

## Lage der Knotenlinie und die Mondwenden - Stonehenge (3)

Wolfgang Domberger

Im Vergleich zur Sonne ist unser Erdbegleiter ein sehr unsteter Geselle und ein etwas konfus anmutender Wanderer am Firmament - so scheint es. Bei Berechnungen der Mondbahn und ihren zeitlichen Änderungen, sei es „fürs tägliche Leben“ oder für die Archäoastronomie in Stonehenge oder sonstwo, ist mir die relative Komplexität besonders aufgefallen. Hier nun einige Überlegungen dazu.

Würde die Mondbahn in der Äquatorebene verlaufen, verlagerte der Mond seine Auf- und Untergangspositionen am Horizont nicht. Aber er bewegt sich etwa in der Ekliptik, was dazu führt, daß der Mond während eines Monats ähnliche Positionswechsel seiner Auf- und Untergänge vollzieht wie die Sonne in einem Jahr. Läge die Mondbahn genau in der Ekliptik, würden in jedem Monat zwei totale Finsternisse auftreten, eine Sonnenfinsternis bei Neumond und eine Mondfinsternis bei Vollmond. Dieses ist nicht der Fall und das liegt daran, daß die Mondbahnebene und die Ekliptik in einem Winkel  $i$  zueinander stehen (vgl. Abb. 1);  $i$  beträgt  $5^\circ 8' 43,3''$ . Die beiden Punkte  $\Omega$  und  $\Upsilon$ , in denen der Mond bei seinem Umlauf die Ekliptik auf- oder absteigend kreuzt,

werden auf- oder absteigender Knoten genannt. Sie fungieren gewissermaßen als „Aufhänger“, in die die Mondbahn in die Ekliptik eingehängt ist. Ihre Verbindungsstrecke heißt Knotenlinie; sie läuft in der Ekliptik in 18,61 Jahren genau einmal um die Erde (Knoten-umlauf), jedoch mit einem Drehsinn, der der Bewegung von Mond und Erde entgegengerichtet ist (Regression); pro Jahr dreht sich die Knotenlinie um  $19,3^\circ$ , pro Monat um  $1,6^\circ$ . Die Orientierung der Mondbahn zur Ekliptik ändert sich also ständig, aber mit einer Periode von 18,61 Jahren. Abhängig von der momentanen Orientierung der Mondbahn erreicht der Mond im selben Monat die Deklinationswinkel  $\pm \delta_M$  über (+) bzw. unter (-) dem Himmelsäquator. In seinen Extremen kann der Mond die extremen Deklinationen der Sonne  $\delta_S = \pm \epsilon$  zu den Sonnenwenden um  $i = 5,15^\circ$  über- und unterbieten:  $\delta_M = \pm \epsilon \pm i$  im Falle der großen Mondwende und  $\delta_M = \pm \epsilon \mp i$  im Falle der kleinen.

### Mondwenden zu Winteranfang

In Abb. 2 ist eine große und eine kleine Mondwende - GMW und KMW - dargestellt, willkürlich gewählt für den Tag der WSW, wenn die Sonne im Winterpunkt  $\gamma_w$  steht und ihren südlichsten Stand erreicht hat. Gezeigt ist ein Blick aus der ekliptischen Ebene auf die Seite von Erde und Mond in Bewegungsrichtung der Erde und eine Draufsicht

