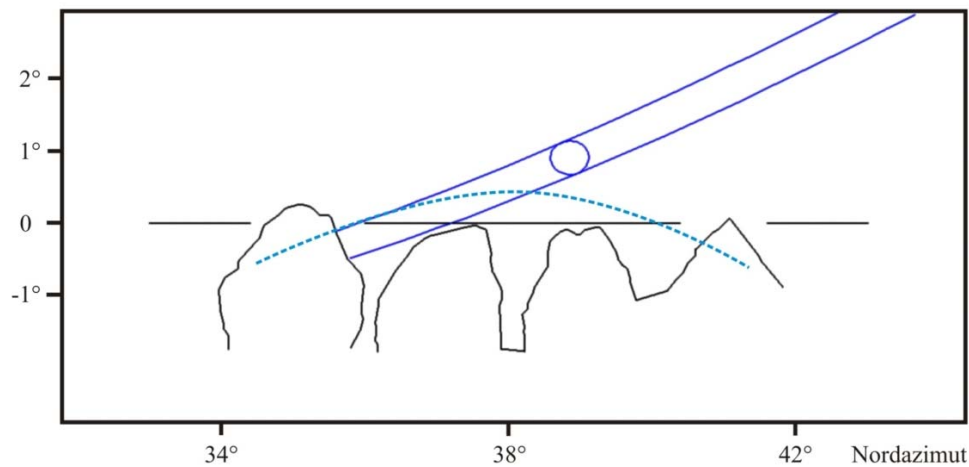


Abb. 46: Ansicht der Visbeker Braut aus einer südwestlichen Beobachtersposition, die sich 65 Meter von den Abschlußsteinen entfernt in der Verlängerung der Mittelachse befindet. Der Mond geht im Zustand der Großen Mondwende Nord in Richtung des Grabs über der einstigen Hügelaufschüttung (gewölbte blaue Strichlinie) auf.

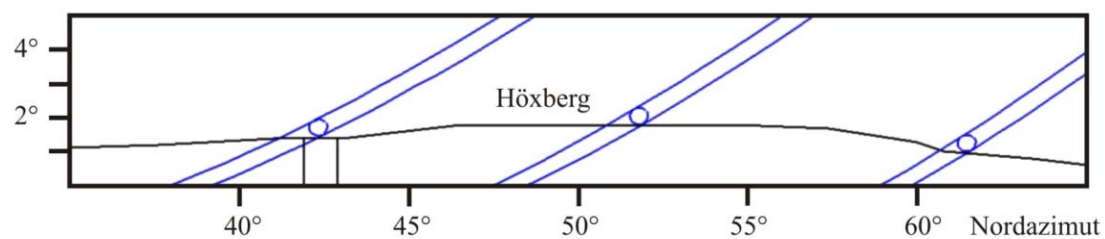


Abb. 47: Nördlichste Aufgangsbahnen der Sonne bei der Sommersonnenwende (SSW) und des Mondes bei der Großen und Kleinen Mondwende Nord (GMWN, KMWN) über Beckum-Dalmer. Die Kammerachse (rotes Rechteck) zielt in die nordöstliche Richtung auf die GMWN-Bahn.

Ein Blick auf die topographische Karte zeigt eine weitläufige ebene Form des Geländes, das heute wegen der Bewaldung nicht mehr einsehbar ist. In einer unbewaldeten Landschaft wäre ringsherum ein freier Horizont ohne besondere landschaftliche Strukturen zu sehen.

Die Kammerachse deutet in zwei Horizonthrichtungen (Nordazimute $38,1^\circ$ und $38,1^\circ + 180^\circ = 218,1^\circ$), die beide hinsichtlich ihres astronomischen Potentials diskutiert werden können, wie schon Müller feststellt. Er hält die Südwestrichtung für bedeutsamer als die Nordostrichtung, da vom nordöstlich gelegenen "Eingang" in die Visbeker Braut (eine Bezeichnung, die sinnlos ist, wenn man an den einst über der Anlage befindlichen Hügel denkt) betrachtet der Mond im südlichen Extrem zwischen den Kerben der "Visiersteine" untergehe.

Der Blick entlang der Kammerachse nach Südwesten führt tatsächlich in den Bereich des Großen südlichen Mondextrems, der Blick nach Nordosten in die Gegend des nördlichen Mondextrems. Die Abbildungen 45 und 46 zeigen die simulierte Ansicht zusammen mit den extremen Bahnen des Mondes (und in Abb. 45 auch die der Wintersonne). Der markanten Gestalt der vier Steine sollte aber bei der Bewertung der Ausrichtung keine besondere Bedeutung beigemessen werden. Stattdessen ist versuchsweise ein Profil für die Gestalt des Hügels eingezeichnet, welcher über den Steinsetzungen aufgeschüttet war. Dabei wurde angenommen, die langen Steinreihen hätten die Erdaufschüttung ursprünglich seitlich eingefasst.

