

# Die Analyse archäoastronomischer Ausrichtungen

Richard Walker

Version 7.0, September 2021

# Inhalt

|           |                                                                            |           |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>  | <b>Einleitung .....</b>                                                    | <b>5</b>  |
| <b>2</b>  | <b>Begriffe und Definitionen .....</b>                                     | <b>6</b>  |
| 2.1       | Begriff und Bedeutung der Archäoastronomie .....                           | 6         |
| 2.2       | Astronomische Auf- und Untergangsdefinition für Sonne und Mond .....       | 6         |
| 2.3       | Berechnungsbasis und Geltungsbereich der Azimutwerte .....                 | 7         |
| <b>3</b>  | <b>Die Haupthimmelsrichtungen .....</b>                                    | <b>8</b>  |
| 3.1       | Beispiele für die Ausrichtung auf die Haupthimmelrichtungen .....          | 8         |
| 3.2       | Die Absteckung der Haupthimmelsrichtungen .....                            | 8         |
| <b>4</b>  | <b>Archäoastronomische Sonnenazimute .....</b>                             | <b>9</b>  |
| 4.1       | Die solaren Hauptazimute .....                                             | 9         |
| 4.2       | Himmelsmechanische Einflüsse und Parallaxen-Effekte .....                  | 9         |
| 4.3       | Solare Hauptazimute für 47°N .....                                         | 9         |
| 4.4       | Effekte im Bereich der Solstitien .....                                    | 10        |
| 4.5       | Effekte im Bereich der Äquinoktien .....                                   | 11        |
| 4.6       | Der Pendelwinkel .....                                                     | 12        |
| 4.7       | Die solaren Hauptazimute und die Himmelsscheibe von Nebra .....            | 12        |
| 4.8       | Pendelwinkel der Sonnenuntergänge – Praktisches Beispiel .....             | 13        |
| 4.9       | Solare Zwischenazimute .....                                               | 13        |
| 4.10      | Solare Azimute der Quartalstage und des „Keltischen Jahreskalenders“ ..... | 14        |
| 4.11      | Die "keltischen" Festtage .....                                            | 15        |
| 4.12      | Der Bauernwinter .....                                                     | 15        |
| <b>5</b>  | <b>Archäoastronomische Mondazimute .....</b>                               | <b>16</b> |
| 5.1       | Die Mondwenden .....                                                       | 16        |
| 5.2       | Lunare Wendenazimute für 47°N .....                                        | 17        |
| 5.3       | Das Phänomen der lunaren "Stillstandsphasen" .....                         | 18        |
| 5.4       | Beispiele für mögliche Ausrichtungen auf die Mondwenden .....              | 19        |
| 5.5       | Mondwenden – Kult oder Kalenderfunktion? .....                             | 20        |
| <b>6</b>  | <b>Verteilung der solaren und lunaren Azimute nach A. Thom .....</b>       | <b>21</b> |
| <b>7</b>  | <b>Archäoastronomische Fixsternazimute .....</b>                           | <b>22</b> |
| <b>8</b>  | <b>Archäoastronomische Planetenazimute .....</b>                           | <b>22</b> |
| 8.1       | Vorbemerkungen .....                                                       | 22        |
| 8.2       | Archäoastronomische Venusazimute .....                                     | 22        |
| 8.3       | Basiszyklus der Venusextreme .....                                         | 23        |
| 8.4       | Langperiodischer Zyklus der Venusextreme .....                             | 24        |
| 8.5       | Die langperiodischen Venuszyklen von 3000 vor bis 3000 n. Chr. ....        | 25        |
| 8.6       | Extremale Horizontazimute und maximale Elongation .....                    | 27        |
| 8.7       | Abschliessendes Fazit zu Venuswenden und Archäoastronomie .....            | 27        |
| <b>9</b>  | <b>Zusammenfassende Darstellung der Azimute für 47° N .....</b>            | <b>28</b> |
| <b>10</b> | <b>Exkurs zu den Kalenderformen .....</b>                                  | <b>30</b> |
| 10.1      | Solarkalender .....                                                        | 30        |
| 10.2      | Lunarkalender .....                                                        | 30        |
| 10.3      | Stellarer Kalender .....                                                   | 30        |
| 10.4      | Die Gregorianische Kalenderreform .....                                    | 31        |

|           |                                                                         |           |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 10.5      | Lunisolar kalender .....                                                | 31        |
| 10.6      | Weitere Formen Lunarer,-Solarer- und-Planetarer Kalender .....          | 31        |
| <b>11</b> | <b>Vermessungstechnische Aspekte .....</b>                              | <b>32</b> |
| 11.1      | Das Messen von Azimuten .....                                           | 32        |
| 11.2      | Einfluss des Landschaftshorizontes auf die Azimute .....                | 33        |
| 11.3      | Das Messen von Längen und Höhen .....                                   | 33        |
| 11.4      | Azimet und Elevation des Landschaftshorizontes .....                    | 34        |
| 11.5      | Bestimmung der Horizontelation mit Softwareunterstützung .....          | 35        |
| 11.6      | Die Bestimmung von Azimuten bei obstruierter Visur .....                | 36        |
| <b>12</b> | <b>Das äquatoriale Koordinatensystem .....</b>                          | <b>37</b> |
| 12.1      | Einführung und Begriffe .....                                           | 37        |
| 12.2      | Das Standardäquinoktium J2000.0 .....                                   | 37        |
| 12.3      | Das Äquinoktium des Datums .....                                        | 38        |
| 12.4      | Der astronomische Begriff „Scheinbar“ .....                             | 38        |
| <b>13</b> | <b>Präzession und Schwankung der Ekliptikschiefe .....</b>              | <b>39</b> |
| 13.1      | Einführung und Begriffe .....                                           | 39        |
| 13.2      | Lunisolare Präzession .....                                             | 39        |
| 13.3      | Nutation und Planetare Präzession .....                                 | 39        |
| 13.4      | Allgemeine Präzession .....                                             | 40        |
| 13.5      | Ekliptikschiefe und archäoastronomische Berechnungen .....              | 40        |
| <b>14</b> | <b>Definition der Solstitien, Äquinoktien und Mondwenden .....</b>      | <b>41</b> |
| 14.1      | Astronomische Definition der Solstitien (Sonnenwenden) .....            | 41        |
| 14.2      | Astronomische Definition der Äquinoktien .....                          | 41        |
| 14.3      | Astronomische Definition der Mondwenden .....                           | 41        |
| 14.4      | Grosse Nördliche- und Südliche Mondwende .....                          | 43        |
| 14.5      | Kleine Nördliche- und Südliche Mondwende .....                          | 44        |
| <b>15</b> | <b>Die Berechnung der Auf- und Untergangszimute .....</b>               | <b>45</b> |
| 15.1      | Sphärentrigonometrische Grundformeln zur Azimetberechnung .....         | 45        |
| 15.2      | Berechnung der Gestirnsdeklinaton aus beobachtetem Horizontazimet ..... | 45        |
| 15.3      | Die Gestirnsdeklinaton als Schlüsselwert für die Horizontazimute .....  | 45        |
| 15.4      | Scheinbare und wahre Horizonthöhen (Elevationswinkel) .....             | 46        |
| 15.5      | Einfluss der atmosphärischen Refraktion .....                           | 46        |
| 15.6      | Azimetbereinigung bei Fixsternen und Planeten .....                     | 47        |
| 15.7      | Azimetbereinigung bei der Sonne .....                                   | 47        |
| 15.8      | Azimetbereinigung beim Mond .....                                       | 47        |
| <b>16</b> | <b>Auf- und Untergangswinkel der Gestirne .....</b>                     | <b>50</b> |
| 16.1      | Die Berechnung der Winkel .....                                         | 50        |
| 16.2      | Das Nautische Dreieck .....                                             | 50        |
| <b>17</b> | <b>Archäoastronomisches Berechnungstool .....</b>                       | <b>52</b> |
| <b>18</b> | <b>Literatur und Internet .....</b>                                     | <b>53</b> |

# 1 Einleitung

Hier sollen in einem Dokument die wichtigsten Daten, sowie die theoretischen Grundlagen zusammengefasst werden, welche zur archäoastronomischen Analyse architektonischer Linien [19] benötigt werden. Unter solchen versteht man so Unterschiedliches wie z.B. die Ausrichtung von Steinreihen, der Hauptachsen von Gebäuden und Tempelanlagen, die Orientierung von Toren, Fenstern oder Öffnungen, aber auch von Gräbern und Skeletten. Zielgruppe sind sämtliche Interessenten der Archäoastronomie.

Von eminenter Bedeutung für die Archäoastronomie sind die vier Haupthimmelsrichtungen, welche deshalb auch *Kardinalazimute* genannt [1] werden. Zur Absteckung dieser Achsen wird ein einfaches, in früheren Zeiten praktiziertes Verfahren vorgestellt.

Die weiteren Kapitel zeigen eine kommentierte Auslegeordnung der solaren und lunaren *Horizontazimute*, welche in der gesichteten Literatur für archäoastronomische Deutungen bereits vorgeschlagen wurden. Als solche werden nachfolgend die Richtungen zu den *Auf- und Untergangspunkten* von Gestirnen bezeichnet. In den meisten Fällen sind dies die nördlichsten und südlichsten *Extremwerte*. Sie werden *Wenden*, *Extreme* oder bei der Sonne auch *Solstitien* genannt. Bei der Sonne kommen zusätzlich noch Zwischenpunkte hinzu, in den meisten Fällen aber beschränkt auf die *Tag- und Nachtgleichen* oder *Äquinoktien*. Diese Aufstellung wird schliesslich noch mit den Azimuten der sogenannten *Quartalstage* abgeschlossen, welche zeitlich in der Mitte zwischen Sonnenwenden und Äquinoktien liegen und im Zusammenhang mit megalithischen Steinsetzungen eine Rolle spielen können. Im engen Bereich um diese vier Termine liegen auch die in "esoterischen Kreisen" beliebten Daten des sog. "Keltischen Jahreskalenders".

Bei den planetaren Azimuten sind es vorwiegend die sog. „Venusextreme“, welche, mit wenigen, begründeten Ausnahmen, vorwiegend von Laien mit der Ausrichtung architektonischer Linien in Verbindung gebracht werden. Hier wird gezeigt, wie zeitlich komplex die extremen Horizontazimute auftreten und welche Anhaltspunkte es für die stark schwankenden Werte gibt.

Im zweiten Teil wird vorgeschlagen, wie mit Azimutdifferenzen, beeinflusst durch unterschiedliche Horizonthöhen verfahren werden kann. Weiter wird gezeigt, wie Azimute bei obstruierten Visuren bestimmt werden können. Weiter werden auch Verfahren zur Refraktions- und Parallaxenbereinigung von Azimuten vorgestellt. Abschliessend wird noch dargestellt, wie die variable *Ekliptikschiefe* mit den Auf- und Untergangszimuten zusammenhängt und für Berechnungen genutzt werden kann. Mit diesem Formelset können die im ersten Abschnitt aufgelisteten Werte nachvollzogen oder für andere Breitengrade und Horizonthöhen umgerechnet werden. Das *Berechnungstool Archäoastronomie* ist ein Excel-basiertes Berechnungstool zur Lösung der wichtigsten archäoastronomischen Grundaufgaben [33]. Es enthält die meisten der hier vorgestellten Formeln als einfach zu bedienendes Berechnungsprogramm, ergänzt mit mehreren durchgerechneten Beispielen.

Für mathematisch Interessierte folgen schliesslich noch himmelsmechanische und astrometrische Grundlagen mit einem Bezug zur Archäoastronomie. Dazu gehört eine Einführung in das äquatoriale Koordinatensystem, Definitionen für Sonnen- und Mondwenden, Formeln zur Berechnung der Auf- und Untergangszimute, sowie zur Ermittlung der häufig diskutierten Auf- und Untergangswinkel der Gestirne. Eine zentrale Rolle spielen hier notwendigerweise die Sätze der sphärischen Trigonometrie.

Bedanken möchte ich mich noch bei *Holger Filling* [16], der mich in der Zusammenstellung der Formeln im mathematischen Teil unterstützt hat und bei *Wolfgang Tross* (†), der mich stets mit passender Literatur aus seiner umfangreichen Megalithik Bibliothek versorgt hat.