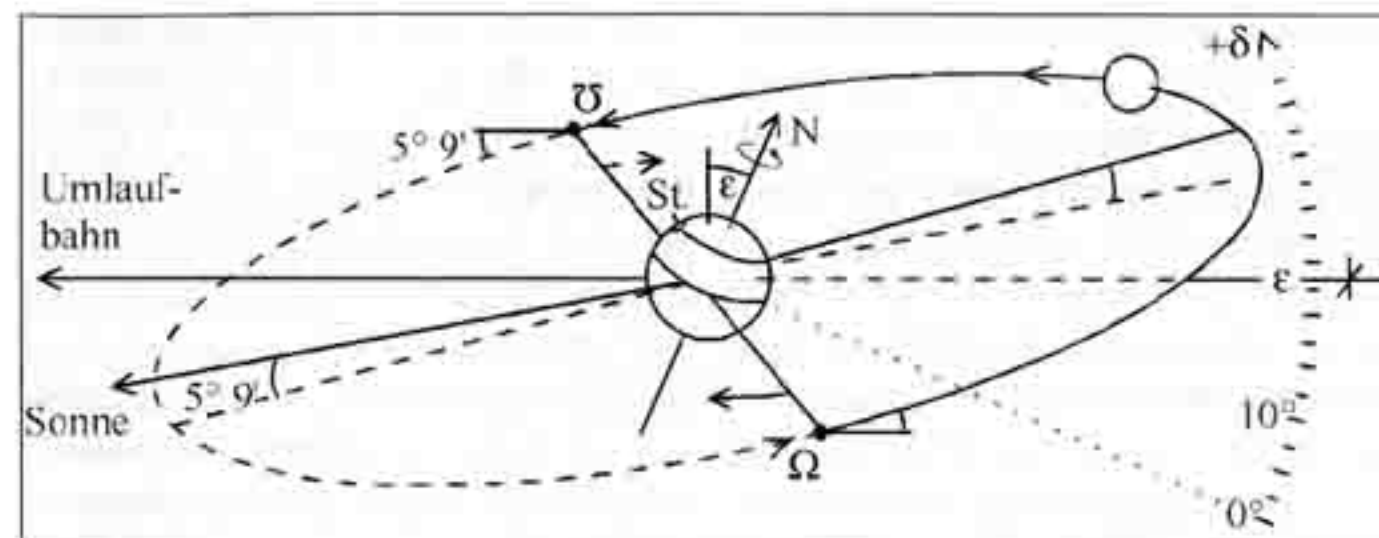


Abb. 1: Erde-Mond-System auf seinem Weg um die Sonne, ca. Frühlingsanfang (bzgl. Nordhalbkugel); vormittags in z. B. Stonehenge (St.) mit örtlichem Horizont auf ca.  $52^\circ$  nördl. Breite; Neigung  $i$  der Mondbahn zur Ekliptik:  $5^\circ 9'$ ;  $\Omega$   $\Upsilon$ ; Schnittpunkte der Mondbahn mit der Ekliptik, auf- bzw. ansteigender Knoten;  $\Omega$ - $\Upsilon$ : Knotenlinie; Knoten-umlauf: Drehung der Knotenlinie entgegen der Bewegung von Mond u. Erde (Regression); Ekliptik: aufgespannt von der Richtung zur Sonne und der Umlaufbahn; gestrichelte Hälfte der Mondbahn: unterhalb der Ekliptik; gestrichelte Abschnitte der Sonnenrichtung und der Umlaufbahn: unterhalb der Mondbahnebene; Ausschnitt einer Deklinationswinkelskala an der Himmelskugel.

auf die Nordhälfte der Ekliptik. Wesentlich für die Mondwenden ist es, daß auf der Nachtseite der Vollmond (VM) bei einer großen (kleinen) Mondwende um den Winkel  $+i$  ( $-i$ ) über (unter) der Ekliptik steht (vgl. Seitenansicht); grob gesagt, ist bei der KMW die Mondbahn zwischen der Äquatorebene und der Ekliptik orientiert und bei der GMW außerhalb. Weiterhin fällt die Knotenlinie, in der Ekliptik liegend, zur Zeit der Mondwenden mit der Bahn der Erde um die Sonne zusammen (vgl. Draufsicht).

Bei der GMW in Abb. 2 a) schneidet die Mondbahn im aufsteigenden Knoten  $\Omega$  die Richtung des Frühlingspunktes  $\gamma_e$  und im absteigenden Kno-

ten  $\Upsilon$  die Richtung des Herbstpunktes  $\gamma_H$ ; genau in  $\Omega$  erreicht der Mond sein Erstes Viertel (zunehmender Halbmond) und genau in  $\Upsilon$  sein Letztes Viertel (abnehmender Halbmond); beide Male ist  $\delta_M = 0^\circ$ . Der Vollmond (VM) erreicht die maximal mögliche positive Deklination  $\delta_M$  von etwa  $+28,6^\circ$ , während der Neumond (NM) desselben Monats die maximal mögliche negative Deklination  $\delta_M$  von etwa  $-28,6^\circ$  aufweist; bei Betrachtung des Horizonts (z. B. Stonehenge als Standort) sieht man den winterlichen Vollmond am Abend der großen Mondwende maximal nördlich aufgehen - d. h. nördlich des Sonnenaufgangs der Sommersonnenwende; er erreicht sei-