Bemerkenswert ist die präzise Ausrichtung des Grabes auf den nördlichsten Aufgangsort des Mondes in nordöstlicher Richtung. Das macht die Visbeker Braut zu einem Kandidaten für ein Sakralbauwerk mit lunarer Symbolik. Eine Funktion als praktisch verwendbare astronomische Peilanlage ist dagegen aus den genannten Gründen äußerst unwahrscheinlich. In der Gegenrichtung, mit Blick auf den südwestlichen Horizont, deutet das Grab zwischen die Extremstände der Wintersonnenwende und der Großen Mondwende Süd. Beide Horizontstände werden von der Längsachse des Grabes um etliche Winkelgrade verfehlt, weshalb eine archäoastronomische Ausrichtungshypothese, die die Südwestrichtung betrifft, weniger plausibel ist als eine, die auf der Ausrichtung auf die Große Mondwende Nord im Nordosten basiert.

v) Die Orientierung der Galeriegräber von Beckum-Dalmer und Soest-Hiddingsen auf die Große Mondwende

Die Galeriegräber von Beckum-Dalmer und Soest-Hiddingsen gehören zu den westlichsten Vertretern einer Gruppe von westfälischen Gräbern aus der Zeit um 3000 bis 2500 v. Chr., die der Trichterbecherkultur zugeordnet werden können. Sie ähneln Gräbertypen aus Nordhessen, aus der Betagne und dem Pariser Becken.

In der Bauernschaft Dalmer südlich von Beckum liegt in landschaftlich reizvoller Lage mit Blick auf umliegende sanfte Höhenzüge der Beckumer Berge ein 26 m langes Galeriegrab, das sich in nordwestlich-südöstlicher Richtung erstreckt und dessen seitlicher Eingang auf den nordöstlich gelegenen Höxberg zeigt. Das Nordazimut dieser Eingangsrichtung beträgt $42,4^\circ \pm 0,5^\circ$ [27]. In dieser Richtung erfolgte um 3000 v. Chr. neben der Flanke des Höxberges der nördlichste Mondaufgang (Abb. 47).

Der Höxberg überdeckt genau jenen Bereich des Horizontes, in dem die nördlichsten Aufgänge von Sonne und Mond erfolgen. Die Sommersonne erscheint alljährlich am Tag der Sonnenwende über dem Gipfel und die monatlich nördlichsten Mondaufgänge erfolgen immer im Bereich dieses Berges, gleich in welchem Stadium seines 18,61-jährigen Mondwendezyklus er sich gerade befindet. Im Zustand der Kleinen Mondwende erscheint der Mond in seinem monatlichen Extrem an der südlichen Flanke und im Zustand der Großen

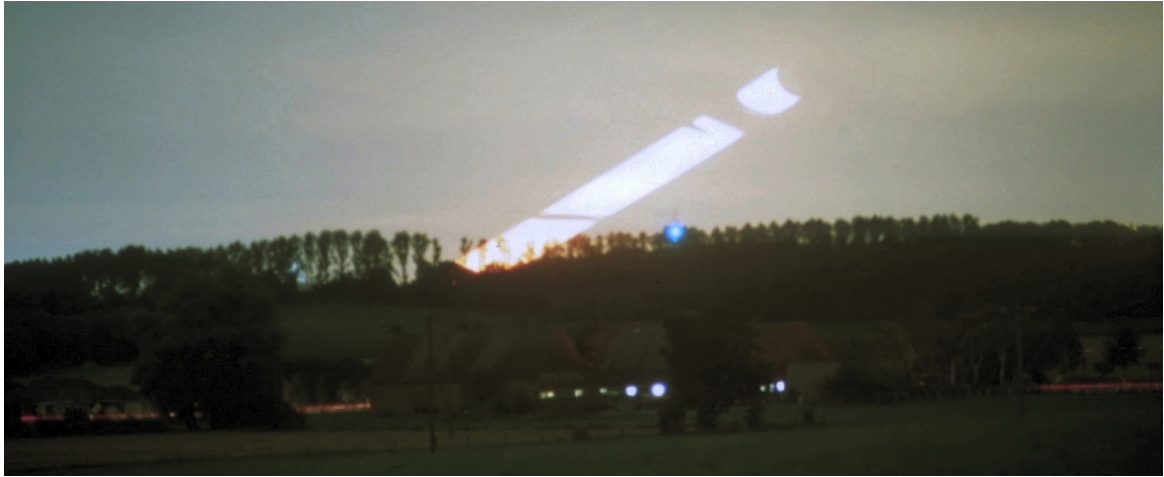


Abb. 48: Strichspuraufnahme des Mondaufgangs am 19. August 2006. Standort der Kamera war der seitliche Eingang des Beckumer Galeriegrabs. Der Mondaufgang erfolgte etwa in der Richtung des kurzen Eingangs ins Grab.