## 2 Begriffe und Definitionen

### 2.1 Begriff und Bedeutung der Archäoastronomie

*Archäoastronomie* heisst der Wissenschaftszweig, welcher sich mit Analysen an der Schnittstelle zwischen Astronomie und Archäologie beschäftigt. *Archäoastronomie* wäre wohl der präzisere Begriff, weil sich diese Kulturen damals ausschliesslich mit dem *Lauf* und den *Positionen* der Gestirne beschäftigten konnten. Dabei dürfte das weitgehende Fehlen der Lichtverschmutzung, sowie das vermutlich dünne Angebot an organisierter Abendunterhaltung, das Interesse an den Vorgängen am Nachthimmel wesentlich befördert haben. Die wissenschaftliche Erforschung der Himmelskörper blieb ihnen verschlossen, weil dazu schlicht die technischen Möglichkeiten fehlten. Im Vordergrund stand die Festlegung der Auf- und Untergangspunkte am Horizont, sei es zu kalendarischen oder kultischen Zwecken. In diesem Kontext wird daher auch von „*Horizontastronomie*“ gesprochen. Weltweit sind architektonische Linien auf solche Punkte ausgerichtet worden. Im Gegensatz zu vielen historisch interessierten Astronomen beurteilt ein Teil der archäologischen Fachwelt die Relevanz solcher Azimute noch immer skeptisch.

Bei diversen Kulturen ist auch die Beobachtung heller Kometen, Explosionen- und Helligkeitsausbrüchen von Sternen (Supernovae und Novae), sowie auffällige Konjunktionen dokumentiert worden. Bekannte Beispiele sind z.B. die zahlreichen Hypothesen über den „Stern von Bethlehem“ und die dokumentierte Beobachtung der Supernova M1 durch die Chinesen im Jahre 1054 n. Chr., deren genau bekanntes Datum für die moderne Stellarastromie von eminenter Bedeutung ist.

*Konjunktionen* sind *scheinbar* nahe Zusammentreffen oder sogar Bedeckungen zweier oder mehrerer Himmelskörper unter der Beteiligung von Sonne, Mond, oder Planeten. Daneben können aber auch helle Fixsterne und auffällige Sternhaufen (z.B. die Plejaden) involviert sein. Als Paradedisziplin galt hier die Vorhersage von Sonnen- und Mondfinsternissen, nachgewiesen z.B. bei den Griechen und Babyloniern. Die folgenden Amateurbilder aus Internetquellen zeigen Konjunktionen der Venus mit dem Mond (links) und den Plejaden (rechts).



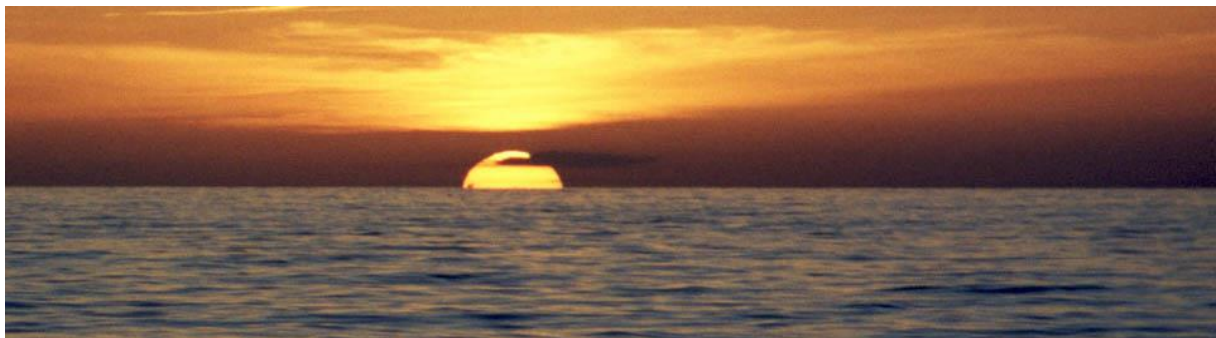
Die *Plejaden* spielten nachweislich für mehrere Kulturen eine wichtige Rolle, da dieser Sternhaufen (M45) selbst für aufmerksame Laien auffällig ist. Er steht zudem nur knapp nördlich der Ekliptik und wird daher oft vom Mond oder den Planeten „durchlaufen“. Die meisten der zahlreichen Deutungen sehen ihn auch auf der „Himmelscheibe von Nebra“ abgebildet (s. Kap. 4.7). Ein Hinweis auf seinen heutigen Bekanntheitsgrad ist seine Darstellung als Emblem der Automarke *Subaru*, was japanisch „Plejaden“ bedeutet.

### 2.2 Astronomische Auf- und Untergangsdefinition für Sonne und Mond

Als Auf- und Untergang werden bei *Sonne* und *Mond* die Punkte am real existenten Landschaftshorizont definiert, wo *scheinbar* der *Oberrand* des Gestirns zuerst erscheint oder zuletzt verschwindet. Die Richtung zu diesen Punkten wird hier nachfolgend als *Horizontazimut* bezeichnet. Infolge der atmosphärischen Refraktion, und beeinflusst durch Parallaxeneffekte (Kap. 15), sind diese *scheinbaren* Punkte, gegenüber den himmelsmechanisch

berechneten und auf die Gestirnsmitte bezogenen Richtungen, etwas nach Norden verschoben. Deshalb wird in diesem Zusammenhang auch der Ausdruck „*scheinbar*“ verwendet (s. Kap. 15.4). Bei punktförmig erscheinenden Gestirnen, wie Fixsterne und Planeten, vereinfacht sich die Definition als Horizontpunkt, wo das Gestirn an der Horizontlinie *scheinbar* erscheint oder verschwindet. Sämtliche Azimutwerte in dieser Schrift beziehen sich auf den *mathematischen* Horizont.

Diese Definition scheint bei den meisten prähistorischen Objekten angewendet worden zu sein. Gemäss Alexander Thom sollen bei Sonne und Mond in einigen Fällen auch der *Unterrand* des Gestirns für das Horizontazimut massgebend gewesen sein [2]. Er begründet dies mit der statistischen Verteilung der Azimute, welche er auf den Britischen Inseln bei 244 Megalith-Objekten untersucht hat. Rechenwerte von Ephemeriden- und Planetariumsprogrammen beziehen sich bei Sonne und Mond, auch bei den Auf- und Untergängen, stets auf die *Gestirnsmitte*.



## 2.3 Berechnungsbasis und Geltungsbereich der Azimutwerte

Sämtliche Horizontazimute sind hier mit Gestirnsdeklinationen berechnet worden, welche auf Daten sowie Simulationsläufen mit dem NASA Ephemeridenrechner „*Horizons*“ des *Jet Propulsion Laboratory (JPL)* in Pasadena basieren [28]. Der Ausdruck „Simulation“ wird hier deshalb verwendet, weil viele Werte nicht explizit berechnet werden können, sondern aus generierten Datenlisten über bestimmte Epochen "herausgefiltert" werden müssen. Ermittelt wurden dabei die *scheinbaren* (engl. *apparent*) Deklinationswerte, bezogen auf das Äquinoktium des eingegeben Datums, um die tatsächlichen, damaligen Horizontstände zu erhalten (s. Kap. 12.3). Alle hier angegebenen Azimute sind zudem refraktionsbereinigt, beziehen sich hier auf den mathematischen Horizont, den Breitengrad von 47° N (ca. Bern) und meistens auf die Zeit 2000 vor und nach Chr. Bei Sonne und Mond sind zusätzlich noch die notwendigen Parallaxenkorrekturen durchgeführt worden (s. Kap. 15.7, 15.8).

*NASA, JPL Horizons* liefert hochpräzise Ephemeriden für alle erdenklichen Objekte unseres Sonnensystems, basierend auf denselben Algorithmen, welche die NASA für die Planung und Durchführung ihrer Weltraummissionen gebraucht (Eigendeklaration JPL). Für die Archäoastronomie sicherlich ein Glücksfall, weil sich der Anwendungsbereich des Programms neu auf die Zeitspanne von 9998 vor bis 9999 nach Chr. erstreckt und über das Internetportal "HORIZONS Web-Interface" mit erstaunlich kurzen Responsezeiten frei bedienbar ist. *JPL Horizons* Daten werden daher häufig als Referenz in Testberichten über Planetariumsprogramme verwendet.

**Wichtig:** Theoretische archäoastronomische *Azimute* dürfen nur dann auf ein Objekt übertragen werden, wenn der *Breitengrad* als Bezugsgrösse bekannt ist und mit dem untersuchten Standort ungefähr übereinstimmt! Universell verwendbar sind hingegen *Deklinationswerte*. Damit lassen sich mit den Formeln in Kap. 15 die Horizontazimute für beliebige Breitengrade und Horizonthöhen berechnen.



### 3 Die Haupthimmelsrichtungen

Die Haupthimmelsrichtungen sind archäoastronomisch hoch relevant. In diesem Zusammenhang wird daher auch von *Kardinalachsen* gesprochen [1]. In der Nord-Südrichtung verläuft der Meridian, über welchem sämtliche Gestirne ihren Höchststand über dem Horizont erreichen.

#### 3.1 Beispiele für die Ausrichtung auf die Haupthimmelsrichtungen

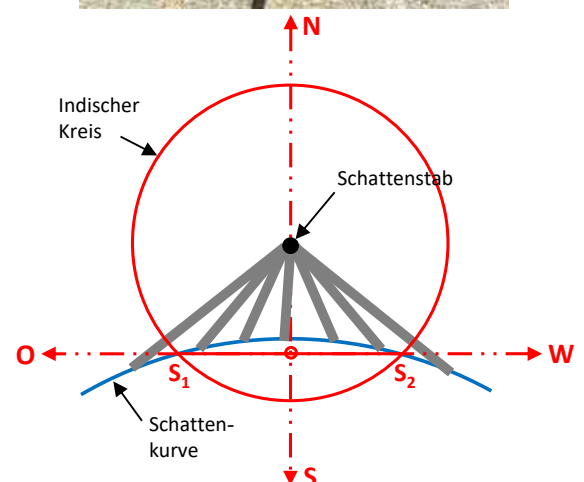
Diverse megalithische Alignements folgen den Haupthimmelsrichtungen. Auch die Cheops-Pyramide in Gizeh ist auf wenige Bogenminuten genau N-S ausgerichtet. Weiter sind die Längsachsen sehr vieler christlicher Kirchen West-Ost orientiert, u.a. auch der Petersdom in Rom (Google Earth mit eingeblendeter Kompassrose). Einige scheinen aber auch auf die Sonnenauf- oder Untergänge ihrer *Patronatstage* ausgerichtet worden zu sein. In Einzelfällen, z.B. beim Grossmünster in Zürich (Azimut  $125^\circ$ ), sind auch Sonnenwendazimute vertreten, was in den meisten Fällen auf ein vorchristliches Vorläuferobjekt zurückgeführt wird.



#### 3.2 Die Absteckung der Haupthimmelsrichtungen

Die Nord-Südrichtung kann prinzipiell mit einem sog. *Gnomon* abgesteckt werden. Ein senkrecht aufgestellter Stab wirft um die Mittagszeit (höchster Sonnenstand) den kürzesten Schatten im Tagesverlauf und markiert da den Meridian. Da die Schattenkurve relativ flach verläuft, ist das Minimum so nur rudimentär bestimmbar. Erschwerend hinzu kommen noch Halbschatteneffekte, da die Sonne keine punktförmige Lichtquelle darstellt.

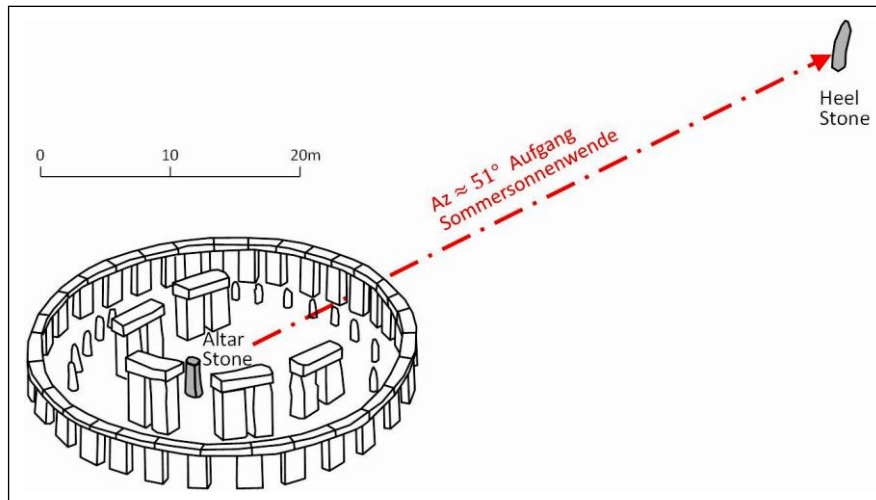
Die Präzision dieser Absteckungsmethode lässt sich mit dem sog. „Indischen Kreis“ deutlich steigern [1]. Dieser wird zentrisch um den Fusspunkt des Schattenstabes gezogen. Bestimmt wird dabei nicht die kürzeste Schattenlänge, sondern die zwei Schnittpunkte  $S_1$  und  $S_2$ , welche die Schattenkurve vor und nach dem Mittag mit dem Kreis erzeugt. Die entsprechende Kreissehne markiert die Ost-West Richtung. Sie braucht jetzt nur noch halbiert zu werden, um so den zweiten Absteckpunkt neben dem Schattenstab für die Nord-Süd Richtung zu setzen.