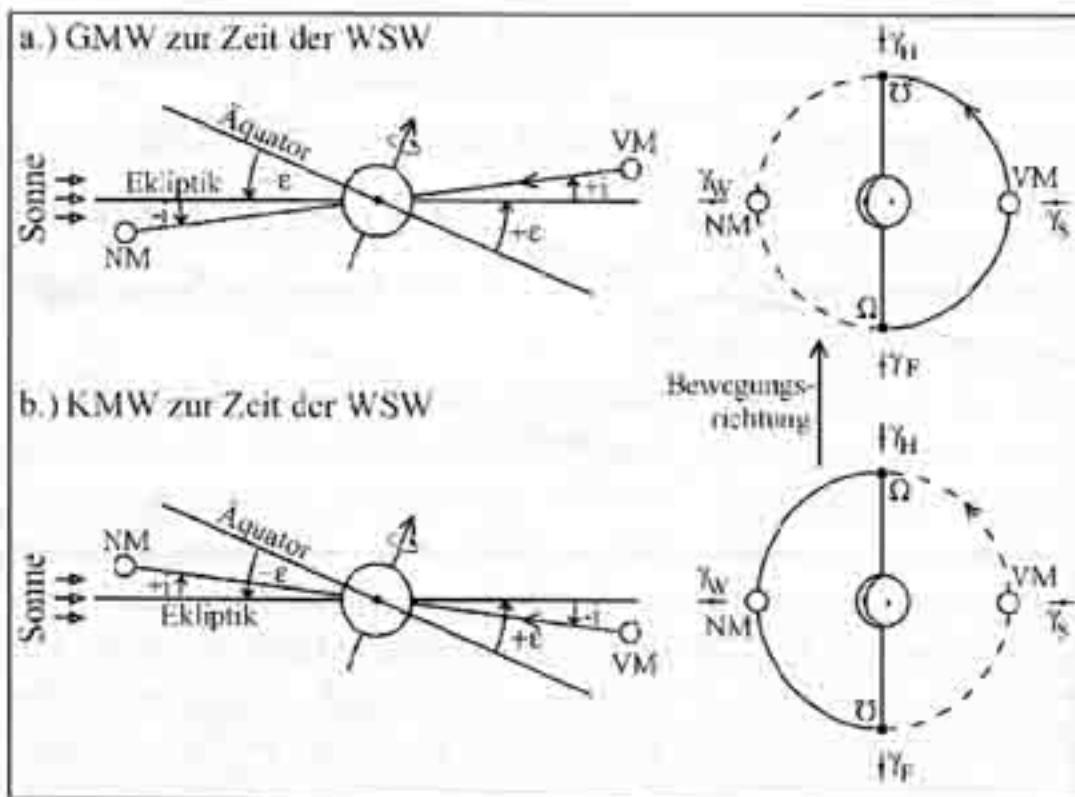


Abb. 2: Erde-Mond-System, Mondwenden z. B. zur WSW; Seitenansicht (links) von innerhalb der Ekliptik in Bewegungsrichtung der Erde um die Sonne; Draufsicht (rechts) auf Nordseite der Ekliptik; gestrichelte Hälfte der Mondbahn unter der Ekliptik; Vollmond

VM: Neumond NM; besondere Punkte in der Ekliptik: auf- u. absteigender Knoten  $\Omega$  bzw.  $\bar{\Omega}$ ; Frühlings- u. Herbstpunkt  $\gamma_F$  bzw.  $\gamma_H$  (Äquinoktien, Tag- und Nachtgleiche); Sommer- u. Winterpunkt  $\gamma_S$  bzw.  $\gamma_W$  (Solstitien, Sonnenwenden)

a) große Mondwende GMW; Mondbahn über (unter) Ekliptik auf der Nacht (Tag)seite; VM bei maximal mögliche positive Deklination  $\delta_M = \varepsilon + i$ ; NM bei maximal mögliche negative Deklination  $\delta_M = -\varepsilon - i$ ; Erstes (Letztes) Viertel genau in  $\Omega$  ( $\bar{\Omega}$ ) bei  $\delta_M = 0^\circ$  in  $\gamma_F$ -Richtung bzw. in  $\gamma_H$ -Richtung

b) kleine Mondwende KMW; Mondbahn unter (über) Ekliptik auf Nacht (Tag)seite; Monddeklinationen: VM bei  $\delta_M = \varepsilon - i$ , NM bei  $\delta_M = -\varepsilon + i$ , Erstes (Letztes) Viertel in  $(\Omega)$  ( $\bar{\Omega}$ ) bei  $\delta_M = 0^\circ$  in  $\gamma_F$ -Richtung bzw. in  $\gamma_H$ -Richtung

ne höchste Stellung am winterlichen Nachthimmel überhaupt und geht nördlich vom Sonnenuntergang der Sommersonnenwende unter. Man spricht auch von der großen nördlichen Mondwende. Von nun an wandern die winterlichen Vollmondaufgänge wieder Richtung Süden. Der winterliche Neumond desselben Monats geht zwar etwa zeitgleich mit der Wintersonne auf und unter, aber um einige Winkelgrade südlicher von ihr.

Nach 9,3 Jahren - es ist Frühling - hat sich die Knotenlinie um  $180^\circ$  gedreht und es kommt zur kleinen Mondwende. Und erst nach weiteren 83,7 Jahren, also insgesamt 93 Jahre später, fällt die kleine Mondwende (KMW) auf den Winteranfang (WSW); diese ist in Abb. 2 b) gezeigt. Jetzt schneidet die Mondbahn im absteigenden Knoten  $\bar{\Omega}$ , in dem der Mond sein Erstes Viertel erreicht, die Richtung zum Frühlingspunkt  $\gamma_F$  und im aufsteigenden

Knoten  $\Omega$ , in dem er sein Letztes Viertel erreicht, die Richtung zum Herbstpunkt  $\gamma_H$ ; in beiden Fällen ist also  $\delta_M = 0^\circ$ . Der Vollmond erreicht nun eine Deklination  $\delta_M$  von nur etwa  $+18,3^\circ$ , das ist der kleinste Wert für einen Vollmond im Winter; der Neumond desselben Monats weist dementsprechend eine Deklination  $\delta_M$  von etwa  $-18,3^\circ$  auf. Bei Betrachtung des Horizonts sieht man den winterlichen Vollmond am Abend der kleinen Mondwende minimal nördlich aufgehen - d. h. südlich des Sonnenaufgangs der Sommersonnenwende; er erreicht seine geringste winterliche Höhe am Nachthimmel und geht südlich vom Sonnenuntergang der Sommersonnenwende unter. Diese Wende wird auch kleine nördliche Mondwende genannt; von nun an wandern die winterlichen Vollmondaufgänge wieder nach Norden. Der winterliche Neumond desselben Monats geht zwar etwa zeitgleich mit der Wintersonne auf und unter, aber um einige Winkelgrade nördlicher von ihr.