Mondwende an der nördlichen Flanke dieser - für die Verhältnisse der Beckumer Berglandschaft - markanten Landschaftsstruktur. Man kann hier von einer klaren astronomischen Auffälligkeit sprechen, in der man den Grund für die Standortwahl des Grabes sehen kann. Durch die Wahl des Ortes wurde der Höxberg sozusagen in den Bereich der Mondwenden hineingestellt.

Vergleichbare hohe nördliche Mondaufgänge erfolgen mehrmals in einer Großen Mondwendesaison (siehe Teil 2), wobei der extreme Azimutwert im Allgemeinen nicht erreicht wird. In der Mondwendesaison des Jahres 2006 gab es hohe nördliche Mondaufgänge, bei denen die Monddeklinatation nicht mehr als 0,6 Grad von der theoretischen Maximaldeklinatation entfernt lag, an bei den nördlichen Mondwenden am 23. Juli, 19. August, 15. September, 12. Oktober, 8. November und 6. Dezember. In Abbildung 48 ist der in Form einer Strichspur fotografisch dokumentierte Mondaufgang am 19. August 2006 zu sehen. Wegen der Verringerung der Ekliptikschiefe seit der Entstehungszeit des Grabes erfolgen die nördlichsten Mondaufgänge heutzutage nicht mehr an der in Abbildung 47 angedeuteten Stelle, sondern etwa 1 Grad weiter südlich.

Das Galeriegrab von Soest-Hiddingsen weist mit einem Nordazimut von $42,5^\circ$ eine identische Orientierung zum dem Grab in Beckum-Dalmer auf. In einer Publikation von Klaus Günther zu den westfälischen Galeriegräbern findet man allerdings den sehr falschen Wert von 49° für die Ausrichtung dieses Galeriegrabes [28]; ein weiteres Beispiel für den bedauerlichen Umstand, dass man den diesbezüglichen Angaben in archäologischen Publikationen leider nicht immer trauen kann.

Die Kammerachse des Grabes von Soest-Hiddingsen deutet nicht auf eine landschaftlich markante Erhebung, sondern auf den strukturlosen Horizont in ebener Landschaft, der mit ca. $0,5^\circ$ in etwas geringerer Höhe verläuft als der in Beckum-Dalmer angepeilte Horizont. Deshalb weist der nördlichste Mond in dieser Richtung nach seinem Aufgang bereits eine Höhe von ca. 2° auf. Bedenkt man, dass es sich bei den Gräbern wohl nur um symbolische Ausrichtungen handeln kann, deren Beziehung zum Mond in einem wie auch immer gearteten Totenkult zu suchen ist, kann man auch in diesem Fall noch von einer Orientierung auf das nördliche Mondextrem mit guter Genauigkeit sprechen.

Aber auch die Gegenrichtung des Grabes von Soest-Hiddingsen bietet sich für eine astronomische Interpretation an. Dort verläuft der Landschaftshorizont in einer Höhe von ca. 4° und in dieser Richtung (Nordazimut $42,5^\circ + 180^\circ = 222,5^\circ$) geht die Sonne am Tag der Wintersonnenwende unter. In diese Richtung deutet auch der axiale Eingang des Grabes.

Die nordöstlich-südwestliche bzw. südöstlich-nordwestliche Orientierung kommt bei den westfälischen Galeriegräbern häufiger vor, wenn auch nicht durchgängig mit der hohen Genauigkeit der Ausrichtung auf eine Mondwende oder Sonnenwende, wie bei diesen beiden Fällen. Eine statistische Betrachtung, die möglichst viele Gräber dieser lokalen Gruppe einbezieht, ist in Planung. Das Projekt ist allerdings dadurch erschwert, dass sich die Kammerachsen jener Gräber, von denen es zwar noch ältere Berichte gibt, die mittlerweile aber in der Landschaft völlig verschwunden sind, oder jener, die in jüngerer Zeit ausgegraben, aber hinsichtlich ihrer Orientierung nicht hinreichend verlässlich publiziert sind, nicht mehr ermitteln lassen. Die Datenlage für eine statistische Untersuchung ist deshalb einstweilen noch sehr dünn. Ein von der westfälischen Denkmalpflege initiiertes Forschungsprojekt zur Auffindung neuer Gräber oder der unterirdischen Reste von verschwundenen Gräbern könnte in der Zukunft Abhilfe von diesem Zustand schaffen.