## 4 Archäoastronomische Sonnenazimute

### 4.1 Die solaren Hauptazimute

Weltweit sind zahlreiche architektonische Linien auf die solaren Hauptachsen ausgerichtet worden. Dies ist kaum erstaunlich, prägt doch die Sonne unseren Alltag von allen Himmelskörpern am nachhaltigsten. Bekanntestes Beispiel ist sicher Stonehenge, wo der periphere "Heel Stone" sowie die folgende, mehr als 500 m lange sog. "Prozessionsstrasse", mit einer Genauigkeit von ca. 5 Bogenminuten zum Sonnenaufgang des Sommersolstitiums ausgerichtet ist. In der Gegenrichtung liegt der Sonnenuntergang der Wintersonnenwende.



Neben den Haupthimmelsrichtungen genießt diese Azimutkategorie in der Fachwelt die höchste Akzeptanz. Die sechs solaren Hauptazimute werden durch die Horizontpunkte definiert, wo die Auf- und Untergänge der Sonne an den Solstitien und Äquinoktien stattfinden. Sie unterteilen das Jahr grob in vier Abschnitte. Sonnenwenddaten sind ca. der 21. Dezember (Wintersolstitium) und der 21. Juni (Sommersolstitium); Tag- und Nachtgleichen oder Äquinoktien sind ca. am 21. März (Primäräquinoktium) und 22. September (Sekundäräquinoktium), Definition siehe Kap. 14.

### 4.2 Himmelsmechanische Einflüsse und Parallaxen-Effekte

Im Gegensatz zu den Fixstern- und Planetenazimuten hat die *Präzession der Erdachse* auf die solaren und auch lunaren Deklinationswerte, und somit auch auf deren Horizontazimute, *keinen* Einfluss (s. Kap. 13.2). Geringe, langperiodische *Neigungsschwankungen* der Erdachse (s. Kap. 13.3) verursachen hingegen die Deklinationsdifferenz zwischen den Solstitien von 2000 vor und nach Chr. Sie beträgt lediglich ca.  $0.5^\circ$ , was etwa einem mittleren, scheinbaren Sonnen- oder Mondurchmesser entspricht. Die Äquinoktialazimute sind von diesem Effekt kaum betroffen, weil sich die Sonne zu diesem Zeitpunkt genau auf dem Himmelsäquator befindet und die Auf- und Untergangspunkte dann praktisch auf der Ost-West Achse liegen. Infolge der schwach exzentrischen, elliptischen Erdumlaufbahn ist das Winterhalbjahr einige Tage kürzer als das Sommerhalbjahr. Die geringfügige *Verschiebung* der beiden Äquinoktialazimute zur W-O Richtung (zu  $90^\circ$ , resp.  $270^\circ$ ) wird infolge der *Ober- und Unterflächendefinition* durch die Scheibenparallaxe und die atmosphärische Refraktion verursacht (s. Kap. 15).

### 4.3 Solare Hauptazimute für $47^\circ\text{N}$

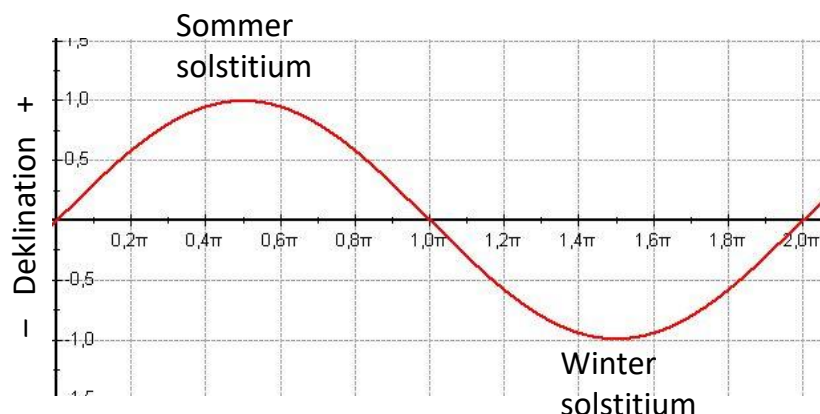
In der folgenden Tabelle sind die Deklinationswerte  $\delta$  der Sonne auf Bogenminuten gerundet und die daraus für  $47^\circ$  Nord berechneten Azimute in Dezimalgrad angegeben.



| Hauptazimute<br>der Sonne für<br>47° N | 2000 v. Chr.   |         |           | 2000 n. Chr.   |         |           |
|----------------------------------------|----------------|---------|-----------|----------------|---------|-----------|
|                                        | Dekl. $\delta$ | Aufgang | Untergang | Dekl. $\delta$ | Aufgang | Untergang |
| Winter Solstitium<br>WS                | -23° 55'       | 125.4°  | 234.6°    | -23°26'        | 124.6°  | 235.4°    |
| Äquinoktien<br>Äq                      | 0° 00'         | 89.1°   | 270.9°    | 0° 00'         | 89.1°   | 270.9°    |
| Sommer Solsti-<br>tium SS              | +23° 55'       | 52.4°   | 307.6°    | +23°26'        | 53.2°   | 306.8°    |

#### 4.4 Effekte im Bereich der Solstitien

Da die solaren Horizontazimute fest an die Jahreszeiten gekoppelt sind, haben sie das Potential für kalendarische Zwecke verwendet zu werden. Aus folgenden Gründen bilden hier die Sonnenwenden oder Solstitien eine Ausnahme. Der Ausdruck *Solstitium* für die Sonnenwenden stammt aus dem Lateinischen, was mit „Stillstand der Sonne“ übersetzt werden könnte. Tatsächlich erreicht sie während diesen Phasen ihren grössten südlichen oder nördlichen Abstand zum Himmelsäquator. Sie verändert dort über mehrere Tage ihren Deklinationswert und somit auch ihre Horizontazimute nur in extrem kleinen Schritten. Der Grund dafür ist die scheinbare Sonnenbahn (Ekliptik), deren Projektion auf der Himmelskugel sinusförmig verläuft. Die Grafik unten zeigt, den flachen Verlauf dieser Kurve in den oberen und unteren Scheitelpunkten.



Die folgende Tabelle demonstriert diesen Effekt. Sie zeigt die *scheinbaren* Deklinationswerte und die daraus berechneten *Aufgangsazimute* in Dezimalgrad, während- und vier Tage nach dem Sommersolstitium (SS) vom 21.6.2008 (Basis: Simulation mit *NASA, JPL Horizons* im 1h Intervall).

| Datum/Zeit [UT]   | 2008 n. Chr. Azimute für 47° N |         |                                      |
|-------------------|--------------------------------|---------|--------------------------------------|
|                   | Dekl. $\delta$                 | Aufgang | Differenz                            |
| 21.6. 1800 UT, SS | +23° 26' 26"                   | 53.195° | 0.006°<br>0.017°<br>0.029°<br>0.040° |
| 22.6. 1800 UT     | +23° 26' 14"                   | 53.201° |                                      |
| 23.6. 1800 UT     | +23° 25' 36"                   | 53.218° |                                      |
| 24.6. 1800 UT     | +23° 24' 35"                   | 53.247° |                                      |
| 25.6. 1800 UT     | +23° 23' 08"                   | 53.287° |                                      |

Dies bedeutet, dass während mehr als ca. 12 Tagen um diesen Termin die tägliche Azimutdifferenz im Bereich von lediglich einigen Hundertstel Dezimalgrad liegt. Beschränkt auf optische Visurhilfen, wie Gnomon und Alignements, kann somit das Solstitium nur *markiert*, keinesfalls aber dessen Termin direkt bestimmt werden. Diese Tatsache ist auch ein Hinweis darauf, dass z.B. Stonehenge wohl eher als Sakral- denn als Kalenderbauwerk errichtet wurde [1]. Man könnte deshalb die Wenden als reine "Kultazimute" bezeichnen, während die übrigen solaren Zwischenazimute durchaus für Kalenderzwecke gebraucht werden können.

#### 4.5 Effekte im Bereich der Äquinoktien

Im Gegensatz zu den Solstitien sind Azimutänderungen bei den Äquinoktien am deutlichsten sichtbar. Die tägliche Deklinationsdifferenz der Sonne beträgt hier ca. 24', was für 47°N einer Azimutdifferenz von ca. 35' oder mehr als einem scheinbaren Durchmesser der Sonnenscheibe entspricht! Dieser Zeitpunkt ist daher auch geeignet, Schattenbilder zu generieren, welche exklusiv an diesen Terminen sichtbar werden sollen.

Das weltweit wohl spektakulärste Beispiel ist die Pyramide des Gottes der "Gefieder-ten Schlange Kukulcán", in Chichén Itzá, Mexiko. Auf allen vier Flanken führen Treppen mit je 365 Stufen zum Tempel, welcher zuoberst auf dem Bauwerk thront. Exklusiv um die Daten des 21. März und des 22. September wirft die neunstufige Pyramidenkante einen wellenförmigen Schatten auf eine der Seitenmauern der Nordtreppe, welche als einzige am Pyramidenfuss in zwei steinernen Schlangenköpfen enden. Dabei entsteht der verblüffende Eindruck als würde die Schlange Kukulcán ihren Tempel verlassen und sich die Pyramide hinunter winden. Bild: Wikipedia

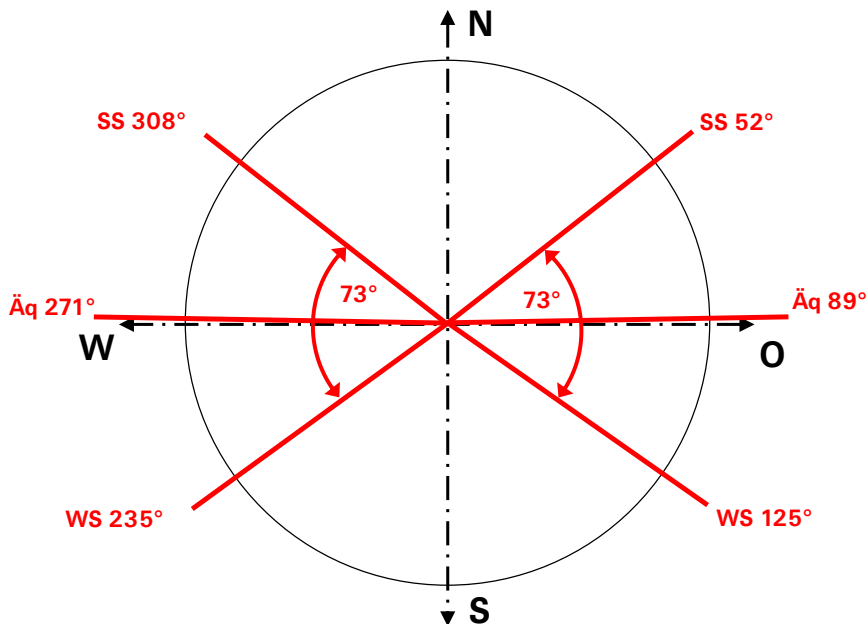


Ein weiteres, vor kurzem von Georg Brunner (†) entdecktes Beispiel aus der Schweiz, ist der Dolmen-ähnliche Erdmannndlistein bei Wohlen [13] [14] [15]. Um diese Termine, jeweils vor Sonnenuntergang, ca. 16.30 bis 17.00 Uhr, dringt das Sonnenlicht zwischen dem Deckstein und den beiden Trägersteinen hindurch und projiziert einen Wolfs- oder Fuchskopf auf eine seitlich stehende Gesteinsplatte (weisser Pfeil). Interessanterweise wird dieser Eindruck noch durch die (bearbeitete?) Oberflächenstruktur des Gesteins unterstützt.