### Mondwenden zu Sommeranfang

Aufgrund der Drehung der Knotenlinie wandern die Mondwenden im Laufe der Jahrhunderte durch alle Jahreszeiten. Die Mondwenden am Tag der Sommersonnenwende (SSW) ist in Abb. 3 dargestellt. Im Unterschied zum Winter hat die Erde nun vornehmlich ihre Nordhälfte der Sonne zugewandt. Bei der GMW (Abb. 3 a) führt das dazu, daß auf der Nachtseite der sommerliche

Vollmond seine maximal mögliche negative Deklination  $\delta_M = -28,6^\circ$  erreicht und somit bei Sonnenuntergang extrem südlich aufgeht - südlicher noch als der Sonnenaufgang zur WSW; er durchläuft seinen niedrigsten Nachtbogen über dem Südhorizont und geht tief im SW unter. Diese Wende wird auch große südliche Mondwende genannt; die sommerlichen Vollmondaufgänge wandern nun wieder nach Norden. Der Neumond desselben Monats erreicht seine maximal mögliche positive Deklination  $\delta_M = 28,6^\circ$ , also seine höchste Stellung am Taghimmel überhaupt. Sein Erstes (Letztes) Viertel erreicht der Mond im ab(auf)steigenden Knoten  $\bar{\Omega}$  ( $\Omega$ ), in dem er auch die Richtung zum Herbst- bzw. Frühlingspunkt  $\gamma_H$  und  $\gamma_F$  schneidet. Bei der KMW (Abb. 3 b) befindet sich der sommerliche Vollmond zwar über der Ekliptik, aber unterhalb des Himmelsäquators, weshalb er jetzt die Deklination  $\delta_M = -18,3^\circ$  erreicht und somit höher am Himmel steht wie der Vollmond der GMW. Auf der Tagseite erreicht der Neumond die Winkelstellung  $\delta_M = 18,3^\circ$  zum Himmelsäquator. Der auf(ab)steigende Knoten  $\Omega$  ( $\bar{\Omega}$ ) fällt auf die Richtung zum Herbst- bzw. Frühlingspunkt  $\gamma_H$  bzw.  $\gamma_F$ , wo der Mond auch sein Erstes bzw. Letztes Viertel erreicht.

### Situation bei den Äquinoktien

Die Situation bei Frühlings- und Herbstanfang ist „ziemlich“ anders als



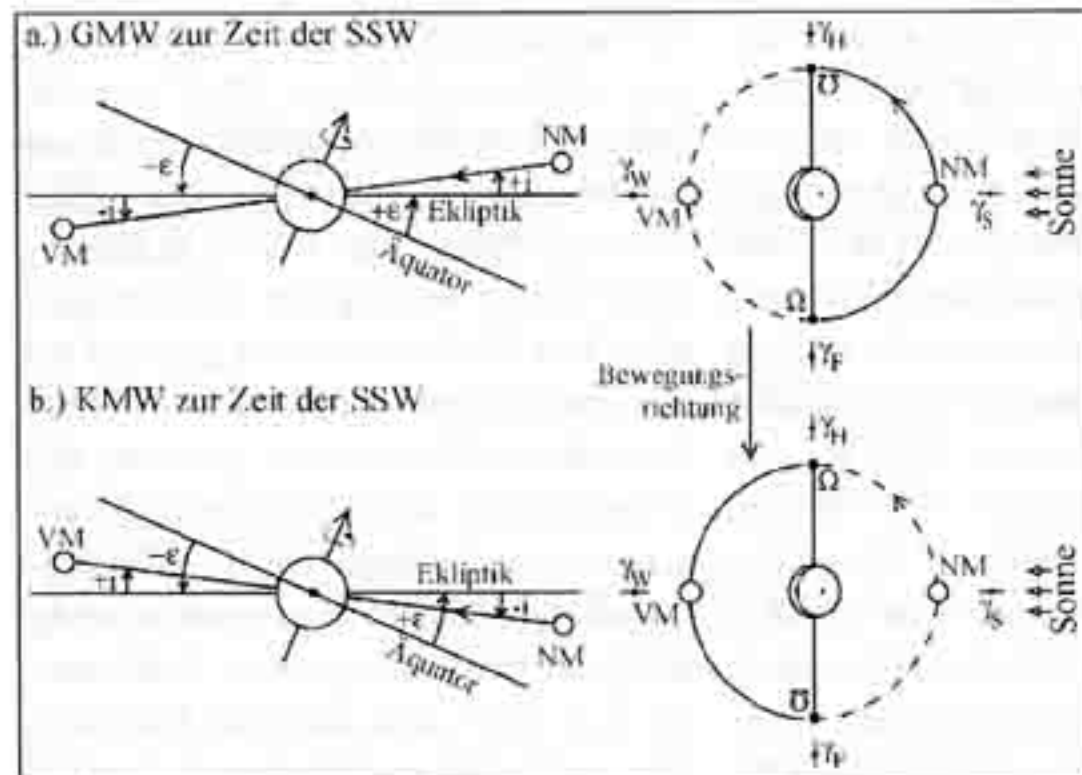


Abb.3: Mondwenden z. B. zur SSW; Blickrichtung von der Seite (links) entgegen Bewegungsrichtung der Erde um die Sonne; Draufsicht (rechts); besondere Ekliptikpunkte:  $\Omega$ ,  $\bar{\Omega}$ ,  $\gamma_F$ ,  $\gamma_H$ ,  $\gamma_S$ ,  $\gamma_W$ ; vgl. Abb. 2  
a) große Mondwende GMW; Mondbahn unter