Literatur

- [1] Norman Lockyer: An Attempt to ascertain the date of the original Construction of Stonehenge from its Orientation, *Nature* 65 (1901), pp. 55
- [2] John North: Stonehenge - Neolithic man and the Cosmos; Harper Collins Publishers, London 1996
- [3] Pytheas von Marseille über das Weltmeer - Die Fragmente übersetzt und erläutert von D. Stichtenoth, Böhlau Verlag, Köln Graz 1959
- [4] Jan Meeus: *Astronomical Algorithms*; 2nd ed., William-Bell, Richmond Virginia 1998, 106
- [5] Jan Meeus: *Astronomical Algorithms*, a. a. O., p 147
- [6] Bradley E. Schaefer, W. Liller: Refraction near the Horizon; *Proc. Astr. Soc. Pac.* 102, 1990, pp 796 – 805
- [7] Douglas C. Hoggie: *Megalithic Science - Ancient Mathematics and Astronomy in North-West Europe*; Thames and Hudson, London 1981
- [8] Wolfhard Schlosser, Jan Cierny: *Sterne und Steine – Eine praktische Astronomie der Vorzeit*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt 1996
- [9] Clive Ruggles: *Astronomy in Prehistoric Britain and Ireland*, Yale University Press, New Haven and London 1999
- [10] Aubrey Burl: *Liegende Steinkreise: Zeugen eines alten Mondkultes*; *Spektrum der Wissenschaft*, Februar 1982, 51 – 57
- [11] Michael Hoskin: *Tombs, Temples and their Orientations*; Ocarina Books, Bognor Regis Sussex 2001
- [12] hier folgt die Diskussion Auffassungen und Anregungen von Wolfhard Schlosser aus brieflichen Mitteilungen an den Verfasser
- [13] A. Thom: *The Lunar Observatories of Megalithic Man*, *Vistas in Astronomy* Vol. 11, ed. by Arthur Beer, Pergamon Press, Oxford London New York 1969
- [14] A. Thom: *Megalithic Lunar Observatories*, Clarendon Press, Oxford 1971
- [15] Jacob Grimm: *Deutsche Mythologie*; Nachdruck der 4. Auflage, Akademische Druck- und Verlagsanstalt, Graz 1968, 28 (Bd. 1), 669 (Bd. 2), 836 (Bd. 2)
- [16] Wolfhard Schlosser, briefliche Mitteilung an den Verfasser vom 19.09.2000 mit einer Häufigkeitsverteilung der geozentrischen Mondeklinationen über 29° in einem Jahrhundert
- [17] Douglas C. Hoggie: *Megalithic Lunar Observatories: an Astronomer's View*; *Antiquity* 46, 1972, 43 - 48
- [18] Thomas McCreery: *Megalithic Lunar Observatories – a Critique I*; *Kronos* 5 (1), 47 - 63, 1979
- [19] Thomas McCreery: *Megalithic Lunar Observatories – a Critique II*; *Kronos* 5 (2), 6 - 26, 1979
- [20] L.V. Morrison: *On the Analysis of the Megalithic lunar Sightlines in Scotland*; *Archaeoastronomy*, no. 2 (JHA, xi 1989), S65 - S77
- [21] Clive Ruggles: *Astronomy in Prehistoric Britain and Ireland*, a. a. O., 49 - 67
- [22] Burkard Steinrücken: *Evidence for precise calendrical observations in the 17th Century at Bruchhauser Steine, Olsberg, Northrhine-Westfalia, Germany*, *Astron. Nachr.* 323 (2002) 6, 581 - 582
- [23] Wolfhard Schlosser: *Die Himmelscheibe von Nebra - Sonne, Mond und Sterne*; erschienen in: A.D. Wittmann, G. Wolfschmidt and H.W. Duerbeck (eds.) *Development of Solar Research / Entwicklung der Sonnenforschung*, *Acta Historica Astronomiae* Vol. 25, Verlag Harry Deutsch, Frankfurt am Main 2005, Abb. 20 Seite 58
- [24] Die Sonnenwendorientierung des Donnersberges zum Fundort des Schifferstädter Goldhutes ist Kurt Kocher aufgefallen; persönliche Mitteilung von Wolfhard Schlosser
- [25] Rolf Müller: *Der Himmel über dem Menschen der Steinzeit*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York 1970, 79 - 81

[26] Hans-Jürgen Häßler (Hrsg.): Ur- und Frühgeschichte in Niedersachsen, Theiss Verlag, Stuttgart 1991, S. 545 - 546

[27] Burkard Steinrücken: Das Galeriegrab von Beckum-Dalmer - Untersuchung eines Steinzeitgrabs auf astronomische Auffälligkeiten; erschienen in: Münsterland - Jahrbuch des Kreises Warendorf 2008, 57. Jahrgang, Warendorf 2008, 117 - 124

[28] Klaus Günther: Die Kollektivgräber-Nekropole Warburg I-V, Bodenaltertümer Westfalens 34, Münster 1997