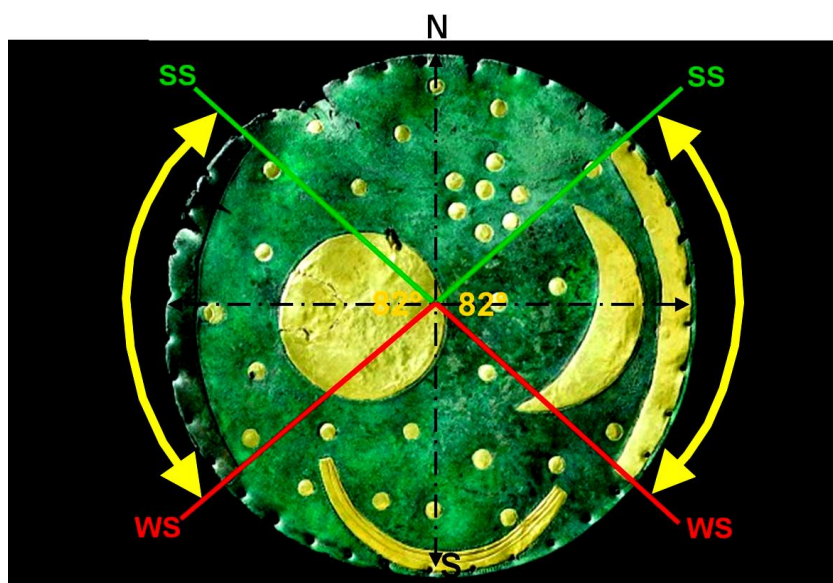
#### 4.6 Der Pendelwinkel

Die folgende Grafik zeigt die solaren Hauptachsen mit den gerundeten Auf- und Untergangssazimuten. Der Azimutbogen zwischen SS und WS kann auch als *Pendelwinkel* bezeichnet werden. Zwischen diesen Extrempunkten pendeln im Laufe eines Jahres die Auf- und Untergangspunkte der Sonne hin und her. Der *Pendelwinkel* des Horizontbogens betrug 2000 v. Chr. auf dem 47. Breitengrad ca.  $73^\circ$ .



#### 4.7 Die solaren Hauptazimute und die Himmelsscheibe von Nebra

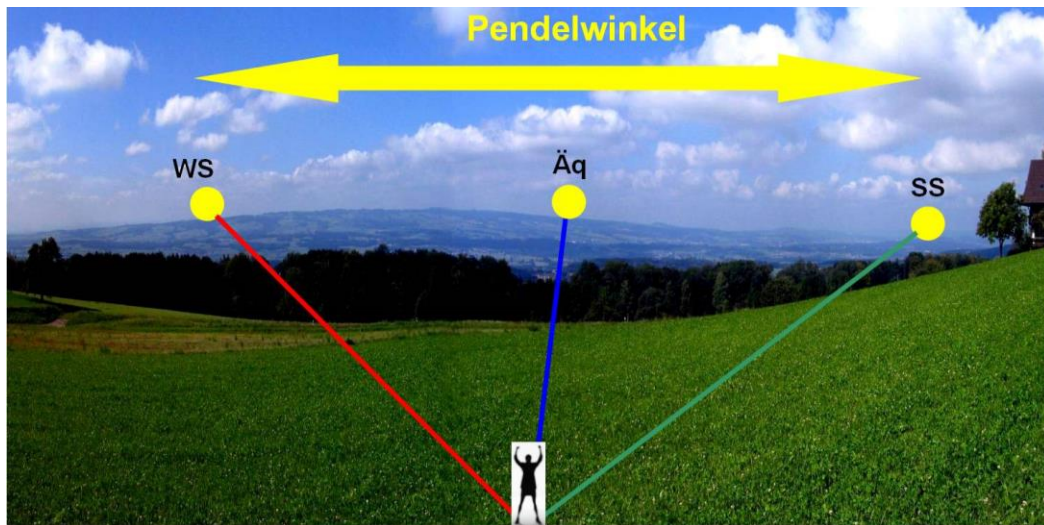
Die Pendelwinkel oder Azimut-Sektoren, welche den Bereich der Sonnenaufgänge im Osten und der Untergänge im Westen abstecken, sind mit grosser Wahrscheinlichkeit auch auf der „Himmelsscheibe von Nebra“ dargestellt. Der Wert von  $82^\circ$  entspricht sehr grob dem damals auf der geografischen Breite von Norddeutschland beobachtbaren Pendelwinkel. Der Goldbeschlag des westlichen Pendelbogens fehlt auf der Scheibe. Der kreisförmige Sternhaufen mit sieben Goldpunkten im rechten oberen Quadranten wird heute von vielen Fachleuten als Plejaden (M45) interpretiert.





#### 4.8 Pendelwinkel der Sonnenuntergänge – Praktisches Beispiel

Die folgende Abbildung zeigt als Beispiel den Pendelwinkel der Sonnenuntergänge über dem Lindenberg, wie er von Aeugst a. Albis (Schweiz) aus gesehen werden kann.



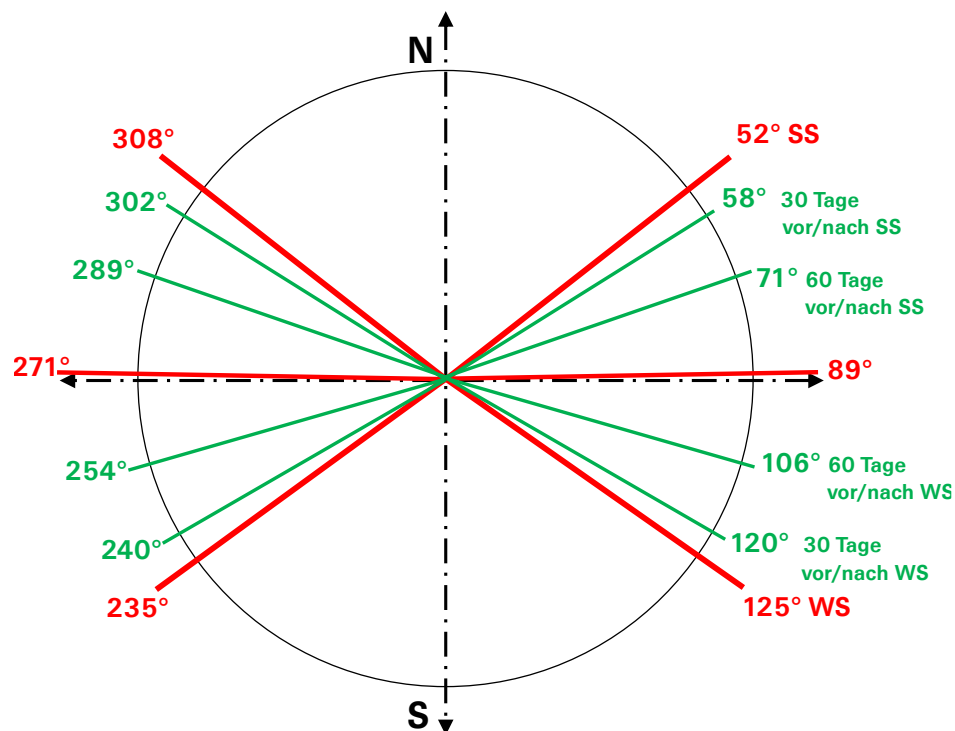
#### 4.9 Solare Zwischenazimute

An megalithischen Steinsetzungen in der Surselva (Schweiz), in Frankreich und Südengland haben Ulrich und Greti Büchi [11] Azimute an Steinsetzungen gemessen, welche auf die Horizontpunkte der Sonne je ca. 30 und 60 Tage vor und nach dem Winter- und Sommer-solstitium gerichtet sind. Auch dem Verfasser sind im Kanton Zürich an diversen Objekten solche Ausrichtungen aufgefallen [36]. Symmetrisch zu den beiden Solstitien entsteht dadurch eine grobe *Zwölferteilung* des Jahres, welche auch als Kalender gedeutet werden kann. Das 30 Tage Intervall war u.a. auch bei den ägyptischen Hochkulturen in Gebrauch und wird von den meisten Quellen auf den ursprünglich verwendeten *Lunarkalender* zurückgeführt (Kap. 7), [5].

Infolge der ellipsenförmigen Erdumlaufbahn liegen die Zwischenazimute im Winter- und Sommerhalbjahr leicht asymmetrisch. Die Deklinationswerte sind auf Bogenminuten gerundet und die daraus berechneten Azimute in Dezimalgrad angegeben (*JPL Horizons*).

| Solare Zwischenazimute für 47° N<br>Zwölferteilung des Jahres | 2000 v. Chr.   |         |           |
|---------------------------------------------------------------|----------------|---------|-----------|
|                                                               | Dekl. $\delta$ | Aufgang | Untergang |
| Ca. 30 Tage vor und nach dem Wintersolstitium                 | -20° 33'       | 119.9°  | 240.1°    |
| Ca. 60 Tage vor und nach dem Wintersolstitium                 | -11° 37'       | 106.2°  | 253.8°    |
| Ca. 60 Tage vor und nach dem Sommersolstitium                 | +12° 22'       | 70.7°   | 289.3°    |
| Ca. 30 Tage vor und nach dem Sommersolstitium                 | +20° 40'       | 57.8°   | 302.2°    |

Die folgende Grafik zeigt die gerundeten Hauptazimute (rot), ergänzt mit den Zwischenazimuten (grün):



#### 4.10 Solare Azimute der Quartalstage und des „Keltischen Jahreskalenders“

Die Quartalstage markieren die zeitlichen Mitten zwischen den Solstitien und den Äquinoktien. Dies lässt sich durch Abzählen von Tagen nach dem heutigen Jahreskalender einfach ermitteln und entspricht *ungefähr* den Daten: 4. Februar, 6. Mai, 6. August und 6. November (ca.  $\pm 1$  Tag).

Die Deklination der Sonne entspricht an diesen Tagen relativ genau den Werten, welche W. Schlosser in [19] als  $\pm 0.71\varepsilon$  Deklinationen oder „Beltaineazimute“ bezeichnet. Damit definiert er die Sonnendeklination  $\delta$  dieser Festtage mit 71% der Ekliptikschiefe  $\varepsilon$  welche für unsere Zwecke in guter Näherung mit der maximalen Sonnendeklination  $\delta$  an den Solstitien gleichgesetzt werden darf (Kap. 13.5). Dies ergibt für 2000 vor und nach Chr.

$$\delta_{-2000} = \pm 17.01^\circ \quad \delta_{+2000} = \pm 16.64^\circ$$

Aus diesen Deklinationswerten lassen sich für 47° N und den Oberrand der Sonne folgende refraktions- und parallaxenbereinigte Azimute berechnen (Kap. 15):

| Quartalstage 47° N     | 2000 v. Chr. |           | 2000 n. Chr. |           |
|------------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|
|                        | Aufgang      | Untergang | Aufgang      | Untergang |
| ~ 6. Mai und 6. August | 63.6°        | 296.4°    | 64.2°        | 295.8°    |
| ~ 6. Nov. und 4. Febr. | 114.4°       | 245.6°    | 113.8°       | 246.2°    |

Gleich mehrere Alignements der Megalithanlage in Falera scheinen ungefähr auf diese Daten ausgerichtet worden zu sein [11]. Diese Anlage wurde aufgrund von C14 Holzkohlen-Analysen in die mittlere Bronzezeit auf ca. 1500 - 1260 v. Chr. datiert, was nahelegt, dass solche Ausrichtungen schon lange vor der keltischen Periode von Bedeutung waren.

Um diese vier relativ genau definierten Termine gruppieren sich mehrere Festtage, welche möglicherweise aus prähistorischer Zeit in die Kulturen späterer Epochen tradiert worden sind.

#### 4.11 Die "keltischen" Festtage

Etwas diffus und wissenschaftlich eher schwach untermauert, erscheinen die sog. vier „keltischen“ Festtage *Imbolg*, *Beltaine*, *Lughnasad* und *Samhain*. Die Schreibweise, aber zum Teil auch die etymologische Deutung unterscheidet sich je nach Quelle und Sprachraum. Meistens werden die Namen mit keltischen Gottheiten und Festen in Verbindung gebracht. In diesem Umfeld erscheint auch die *Walpurgisnacht* vom 30. April welche möglicherweise aus urgeschichtlicher Zeit in das mittelalterliche Brauchtum tradiert worden ist. Diese Daten spielen heute vornehmlich für esoterische Kreise, speziell aus der Neopaganismus Szene, eine Rolle. Volkstümliche Quellen wie der "Bauernkalender" terminieren sie auf die folgenden *heutigen* Monatsanfänge.

*Imbolg*: 1. Februar, *Beltaine*: 1. Mai, *Lughnasad*: 1. August, *Samhain*: 1. November.

#### 4.12 Der Bauernwinter

Relativ gut akzeptiert scheinen jedoch Anfang und Ende des sog. *Bauernwinters* zu sein, welcher einen Unterbruch im bäuerlichen Jahr bedeutete. Diese Daten liegen mit je 42 Tagen Differenz ungefähr *symmetrisch* zur Wintersonnenwende und wurden später in das christliche Brauchtum überliefert. Seit dem Frühmittelalter beginnt mit Mariae Lichtmess am 2. Februar das *bäuerliche Jahr*, welches mit Martini am 11. November endet. An diesen Tagen begannen und endeten jeweils Pacht- und Zinsfristen sowie Besoldungszeiträume. Auch für die beiden anderen Quartalstage im Sommerhalbjahr wird häufig ein landwirtschaftlicher Ursprung vermutet. Die Abweichung dieser Horizontazimute zu denjenigen der Quartalstage beträgt hier  $<1^\circ$ .