(über) der Ekliptik auf der Nacht (Tag)seite; Vollmond (VM) maximal mögliche negative Deklination  $\delta_M = -\varepsilon - i$ ; Neumond (NM) bei maximal mögliche positive Deklination  $\delta_M = \varepsilon + i$ ; Erstes (Letztes) Viertel in  $\bar{\Omega}$  ( $\Omega$ ) in Richtung von  $\gamma_H$  bzw.  $\gamma_F$  bei  $\delta_M = 0^\circ$   
b) kleine Mondwende KMW; Mondbahn über (unter) der Ekliptik auf der Nacht (Tag)seite; Deklinationen: VM bei  $\delta_M = -\varepsilon + i$ , NM bei  $\delta_M = \varepsilon - i$ , Erstes (Letztes) Viertel in  $\Omega$  ( $\bar{\Omega}$ ) in Richtung von  $\gamma_H$  bzw.  $\gamma_F$  bei  $\delta_M = 0^\circ$

bei den Mondwenden zur Zeit der Sonnenwenden. Abb. 4 und 5 sollen dieses erläutern. Sowohl in der Seiten- wie auch in der Draufsicht ist die Himmelsäquatorebene dem Betrachter zugewandt und zwar, wie gehabt, im Neigungswinkel von  $\varepsilon = 23,43^\circ$ . Die Knotenlinie  $\Omega - \bar{\Omega}$  sei wiederum senkrecht zur Sonnenrichtung orientiert. Zunächst die Situation zu Frühlingsanfang in Abb. 4 a). Auf der Nacht (Tag)seite befindet sich der volle (neue) Mond im Winkel  $+i$  ( $-i$ ) genau über (unter) der Richtung zum Herbstpunkt  $\gamma_H$  bzw. Frühlingspunkt  $\gamma_F$ , hat also die Deklination  $\delta_M = +i$  bzw.  $-i$ . Im auf-

(ab)steigenden Knoten  $\Omega$  ( $\bar{\Omega}$ ), in dem der Mond die Richtung zum Sommer (Winter)punkt  $\gamma_S$  ( $\gamma_W$ ) schneidet, erreicht er bei einer Deklination  $\delta_M$  von  $+\varepsilon$  ( $-\varepsilon$ ) sein Erstes (Letztes) Viertel. Der volle (neue) Mond geht zu Frühlingsanfang demnach am Horizont etwas nördlich (südlich) vom Sonnenaufgang des Äquinoktiums auf und ebenso nördlich (südlich) vom Sonnenuntergang des Äquinoktiums unter. Der zunehmende Halbmond (Erstes Viertel) geht im aufsteigenden Knoten  $\Omega$  dort auf, wo die Sonne bei der Sommer- sonnenwende aufgeht, während der abnehmende Halbmond (Letztes Viertel) im