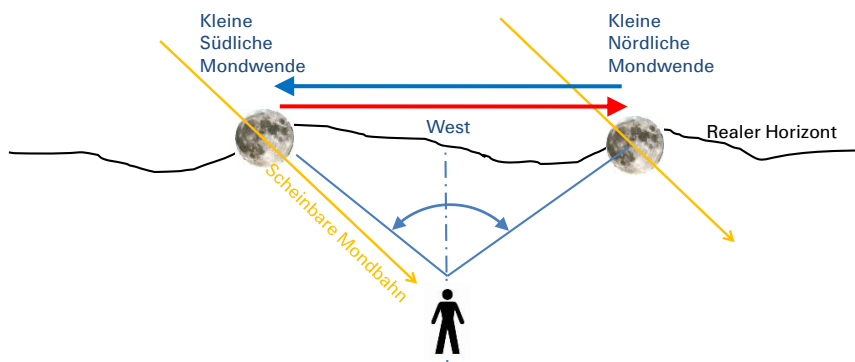
*Imbolg* fällt am 1. Februar auf den Vorabend von Mariae Lichtmess und wird daher meistens als heidnischer Vorläufer des christlichen Festes und somit auch des Endes des Bauernwinters gedeutet. *Samhain* könnte mit dem *Beginn* des Bauernwinters, d.h. Martini am 11. November in Zusammenhang stehen. Die Interpretation, dass dieses Fest auch ein heidnischer Vorläufer des Totenkultes von Allerheiligen/Allerseelen oder des angelsächsischen Halloweens war, ist umstritten.



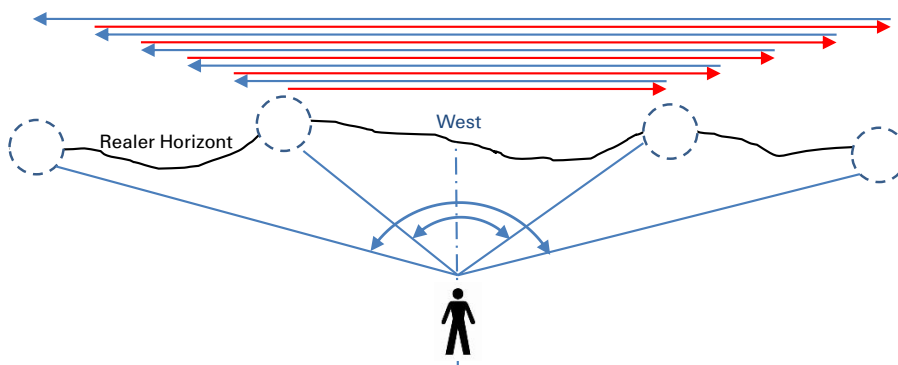
## 5 Archäoastronomische Mondazimute

### 5.1 Die Mondwenden

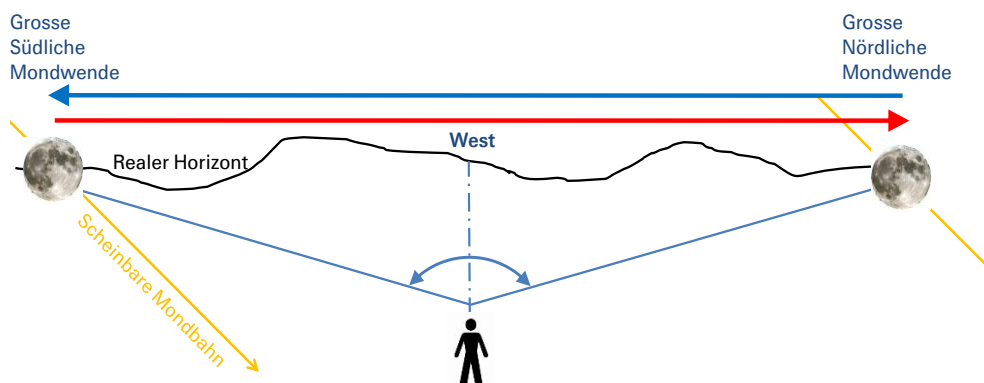
Die scheinbare Mondbahn verläuft wesentlich komplizierter als die Sonnenbahn. Die Auf- und Untergänge der Sonne vollführen bekanntlich einmal pro Jahr eine einfache, komplette „Pendelbewegung“ (Süd – Nord - Süd) zwischen einem südlichen Extremwert, der Winter- sonnenwende und einem nördlichen Extrempunkt, der Sommersonnenwende (siehe Kap. 4.3). Der Mond vollzieht einen vergleichbaren, kompletten Pendelausschlag bei *jedem* siderischen, d.h. auf den *extrem entfernten Sternenhintergrund* bezogenen Mondumlauf in ca. 27.32 Tagen. Siderisch bedeutet auch, dass diese Bewegung *asynchron* zu seiner Phase verläuft. Bei der „*Kleinen Mondwende*“ oder dem „*Kleinen Extrem*“ ist dieser „Pendelausschlag“ minimal.



Nach Abschluss dieses minimalen Pendelausschlages werden die Ausschläge bei den nächsten Umläufen immer grösser (Darstellung für die Untergänge am Westhorizont).



Nach ca. 9.3 Jahren oder ungefähr 125 Umläufen, erreicht der Mond die Maximalwerte der „*Grossen Mondwende*“ oder des „*Grossen Mondextrems*“



In den folgenden 9.3 Jahren werden die Ausschläge kontinuierlich wieder kleiner, bis nach insgesamt ca. 18.61 Jahren wieder die kleine Mondwende erreicht ist. Diese Zeitspanne entspricht einem vollen Umlauf der *Mondbahn-Knotenlinie* (s. Kap. 14.3).

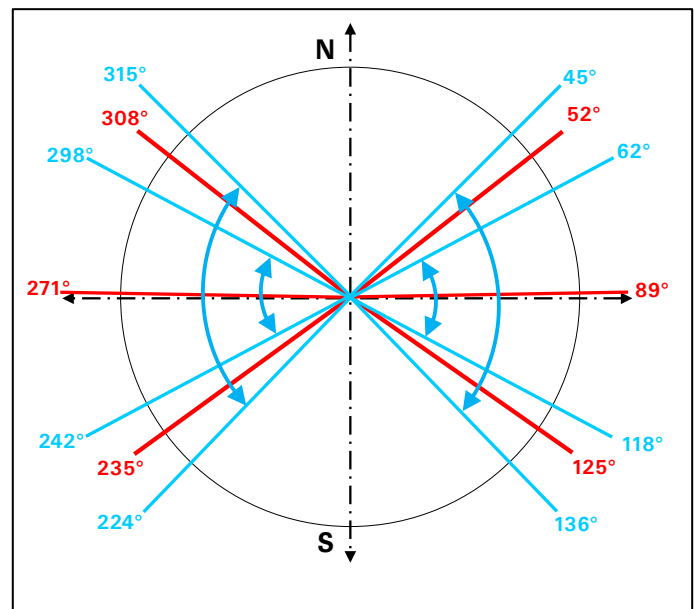
## 5.2 Lunare Wendenazimute für 47°N

Die folgenden Deklinationswerte  $\delta$  sind auf Bogenminuten gerundet, die daraus berechneten Azimute der grossen und kleinen Mondextreme in Dezimalgrad angegeben. Die Azimutdifferenzen zwischen 2000 vor und nach Chr. sind auch bei den mondbezogenen Azimuten gering und entstehen aus denselben Gründen, wie bereits in Kap. 4.2 erläutert wurde. Eine kleine Mondwende war 1997, eine grosse Mondwende 2006 zu beobachten.

| Horizontazimute der Mondextreme für 47° N | Grosses Extrem 2013 v. Chr.<br>Kleines Extrem 2004 v. Chr. |         |           | Grosses Extrem 2006 n. Chr.<br>Kleines Extrem 1997 n. Chr. |         |           |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------|-----------|------------------------------------------------------------|---------|-----------|
|                                           | $\delta$                                                   | Aufgang | Untergang | $\delta$                                                   | Aufgang | Untergang |
| Grosses nördl. Extrem                     | +29° 13'                                                   | 44.5°   | 315.5°    | +28° 43'                                                   | 45.4°   | 314.6°    |
| Kleines nördl. Extrem                     | +18° 39'                                                   | 62.2°   | 297.8°    | +18° 08'                                                   | 63.0°   | 297.0°    |
| Kleines südl. Extrem                      | -18° 39'                                                   | 118.1°  | 241.9°    | -18° 09'                                                   | 117.3°  | 242.7°    |
| Grosses südl. Extrem                      | -29° 13'                                                   | 135.9°  | 224.1°    | -28° 43'                                                   | 135.0°  | 225.0°    |

Wichtig: Verglichen mit den Sonnenazimuten muss bei der Analyse von Mondausrichtungen eine zusätzliche Unschärfe der Horizontazimute von ca.  $\pm 1.5^\circ$  berücksichtigt werden. Infolge von Inklinationsschwankungen der stark exzentrischen Bahnellipse (siehe Kap. 14) und anderer, hier nicht berücksichtigter Bahnstörungen, können grössere maximale Deklinationswerte auftreten, als sie in dieser Tabelle verzeichnet sind. Beispiel: Die Deklination während der Südlichen Grossen Mondwende von 2006 ergab am 29. September  $-29^\circ 37'$ ! Für genauere Abklärungen müssen daher die Daten von JPL Horizons (Kap. 2.3) beigezogen werden, was als Dilemma aber den Entscheid für das Datum einer (prä-) historischen Mondwende erfordert. Für die meisten archäoastronomischen Untersuchungen dürfte aber die Genauigkeit dieser Tabellenwerte wohl ausreichen.

Die Grafik zeigt für 2000 v. Chr. und 47° N die gerundeten Azimute der Mondextreme (blau), ergänzt mit den solaren Hauptazimuten (rot). Eingezeichnet sind auch die beiden *Pendelbögen* der grossen und kleinen Mondwenden.



### 5.3 Das Phänomen der lunaren "Stillstandsphasen"

Himmelsmechanisch sind die Mondwenden exakt definiert (Kap. 14.3). Die folgende NASA, JPL Horizons Simulation, durchgeführt im 1h-Intervall, zeigt für die grosse Mondwende 2006 jedoch deutlich, dass der *exakte Wendezeitpunkt* anhand der Horizontazimute *nicht* bestimmbar ist. Während diesen Perioden nähern sich die Deklinationsmaxima der einzelnen Mondumläufe über ein Jahr lang mit schwachen Schwingungen lediglich um wenige Bogenminuten an die maximalen Werte. Dabei treten meist zwei Nebenmaxima auf, wie hier die Werte vom 4.4. und 15.9. 2006 zeigen. R. Müller [2] erwähnt in diesem Zusammenhang sogar 2-3 „Oszillationen“. Solche Effekte entstehen infolge der hohen Komplexität der Mondbahn, vor allem durch die starke Exzentrizität seiner Bahnellipse. Diese Zeitspanne wird daher in der Literatur auch als „*Stillstandsphase*“ des Mondes bezeichnet [2], analog zum Solstitium der Sonnenwenden. Die folgende Tabelle zeigt die maximalen nördlichen (+) Deklinationswerte pro Mondumlauf und die entsprechenden Aufgangszimute für 47° N um die *Nördliche Grosse Mondwende* von 2006. Das Datenformat ist [Datum / Deklination / *Aufgangszimut*]. Die beiden Zeilen mit den maximalen + $\delta$  Werten und somit den nördlichsten Horizontazimuten sind rot geschrieben.

|                                |                          |                               |
|--------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| 12.1. / +28° 25' / 46.0°       | 1.5. / +28° 37' / 45.6°  | 18.8. +28° 39' / 45.5°        |
| 8.2. / +28° 33' / 45.7°        | 29.5. / +28° 29' / 45.8° | <b>15.9. +28° 43' / 45.4°</b> |
| 8.3. / +28° 42' / 45.4°        | 25.6. / +28° 27' / 45.9° | 12.10. +28° 41' / 45.4°       |
| <b>4.4. / +28° 43' / 45.4°</b> | 22.7. / +28° 31' / 45.7° | 8.11. +28° 32' / 45.7°        |

Die enorme Länge dieser Stillstandsphasen hatte den Vorteil, dass die extremen Horizontstände der „Mondwende“ während mehreren Umläufen beobachtet werden konnten und die Sichtbarkeit dieses Ereignisses weniger anfällig auf meteorologische Launen war.

Der Mond ist für uns Erdbewohner, nach der Sonne, der zweithellste Himmelskörper, ermöglicht bei Vollmond sogar das Zeitungslesen und ist zeitweise auch am Taghimmel sichtbar. Seine Gravitationswirkung erzeugt direkt sichtbare Effekte auf der Erdoberfläche, z.B. die Meeresgezeiten. Spektakulär sind auch seine ständig wechselnden Phasen. So scheint es verständlich, dass auch die extremen Horizontazimute unseres Erdtrabanten für archäoastronomische Ausrichtungen diskutiert werden. In der gesichteten Literatur sind relativ wenige der weltbekannten, archäologischen Objekte mit Ausrichtungen auf die Mondextreme zu finden. Eine Ausnahme bildet *Stonehenge* mit einer eher umstrittenen Deutung von Mondazimuten durch den amerikanischen Astronomen G.S. Hawkins [2]. Bei den folgenden Objekten sind, mit Ausnahme von Yverdon Clendy, nur die *Grossen Mondwenden* und dann zumeist noch die *südlichen* vertreten. Die Kleinen Mondwenden scheinen wohl eher eine untergeordnete Rolle gespielt zu haben.

#### 5.4 Beispiele für mögliche Ausrichtungen auf die Mondwenden

*Callanish* auf der Isle of Lewis (Hebriden) wird oft als „Stonehenge des Nordens“ bezeichnet. Hier ist eine Doppelreihe von Menhiren auf eine Vertiefung am Horizont gerichtet, welche die Beobachtung der „Stillstandsphase“ der *Grossen Südlichen Mondwende* begünstigt [2]. Die ganze Anlage ist kreuzförmig angeordnet.

Bild: *Callanish* (Wikipedia)



W. Schlosser [1] erwähnt im Zusammenhang mit Mondwenden u.a. die Megalithanlage auf der Isle of Mull (GB), sowie die Kreisgrabenanlagen von Bochum-Harpen. B. Steinrücken [21] hat solche Ausrichtungen bei 42 von 50 untersuchten Steinkreisen in Schottland nachgewiesen, welche als gemeinsames Merkmal häufig auf der Südwestseite einen liegenden Altarstein (Recumbent Stone Circle) haben. Hier ging jeweils bei der *Grossen Südlichen Mondwende* der Mond unter.

Bild: *Loanhead of Daviot Stonecircle* mit liegendem Altarstein (Wikipedia).



Im Rahmen einer Expertise für das Museum in Yverdon-les-Bains hat der Verfasser eine mögliche Ausrichtung der berühmten Alignements von Yverdon-les-Bains Clendy auf die Mondwenden gefunden [35].

Bild: Alignement Nord, Yverdon-les-Bains- Clendy



### 5.5 Mondwenden – Kult oder Kalenderfunktion?

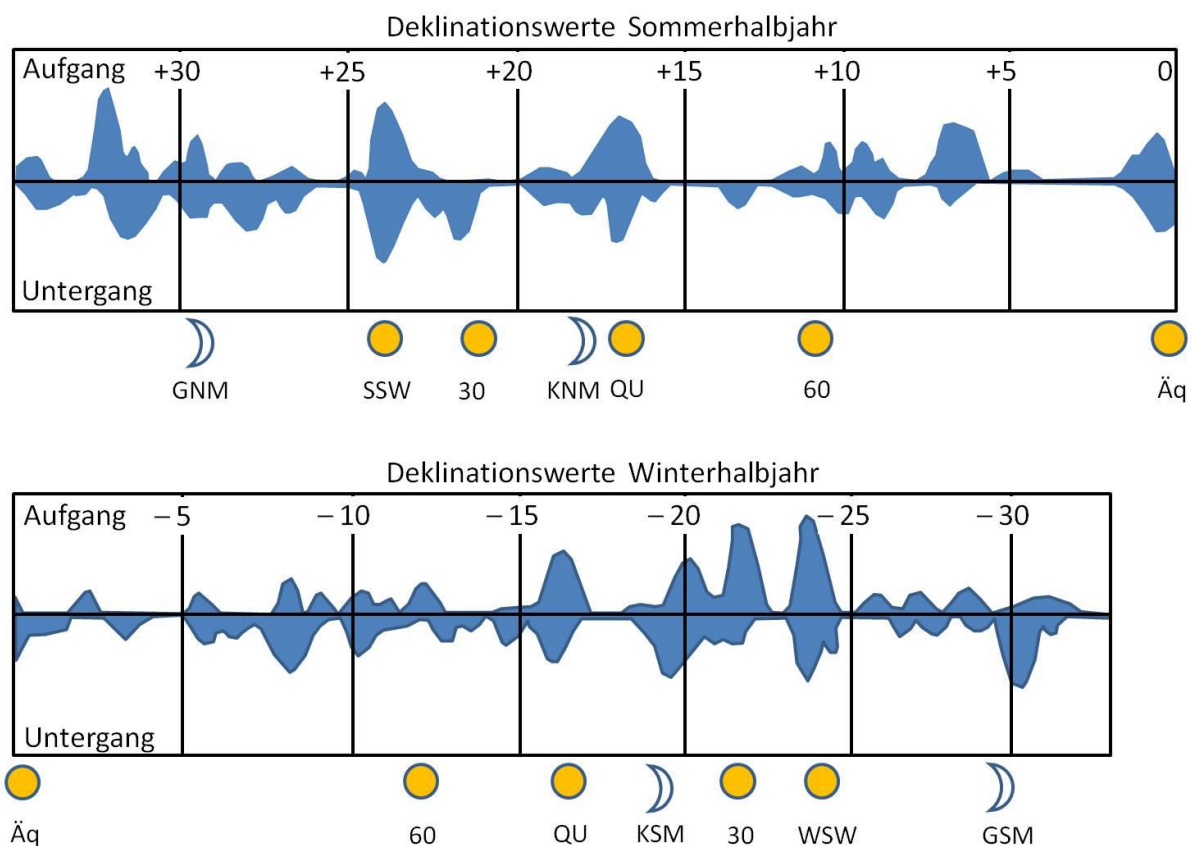
Die Mondphasen bilden den auffälligen Taktgeber für den Lunarkalender (Kap. 7.2) und sind an die *synodischen* Umläufe mit einer Durchschnittsdauer von 29.53 Tagen gebunden. Die Pendelbewegungen der lunaren Horizontazimute gemäss Kap. 5.1 sind jedoch mit den deutlich kürzeren, siderischen Mondumläufen synchronisiert (ca. 27.32 Tage) und erfolgen daher völlig *abgekoppelt von den Mondphasen*. Theoretisch könnten auch diese Perioden als kalendarischer Taktgeber dienen, ebenso wie die sehr langen Zeitspannen zwischen den Mondwenden. Letztere sind aber noch deutlich schwieriger zu bestimmen als diejenigen zwischen den Sonnenwenden, da die lunaren Stillstandsphasen nicht mehrere Tage, sondern jeweils ca. ein ganzes Jahr dauern. Eine kultische Bedeutung erscheint hier somit wesentlich wahrscheinlicher, verglichen mit einer möglichen kalendarischen Funktion.



## 6 Verteilung der solaren und lunaren Azimute nach A. Thom

Der schottische Ingenieur *Alexander Thom* (1894 – 1985) hat die Azimutverteilung von ca. 300 Megalith-Objekten statistisch untersucht. Der Untersuchungsbereich erstreckte sich dabei vom Norden Schottlands bis nach Wales. Die entsprechende Verteilung der Deklinationswerte zeigt die folgende Grafik, schematisch angepasst nach A. Thom und ergänzt mit den grossen und kleinen Mondwenden sowie den solaren Azimuten der Zwölferteilung. Hier wird deutlich, dass viele der relevanten Sonnen- und Monddeklinationen mehr oder weniger deutlich abgebildet sind. Es sind hier aber auch Konzentrationen erkennbar, welche bei ca.  $32^\circ$  klar ausserhalb der Deklinationsbereiche von Sonne und Mond liegen und bei ca.  $7^\circ$  mit keinem der bekannten solaren oder lunaren Horizontazimute koinzidieren.

A. Thom hat alternativ auch eine *Sechzehnerteilung* des Jahres mit „Monatslängen“ von ca. 22 – 23 Tagen vorgeschlagen.



## 7 Archäoastronomische Fixsternazimute

Im Gegensatz zur *scheinbaren* Sonnen- und Mondbahn wird die Sichtbarkeit des Fixsternhimmels im Laufe der Jahrtausende dramatisch von der Präzessionsbewegung der Erdachse und in etwas geringerem Ausmass noch von der unterschiedlichen Eigenbewegung der einzelnen Sterne beeinflusst. Die Überprüfung der Hypothese, ob allenfalls ein Objekt auf ein Fixsternazimut ausgerichtet wurde, erfordert daher zwingend eine unabhängige Altersbestimmung, damit die damaligen Äquatorialkoordinaten und die daran gekoppelten Auf- und Untergangszimute der Sterne berechnet werden können. Diese Aufgabe wird heute am besten mit einschlägigen Computerprogrammen erledigt. Bei der Megalithanlage von Falera wurde dies beispielsweise erfolgreich praktiziert [11]. In anderen Fällen, wo keine unabhängige Altersbestimmung einer Anlage möglich ist, bleiben solche Überlegungen zwangsläufig hoch spekulativ.

Eine praktische Anwendung ist hier die Suche nach Fixsternen, welche für eine gegebene prähistorische Objektausrichtung in Frage kommen könnten. Mit Formel {14} in Kap. 15.2 oder mit [33] wird zuerst mit dem gegebenen Auf- oder Untergangszimut die zugehörige *Deklination* des hypothetischen „Zielsterns“ berechnet. Mit einem Planetariumsprogramm wie z.B. *Winstars*, kann dann gezielt nach hellen Sternen gesucht werden, welche für die vermutete oder archäologisch bestimmte Zeitepoche in Frage kommen. Sehr nützlich ist hier auch eine Tabelle von B. Steinrücken [18] über die prähistorischen Äquatorialkoordinaten der damals sichtbaren, hellsten Fixsterne von 5000 bis 2500 v. Chr. Auch bei Schlosser/Ciorny [1] sind Tabellen und Diagramme zur Ermittlung prähistorischer Fixsternkoordinaten zu finden.

## 8 Archäoastronomische Planetenazimute

### 8.1 Vorbemerkungen

Es ist stark umstritten, welche Rolle hier die extremen Auf- und Untergangspunkte der Planeten spielten. Wie die Fixsternazimute, sind diese ebenfalls dem Präzessionseffekt unterworfen – wenn auch in deutlich geringerem Ausmass. Die Planeten kreisen aber alle auf elliptischen Bahnen unterschiedlicher Exzentrizität um die Sonne, welche zwar nur schwach, aber in verschiedenen Winkeln zur Ekliptik geneigt sind. Dadurch zeigen die Extremwerte ihrer Auf- und Untergangszimute sowohl kurz- als auch langperiodische Schwankungen, welche zudem noch von der jeweiligen Zeitepoche abhängen. Diese komplexen Zusammenhänge erklären auch, weshalb präzise prähistorische Planetenpositionen mit rechnergestützten Simulationsläufen ermittelt werden müssen und kaum explizit mit einfachen Formelsätzen berechnet werden können.

### 8.2 Archäoastronomische Venusazimute

Das archäoastronomische Interesse konzentriert sich hier fast ausschliesslich auf die sog. Venusextreme. Bekanntes Beispiel sind entsprechende Untersuchungen über das alte Observatorium El Caracol in den Maya Ruinen von *Chichén Itzá* in Mexiko [20].

Amateurforscher neigen generell schnell dazu, bei Deutungsvorschlägen auch Venusextreme ins Spiel zu bringen, in der Regel immer ohne das Bewusstsein, in welcher komplexen Form dieses Phänomen tatsächlich auftritt! Es scheint deshalb gerechtfertigt, dieses schwierige Thema etwas genauer zu betrachten. Die Venus nimmt unter den Planeten aus folgenden Gründen tatsächlich eine Sonderstellung ein, was die Faszination früherer Kulturen erklären mag.

1. Sie ist in bestimmten Phasen, nach Sonne und Mond, der dritthellste Himmelskörper und kann dann als einziger Planet an einem extrem dunklen Standort theoretisch noch einen sichtbaren Schatten werfen!

2. Von instruierten Personen kann sie während ihren hellsten Phasen auch am Taghimmel aufgefunden werden.
3. Von der Erde aus gesehen entfernt sich Venus scheinbar nie weit von der Sonne, da sie auf einer Innenbahn um die Sonne kreist. Dadurch erscheint sie entweder als „Morgen“- oder „Abendstern“. Dies gilt zwar auch für Merkur. Durch seinen engen Sonnenumlauf bleibt dieser aber meistens in der Abend- oder Morgendämmerung versteckt und ist nur in den Phasen grösster Elongation (Winkelabstand zur Sonne) lediglich unauffällig sichtbar.
4. Die Bahnellipse der Venus ist ca.  $3^\circ 23'$  zur Ekliptik geneigt und weist die mit Abstand geringste Exzentrizität sämtlicher Planetenbahnen auf. Sie läuft daher fast auf einer Kreisbahn um die Sonne [6].
5. Bedingt durch einen himmelsmechanischen Zufall steht die Venus, von der Erde aus gesehen und bezogen auf ein beliebiges Datum, acht Jahre später fast genau wieder an derselben Position! Dies kann mit jedem Planetariumsprogramm (z.B. Winstars oder Redshift) leicht nachvollzogen werden. Zufälligerweise ist die Zeitspanne für fünf synodische Venusumläufe nur ca. 2.32 Tage kürzer als acht tropische Erd-Jahre [4]. Etwas salopp gesagt überholt Venus innerhalb von knapp acht Jahren die Erde 5x auf der „Innenbahn“. So können auch Horizontazimute der Venus nahe den südlichen und nördlichen Extremstellungen nur ca. alle acht Jahre beobachtet werden.