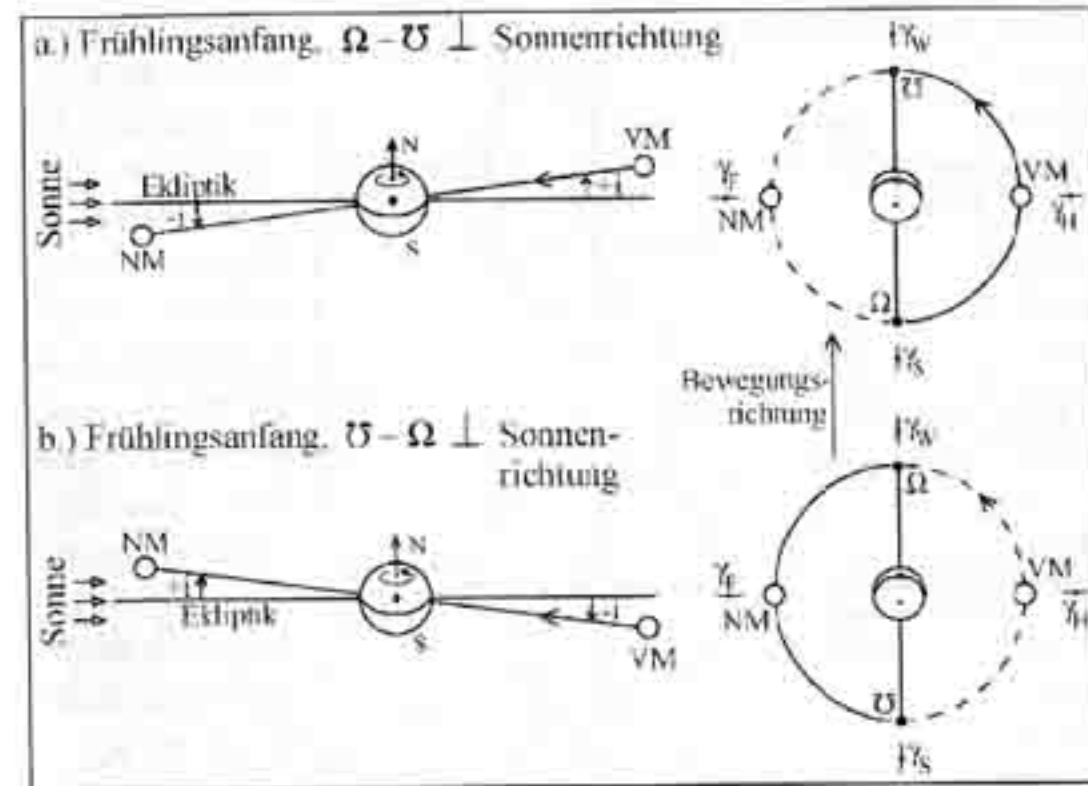


Abb.4: Frühlingsanfang; Knotenlinie z. B. senkrecht zur Sonnenrichtung; Blickrichtung von der Seite (links) in Bewegungsrichtung der Erde um die Sonne; Draufsicht (rechts); besondere Ekliptikpunkte:  $\Omega$ ,  $\bar{\Omega}$ ,  $\gamma_F$ ,  $\gamma_H$ ,  $\gamma_S$ ,  $\gamma_W$ ; vgl. Abb. 2; Mondbahn auf der

Nachtseite im Winkel  $i$  über und unter der Ekliptik:

a) Vollmond (VM):  $\delta_M = +i$  zur  $\gamma_H$ -Richtung; Neumond (NM):  $\delta_M = -i$  zur  $\gamma_F$ -Richtung; Erstes Viertel in  $\Omega$  in Richtung von  $\gamma_S$ ;  $\delta_M = +\varepsilon$ ; Letztes Viertel in  $\bar{\Omega}$  in Richtung von  $\gamma_W$ ;  $\delta_M = -\varepsilon$   
b) Vollmond (VM):  $\delta_M = -i$  zur  $\gamma_H$ -Richtung; Neumond (NM):  $\delta_M = +i$  zur  $\gamma_F$ -Richtung; Erstes Viertel in  $\bar{\Omega}$  in Richtung von  $\gamma_S$ ;  $\delta_M = +\varepsilon$ ; Letztes Viertel in  $\Omega$  in Richtung von  $\gamma_W$ ;  $\delta_M = -\varepsilon$

absteigenden Knoten  $\bar{\Omega}$  tief im SO erscheint, dort, wo die Sonne zur WSW aufgeht. Die Situation in Abb. 4 b) ist ähnlich, nur daß die Mondbahnebene auf der Sonnenseite über der Ekliptik orientiert ist. Die für die Stellungen des Mondes am Himmel maßgebenden Deklinationenwinkel  $\delta_M$  sind ebenfalls leicht abzulesen. Schließlich ist in Abb. 5 die Situation dargestellt, wenn zu Herbstanfang die Knotenlinie ebenfalls senkrecht zur Sonnenrichtung orientiert ist.

Nun ist die senkrechte Orientierung der Knotenlinie zur Sonnenrichtung ein

sehr spezieller Fall. Wie gesagt, dreht sich die Knotenlinie in 18,61 Jahren regressiv einmal um die Erde; also alle Orientierungen der Mondbahn zur Ekliptik werden durchlaufen. In Abb. 6 ist eine Situation während eines Jahres gezeigt, bei der zu Frühlingsanfang die Knotenlinie mit der Sonnenrichtung zusammenfällt, wenn also der Voll- oder der Neumond, die Erde und die Sonne auf einer geraden Linie liegen: es tritt eine Mond- und/oder eine Sonnenfinsternis ein. Im Ersten (Letzten) Viertel erreicht der zu (ab)nehmende Halbmond seine maximal mögliche

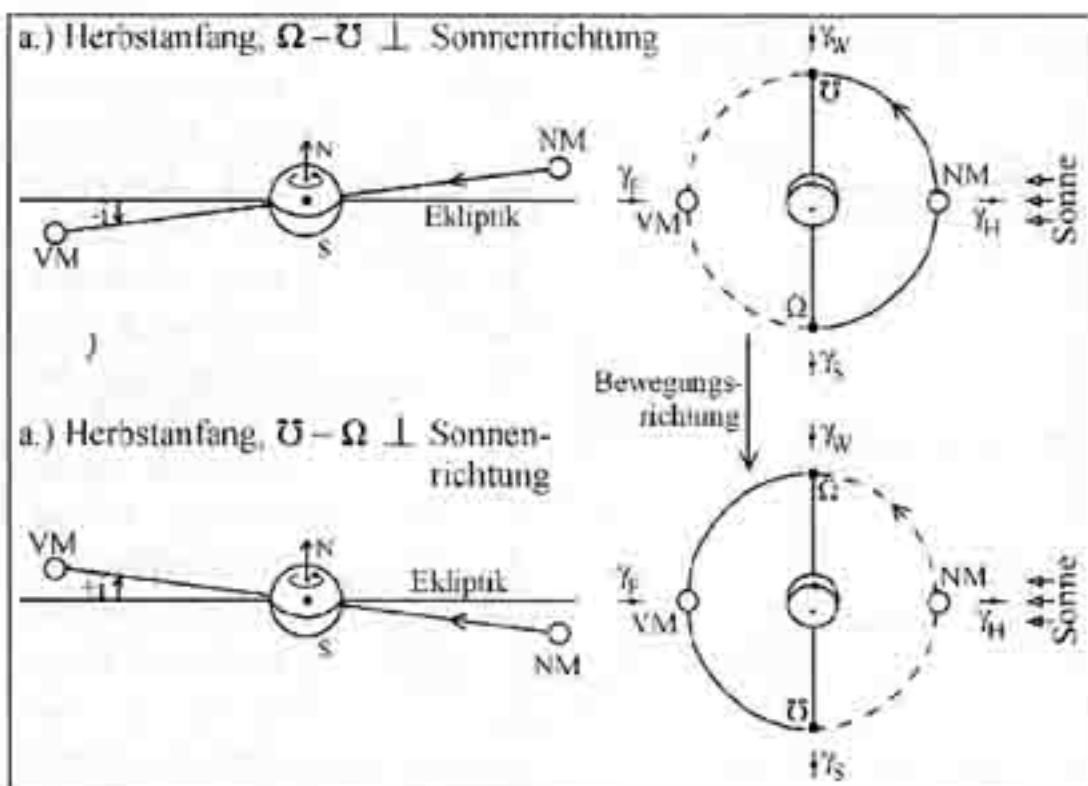


Abb. 5: Herbst-Äquinoktium; Knotenlinie z. B. senkrecht zur Sonnenrichtung; Blickrichtung von der Seite (links) entgegen der Bewegungsrichtung der Erde um die Sonne; Draufsicht (rechts); besondere Ekliptikpunkte:  $\Omega$ ,  $\bar{\Omega}$ ,  $\gamma_F$ ,  $\gamma_H$ ,  $\gamma_S$ ,  $\gamma_W$ .

vgl. Abb. 2; Mondbahn auf der Nachseite unter und über der Ekliptik;

- a) Vollmond (VM):  $\delta_M = -i$  zur  $\gamma_F$ -Richtung; Neumond (NM):  $\delta_M = +i$  zur  $\gamma_H$ -Richtung; Erstes Viertel in  $\bar{\Omega}$  in Richtung von  $\gamma_W$ ;  $\delta_M = -\epsilon$ ; Letztes Viertel in  $\Omega$  in Richtung von  $\gamma_S$ ;  $\delta_M = +\epsilon$ ;  
 b) Vollmond (VM):  $\delta_M = +i$  zur  $\gamma_F$ -Richtung; Neumond (NM):  $\delta_M = -i$  zur  $\gamma_H$ -Richtung; Erstes Viertel in  $\Omega$  in Richtung von  $\gamma_W$ ;  $\delta_M = -\epsilon$ ; Letztes Viertel in  $\bar{\Omega}$  in Richtung von  $\gamma_S$ ;  $\delta_M = +\epsilon$ ;

positive (negative) Deklination  $\delta_M$  von  $+28,6^\circ$  bzw.  $-28,6^\circ$ . Auf die Erde versetzt geht der Halbmond des Ersten Viertels extrem nördlich auf und unter-nördlicher als die Sonne zu Sommeranfang - und der Halbmond des Letzten Viertels extrem südlich. Man könnte in diesen beiden Fällen von der großen und kleinen Wende des Halbmonds sprechen. Drei Monate später hat sich die Knotenlinie um knapp  $5^\circ$  im Uhrzeigersinn gedreht - entgegen der Umlaufrichtung der Erde; nach weiteren drei Monaten, die Knotenlinie hat inzwischen ca.  $10^\circ$  überstrichen, befinden

den sich Neu- und Vollmond wieder in Knotennähe und es könnte zu erneuten Finsternissen kommen.

Für die Berechnung der Finsternisdaten ist die Orientierung der Knotenlinie entscheidend. Damit es zu einer Mondfinsternis kommen kann, muß der auf die Ekliptik projizierte Winkelabstand des Vollmondes zum Knoten geringer als  $\pm 4,6^\circ$  für eine totale und geringer als  $\pm 10,2^\circ$  für eine partielle Finsternis sein. Für eine Sonnenfinsternis muß der Neumond einen Winkelabstand zum Knoten von weniger als  $\pm 16,1^\circ$  aufweisen. Im Herbst der Abb. 6 beträgt