### 8.3 Basiszyklus der Venusextreme

Dieser ca. achtjährige *Basiszyklus* wird hier exemplarisch demonstriert durch die jährlichen nördlichen Deklinationsmaxima  $+\delta_{\max}$  zwischen 1995 und 2007 und die direkt davon abhängigen Auf- und Untergangszimute (Kap. 15). Die *scheinbaren*  $\delta$  Werte sind auf Bogenminuten gerundet, die daraus berechneten Azimute in Dezimalgrad angegeben. Die Zeilen mit maximalen Deklinationswerten sind rot geschrieben, diejenigen mit minimalen blau (Basis: NASA JPL Horizons Simulation im 1h Intervall).

| Datum             | $\delta_{\max}$ | Aufgang       | Untergang      |
|-------------------|-----------------|---------------|----------------|
| 8.7.1995          | +23° 23'        | 53.65°        | 306.35°        |
| <b>5. 5. 1996</b> | <b>+27° 47'</b> | <b>46.03°</b> | <b>313.97°</b> |
| 7.6.1997          | +24° 23'        | 51.97°        | 308.03°        |
| 23.7.1998         | +22° 48'        | 54.62°        | 305.38°        |
| 11.5.1999         | +25° 57'        | 49.28°        | 310.72°        |
| 22.6.2000         | +23° 54'        | 52.78°        | 307.22°        |
| <b>6.8.2001</b>   | <b>+21° 54'</b> | <b>56.10°</b> | <b>303.90°</b> |
| 23.5.2002         | +25° 01'        | 50.89°        | 309.11°        |
| 8.7.2003          | +23° 24'        | 53.62°        | 306.38°        |
| <b>5.5.2004</b>   | <b>+27° 49'</b> | <b>45.97°</b> | <b>314.03°</b> |
| 6.6.2005          | +24° 24'        | 51.94°        | 308.06°        |
| 23.7.2006         | +22° 49'        | 54.59°        | 305.41°        |
| 10.5.2007         | +26° 00'        | 49.19°        | 310.81°        |

Kommentar:

1. In diesem kurzen Zeitrahmen schwanken die jährlichen, nördlichen  $\delta_{max}$  Werte beträchtlich zwischen  $+21^\circ 54'$  und  $+27^\circ 49'$ ! Entsprechend gross ist auch der Streubereich der davon abhängigen Horizontazimute.
2. Sämtliche Deklinationswerte, und somit auch die Horizontazimute, sind jeweils nach ca. acht Jahren wieder fast gleich gross.
3. „Venusextreme“ wiederholen sich dadurch ebenfalls ca. im Achtjahresrhythmus (hier 1996 und 2004).

**8.4 Langperiodischer Zyklus der Venusextreme**

Für archäoastronomische Zwecke muss die Entwicklung dieser Zyklen über sehr lange Zeiträume verfolgt werden. Deshalb wurde hier der Zeitraum von  $\pm 3000$  Jahren nach den extremsten, *scheinbaren* Venusdeklinationen abgesucht, welche sich auf das *Äquinoktium des Datums* beziehen (s. Kap. 12.3). Erwartungsgemäss haben sich dabei die periodischen Achtjahresextreme, infolge des asymmetrisch und schief zur Erdbahn verlaufenden Venusorbits, als *nicht* konstant erwiesen. Die folgende Tabelle zeigt, reduziert auf einige repräsentative Datenpunkte, eine solche Periode, welche hier 251 Jahre dauert, d.h. von 2012 bis 2263 n. Chr. Es ist ersichtlich, wie sich in diesem Zeitraum die nördlichen  $+\delta_{max}$  Werte der Basiszyklen verändern und dass man sich auch bezüglich eines längerfristigen Zeitrahmens von der Vorstellung fix bleibender Venuswenden verabschieden muss! Diese sinken bereits bis 2092 um ca.  $1.4^\circ$  ab, was immerhin fast dem dreifachen scheinbaren Durchmesser der Sonnenscheibe entspricht! Anschliessend steigen sie wieder an, bis zum nächsten Maximum 2263. Die *scheinbaren*  $\delta$  Werte sind auf Bogenminuten gerundet und die daraus berechneten Azimute in Dezimalgrad angegeben (Basis: NASA, JPL Horizons, Simulation im 1h Intervall). Die Zeilen am Anfang und Ende dieser Periode sind rot markiert, der Minimalwert dazwischen blau.

| Datum            | $\delta_{max}$                    | Aufgang                        | Untergang                       |
|------------------|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 5.5.2004         | $+27^\circ 47'$                   | $46.0^\circ$                   | $314.0^\circ$                   |
| <b>5.5.2012</b>  | <b><math>+27^\circ 49'</math></b> | <b><math>46.0^\circ</math></b> | <b><math>314.0^\circ</math></b> |
| 28.4.2060        | $+27^\circ 22'$                   | $46.8^\circ$                   | $313.2^\circ$                   |
| 24.4.2076        | $+26^\circ 58'$                   | $47.5^\circ$                   | $312.5^\circ$                   |
| <b>21.4.2092</b> | <b><math>+26^\circ 26'</math></b> | <b><math>48.4^\circ</math></b> | <b><math>311.6^\circ</math></b> |
| 7.5.2103         | $+26^\circ 36'$                   | $48.2^\circ$                   | $311.8^\circ$                   |
| 7.5.2127         | $+26^\circ 47'$                   | $47.8^\circ$                   | $312.2^\circ$                   |
| 7.5.2151         | $+27^\circ 00'$                   | $47.4^\circ$                   | $312.6^\circ$                   |
| 6.5.2191         | $+27^\circ 23'$                   | $46.8^\circ$                   | $313.2^\circ$                   |
| 8.5.2223         | $+27^\circ 42'$                   | $46.2^\circ$                   | $313.8^\circ$                   |
| 7.5.2247         | $+27^\circ 53'$                   | $45.9^\circ$                   | $314.1$                         |
| 6.5.2255         | $+27^\circ 55'$                   | $45.8^\circ$                   | $314.2^\circ$                   |
| <b>6.5.2263</b>  | <b><math>+27^\circ 57'</math></b> | <b><math>45.7^\circ</math></b> | <b><math>314.3^\circ</math></b> |
| <b>5.5.2271</b>  | <b><math>+27^\circ 57'</math></b> | <b><math>45.7^\circ</math></b> | <b><math>314.3^\circ</math></b> |
| 4.5.2279         | $+27^\circ 55'$                   | $45.8^\circ$                   | $314.2^\circ$                   |

Hier wird u.a. sichtbar, dass sich die Achtjahres-Basiszyklen nach mehreren Jahrzehnten auflösen und langsam in neue übergehen. Dies muss beachtet werden, wenn in Simulationen nach Maximal- oder Minimalwerten gesucht wird! Die beiden maximalen Deklinationswerte von 2012 und 2263 n. Chr. zeigen bereits hier den Trend, dass mit abnehmendem Datum langfristig die maximalen Deklinationswerte kleiner werden (Differenz hier  $-8'$ ).

### 8.5 Die langperiodischen Venuszyklen von 3000 vor bis 3000 n. Chr.

Die folgenden Tabellen zeigen abschliessend die langperiodischen, nördlichen und südlichen *Maximalwerte* der Venusdeklinations über den Zeitraum von  $\pm 3000$  Jahren und bezogen auf das *Äquinoktium des Datums*. Daraus wurden für  $47^\circ$  N die Auf- und Untergangssazimute der Venuswenden errechnet. Die scheinbaren  $\delta$  Werte sind auf Bogenminuten gerundet und die Azimute in Dezimalgrad angegeben. Bei den Daten vor 1582 macht sich der Wechsel vom Julianischen auf den Gregorianischen Kalender bemerkbar. Sie sind hier gemäss *historischer Konvention* angegeben, welche das Jahr 0 mitzählt. Bei einem Vergleich mit *NASA, JPL Horizons* Daten muss daher berücksichtigt werden, dass Ephemeridenprogramme *ohne* das Jahr 0 und somit nach dem "BC/AD System" rechnen. Dies ergibt bei den hier *negativ* angegebenen, „vorchristlichen“ Jahren eine Differenz von einem Jahr.

Beispiele: Jahr 0  $\triangleq$  1BC   Jahr  $-1 \triangleq$  2BC   Jahr 1  $\triangleq$  1AD.



| Nördliche Venus Wenden |                 |              |               |
|------------------------|-----------------|--------------|---------------|
| Datum                  | $\delta$ max    | Auf-gang     | Unter-gang    |
| 6.5.2773               | +28° 12'        | 45.3°        | 314.7°        |
| 6.5.2522               | +28° 04'        | 45.5°        | 314.5°        |
| 6.5.2263               | +27° 57'        | 45.7°        | 314.3°        |
| <b>5.5.2012</b>        | <b>+27° 49'</b> | <b>46.0°</b> | <b>314.0°</b> |
| 4.5.1761               | +27° 42'        | 46.2°        | 313.8°        |
| 25.4.1502              | +27° 35'        | 46.4°        | 313.6°        |
| 26.4.1251              | +27° 28'        | 46.6°        | 313.4°        |
| 27.4.1000              | +27° 22'        | 46.8°        | 313.2°        |
| 29.4.741               | +27° 15'        | 47.0°        | 313.0°        |
| 1.5. 482               | +27° 09'        | 47.2°        | 312.8°        |
| 3.5.223                | +27° 02'        | 47.4°        | 312.6°        |
| 4.5.–28                | +26° 56'        | 47.6°        | 312.4°        |
| 5.5.–287               | +26° 50'        | 47.7°        | 312.3°        |
| 7.5.–546               | +26° 45'        | 47.9°        | 312.1°        |
| 9.5.–805               | +26° 39'        | 48.1°        | 311.9°        |
| 10.5.–1064             | +26° 34'        | 48.2°        | 311.8°        |
| 12.5.–1323             | +26° 29'        | 48.4°        | 311.6°        |
| 14.5.–1582             | +26° 24'        | 48.5°        | 311.5°        |
| 17.5.–1849             | +26° 20'        | 48.6°        | 311.4°        |
| 18.5.–2108             | +26° 15'        | 48.8°        | 311.2°        |
| 20.5.–2367             | +26° 11'        | 48.9°        | 311.1°        |
| 26.5.–2650             | +26° 07'        | 49.0°        | 311.0°        |
| 26.5.–2909             | +26° 03'        | 49.1°        | 310.9°        |

| Südliche Venus Wenden |              |          |            |
|-----------------------|--------------|----------|------------|
| Datum                 | $\delta$ max | Auf-gang | Unter-gang |
| 8.11.2878             | –28° 31'     | 133.6°   | 226.4°     |
| 9.11.2627             | –28° 25'     | 133.4°   | 226.6°     |
| 7.11.2376             | –28° 18'     | 133.2°   | 226.8°     |
| 6.11.2125             | –28° 11'     | 133.0°   | 227.0°     |
| 6.11.1874             | –28° 05'     | 132.8°   | 227.2°     |
| 5.11.1623             | –27° 58'     | 132.6°   | 227.4°     |
| 26.10.1372            | –27° 52'     | 132.4°   | 227.6°     |
| 28.10.1121            | –27° 45'     | 132.2°   | 227.8°     |
| 29.10.870             | –27° 38'     | 132.0°   | 228.0°     |
| 30.10.619             | –27° 31'     | 131.8°   | 228.2°     |
| 31.10.368             | –27° 25'     | 131.6°   | 222.4°     |
| 1.11.109              | –27° 18'     | 131.4°   | 228.6°     |
| 3.11.–142             | –27° 12'     | 131.3°   | 228.7°     |
| 4.11.–393             | –27° 05'     | 131.1°   | 228.9°     |
| 5.11.–652             | –26° 59'     | 130.9°   | 229.1°     |
| 7.11.–911             | –26° 53'     | 130.8°   | 229.2°     |
| 8.11.–1162            | –26° 47'     | 130.6°   | 229.4°     |
| 10.11.–1421           | –26° 41'     | 130.4°   | 229.6°     |
| 11.11.–1680           | –26° 35'     | 130.2°   | 229.8°     |
| 13.11.–1931           | –26° 29'     | 130.0°   | 230.0°     |
| 15.11.–2198           | –26° 24'     | 129.9°   | 230.1°     |
| 17.11.–2465           | –26° 19'     | 129.8°   | 230.2°     |
| 19.11.–2724           | –26° 14'     | 129.6°   | 230.4°     |
| 21.11.–2983           | –26° 09'     | 129.5°   | 230.5°     |

Kommentar:

1. Über den gesamten untersuchten Zeitraum von  $\pm 3000$  Jahren sinken die maximalen Deklinationswerte der langperiodischen Venuszyklen in der Vergangenheitsrichtung stetig ab, wobei sich diese Tendenz gegen das Jahr  $-3000$  etwas abflacht.
2. Die Azimutdifferenz über die gesamte Zeitspanne beträgt  $>3^\circ$ . Sie ist so gross, dass keinesfalls Horizontazimute aktueller Venusextreme auf prähistorische Zeiträume angewendet werden dürfen! Eine entsprechende Deutung erfordert daher mindestens eine glaubhafte Hypothese oder einen archäologischen Hinweis auf das Alter der Anlage.
3. Die scheinbaren  $\delta$ -Werte werden im untersuchten Zeitraum stark durch langperiodische Schwingungen mit einer Länge von 243, 251 oder 259 Jahren beeinflusst.