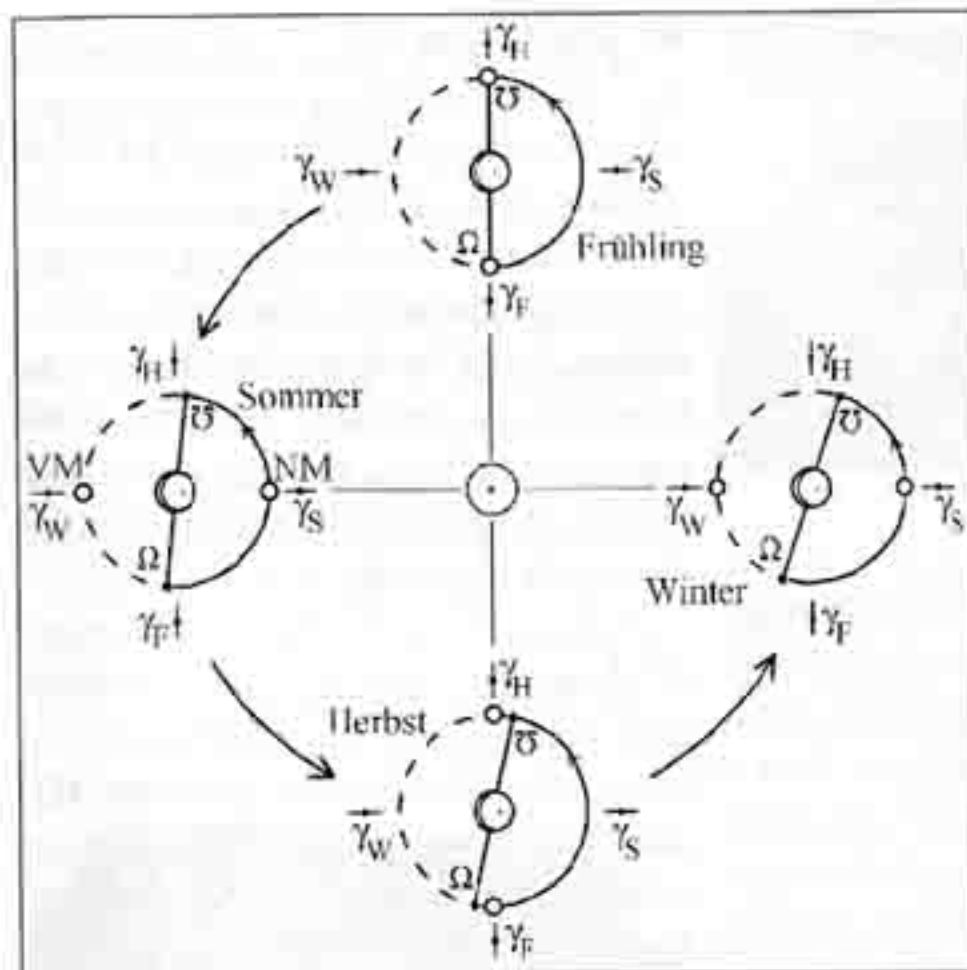


Abb. 6: Regressive Drehung der Knotenlinie  $\Omega$ - $\bar{\Omega}$  im Laufe eines Jahres; gewählte Startorientierung zu Frühlingsanfang: Zusammenfall der Knotenlinie mit der Sonnenrichtung (Finsternisbedingung: Voll- u. Neumond in Knotennähe); Mond- u. Sonnenfinsternis bei Voll- und Neumond; im Herbst ist mit Finsternis zu rechnen; besondere Ekliptikpunkte:  $\Omega$ ,  $\bar{\Omega}$ ,  $\gamma_F$ ,  $\gamma_H$ ,  $\gamma_S$ ,  $\gamma_W$  (vgl. Abb. 2); die Deklination  $\delta_M$  bei Frühlingsanfang: Neumond (NM) im aufsteigenden Knoten  $\Omega$  im

Frühlingspunkt  $\gamma_F$  mit  $\delta_M = 0^\circ$ ; Erstes Viertel im Winkel  $i$  über Sommerpunkt  $\gamma_S$ , also  $\delta_M = +\epsilon + i = 28,6^\circ$ ; Vollmond (VM) im absteigenden Knoten  $\bar{\Omega}$  im Herbstpunkt  $\gamma_H$  mit  $\delta_M = 0^\circ$ ; Letztes Viertel im Winkel  $i$  unter dem Winterpunkt  $\gamma_W$ , also  $\delta_M = -\epsilon - i = -28,6^\circ$ ; extreme Höhen und Tiefen des Halbmondes; durch die Drehung der Knotenlinie haben diese Winkel in den anderen Jahreszeiten andere Werte.

der Winkelabstand des Neu- und Vollmonds zum ab- bzw. aufsteigenden Knoten etwa  $10^\circ$ ; somit wäre nach einer totalen Finsternis zu Frühlingsanfang nur mit einer „schwachen“ partiellen Finsternis zu Herbstanfang zu rechnen.

Literaturauszug:

Hans-Heinrich Vogt: *Abriß der Astronomie*; BI Wissenschaftsverlag, 1988  
 Thomas Wrobel: *Finsternisse und Örter*, Andromeda 4/96, 30 - 33

Zu den Mondwenden findet man nicht sehr viel; mir ist dieser Aspekt erst bei der Archäoastronomie begegnet; z. B.:

G.S. Hawkins, J.B. White: *Stonehenge decoded*, Souvenir Press, London, 1965

G.S. Hawkins: *Stonehenge decoded*, Nature, 26.10.1963

E.C. Krupp (Hersg.): *Astronomen, Priester, Pyramiden - Das Abenteuer Archäoastronomie*, Verlag C.H. Beck München; 1980