Die Periodenlänge von 243 Jahren, welche zur Suche nach solchen Werten schon vorgeschlagen wurde [20] und sich an den Serien der Venustransits vor der Sonne orientiert, wird durch die *scheinbaren NASA, JPL Horizons* Koordinaten *nicht* bestätigt. Wenn diese Maximalwerte jedoch nach *astrometrischen* Koordinaten, reduziert auf J2000.0 abgesucht werden, zeigt sich tatsächlich eine Periodenlänge von 235 oder 243 Jahren. Wie in Kap. 12.3 ausgeführt, sind jedoch auf ein fixes Äquinoktium der Gegenwart „reduzierte“ Koordinaten für die Archäoastronomie normalerweise unbrauchbar.

In diesem Zusammenhang interessant ist die Liste der Venustransits von *Fred Espenak* vom NASA Goddard Space Flight Center, in Kollegenkreisen auch scherzhaft "Mr. Eclipse" genannt [30], [31]. Die positiven Deklinationswerte aller Venustransits zeigen in Richtung der Vergangenheit eine noch deutlich stärkere Abnahme als die *maximalen*  $\delta_{\max}$  Werte. Sie sinken relativ stetig von  $\delta = +23.21^\circ$  im Jahr 2984 n. Chr. bis auf  $\delta = +16.16^\circ$  im Jahr 1892 v. Chr. Diese Werte sind konsequenterweise konsistent mit den *scheinbaren (apparent) NASA, JPL Horizons* Daten, welche auch die Venustransits korrekt wiedergeben.

## 8.6 Extremale Horizontazimute und maximale Elongation

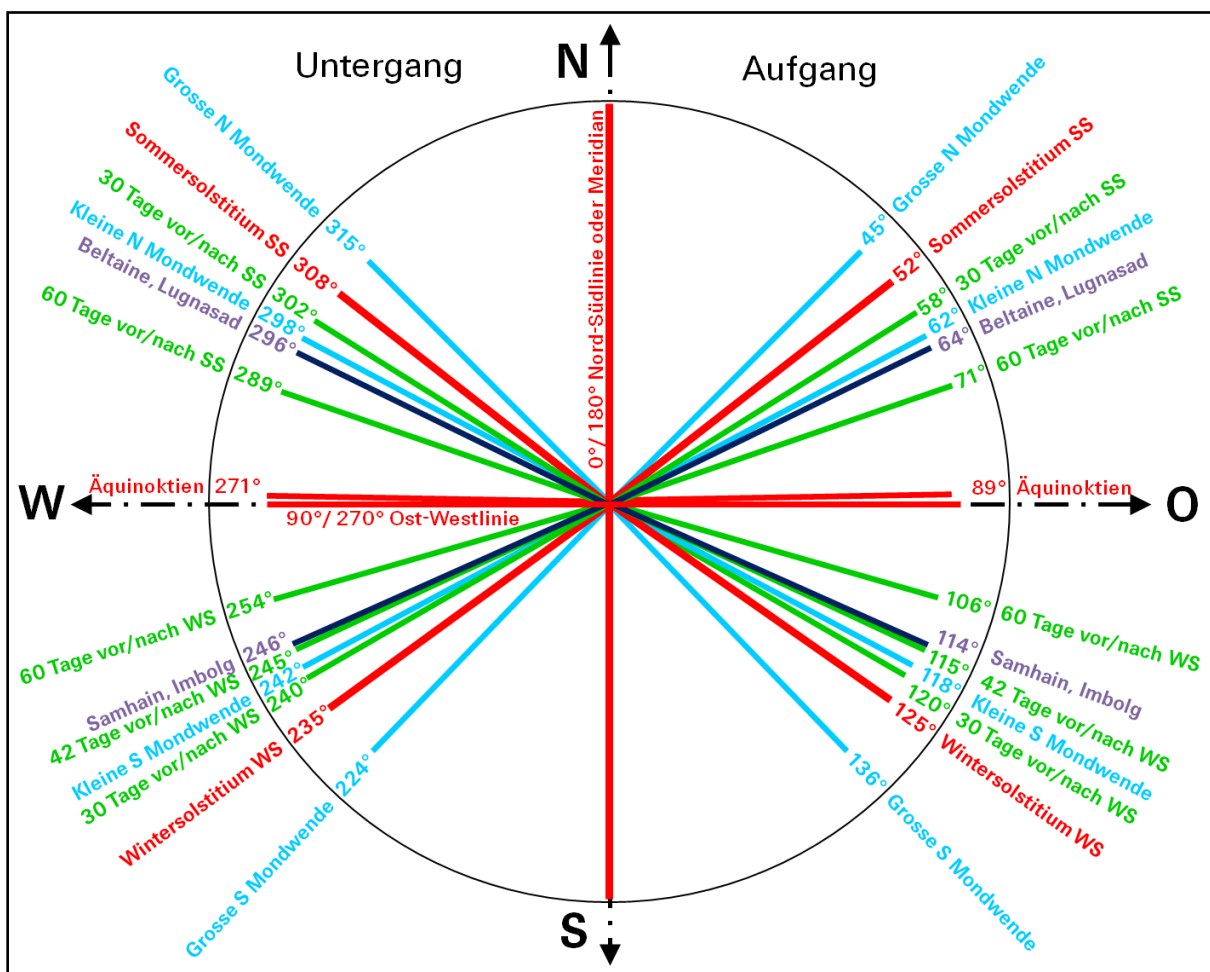
In hier nicht aufgeführten Publikationen wurden schon von Amateuren *fälschlicherweise* die extremen Auf- und Untergangszimute der Venus mit ihrem grössten scheinbaren Winkelabstand zur Sonne von je ca.  $48^\circ$  gleichgesetzt (maximale östliche und westliche *Elongation*)! Abgesehen davon koinzidieren Venuspositionen in maximaler Elongation kaum je mit ihren grössten Deklinationswerten. Beispiel: Am 5.5.2012 hat Venus die grösste nördliche Deklination dieses Zyklus und somit auch für mehrere Jahrhunderte ihre relativ extremsten nördlichen Horizontazimute erreicht. Ihre östliche Elongation wird dann aber gerade mal ca.  $37^\circ$  betragen!

## 8.7 Abschliessendes Fazit zu Venuswenden und Archäoastronomie

Für eine architektonische Linie müssen, neben ihrer Ausrichtung, noch *erstklassige Zusatzargumente* vorliegen, um diese sehr komplex auftretenden Venuswenden seriös als Deutung vorschlagen zu dürfen. So müssten z.B. entsprechende archäologische Befunde vorliegen oder die betreffende Kultur nachgewiesenermassen einen Bezug zur Venus gehabt haben (Beispiel Maya, Chichén Itzá). Zudem muss die fragliche, architektonische Linie *scharf definiert* und keinesfalls lediglich diffus markiert sein. Weiter braucht es mindestens eine glaubhafte Hypothese für das ungefähre Alter der Anlage. Eine X-beliebige Steinsetzung, ohne weitere Hinweise mit Venusextremen in Verbindung zu bringen, muss nicht nur als *hoch spekulativ* sondern schlicht als unseriös bezeichnet werden.

## 9 Zusammenfassende Darstellung der Azimute für 47° N

In der folgenden Grafik sind alle präsentierten Azimutkategorien zusammengefasst, basierend auf 2000 v. Chr. und gerundet auf 1°. Eine solche Darstellung hat Vor- und Nachteile. Einerseits kann so die enorme Konzentration möglicherweise relevanter Azimute demonstriert und effektiv vor dem Risiko von Fehl- oder Überinterpretationen gewarnt werden. So wird auch sichtbar, welche Azimute eng benachbart und somit auch anfällig für Verwechslungen und Fehldeutungen sind. Andererseits besteht die Gefahr, dass diese „Schablone“ nun auf beliebige Objektlayouts gelegt und dann unkritisch ein kunterbunter Deutungsmix aus den unterschiedlichsten Azimutkategorien zusammengebraut wird. Das Problem wird noch dadurch verschärft, dass die relevanten Azimute nicht auf sämtliche Himmelsrichtungen verteilt, sondern symmetrisch zur Nord-Südachse in vier engen Sektoren gebündelt erscheinen. Mit entsprechend grosszügig ausgelegten Toleranzen könnte hier fast jede beliebige Richtung archäoastronomisch „gedeutet“ werden. Ein Ausweg aus diesem Dilemma scheint eine *objektspezifische* Gewichtung der einzelnen Azimutkategorien zu sein, d.h. wohl in vielen Fällen eine klare Priorisierung der solaren Hauptazimute sowie der Haupthimmelsrichtungen. Die Grafik zeigt weiter, dass Ausrichtungen im nördlichen Sektor zwischen 45° und 315°, sowie im südlichen zwischen 136° und 224° nur noch Auf- und Untergangspunkte stellarer Objekte betreffen können oder allenfalls keinen astronomischen Bezug haben. Eine Ausnahme bildet die *Nord-Süd Linie*, welche den Meridian markiert.



Solche Überlegungen münden meist in der Frage, mit welcher Wahrscheinlichkeit bestimmte Azimute absichtlich astronomisch und nicht auf terrestrische Ziele ausgerichtet, oder sogar zufällig so erstellt worden sind. Generell steigt dabei die Wahrscheinlichkeit:

1. mit der Anzahl markierter, archäoastronomisch relevanter Azimute
2. mit der Genauigkeit der Ausrichtung
3. mit der Deutlichkeit wie die Richtung markiert ist
4. je geringer die Zahl der involvierten Azimutkategorien ist (Idealfall z.B. nur solare Haupt- oder Kardinalazimute)

## 10 Exkurs zu den Kalenderformen

Nach der Einführung der Sonnen- und Mondazimute wird ein kurzer und keineswegs vollständiger Abriss über die unterschiedlichen Kalenderformen eingeschoben. Für weiterführende Informationen wird auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen.

### 10.1 Solarkalender

Die zeitliche Basis für die Gruppe der Solarkalender bildet der Erdumlauf um die Sonne, der innerhalb eines sog. Sonnenjahres vollzogen wird und, als entscheidender Vorteil, eine Synchronisation mit den Jahreszeiten ergibt. Die Bestimmung der wichtigen Ecktermine wie z.B. Äquinoktien und Wenden, erfordert mindestens abgesteckte Visurlinien zur Peilung der entsprechenden, solaren Auf- und Untergangszimute. Die *Festlegung* der dazwischenliegenden Zeitintervalle verlangt jedoch zusätzlich das Abzählen von Tagen und somit arithmetische Fähigkeiten. Deshalb gehören solche Solarkalender schon zur fortgeschrittenen Obergruppe der *Arithmetischen Kalender*.

### 10.2 Lunarkalender

Der heute allgemein als Ursprung akzeptierte *Lunarkalender* gehört hingegen noch zur einfachsten Kategorie der *Astronomischen Kalender*. Deren Zyklen beruhen rein auf der Beobachtung und kommen *ohne jegliche Hilfskonstruktionen oder Berechnungen* aus. Beim *Lunarkalender* ist so lediglich die Beobachtung der *Mondphasen* erforderlich, d.h. der synodischen Mondumläufe oder *Lunationen*. Der Mond ist der einzige Himmelskörper, welcher aufgrund seiner Phase *ohne jegliche Hilfsmittel oder -konstruktionen* eine klar sichtbare, tägliche Veränderung erkennen lässt. Anhand seiner Phasenviertel können problemlos die einzelnen Wochen festgestellt und anhand der Phasendetails, mit etwas Übung, auch die Tage noch abgeschätzt werden, dies mit Ausnahme des Vollmondes, welcher zeitlich noch schwieriger genau festzulegen ist als die Neumondphase.

Die Zeitspanne zwischen zwei Neumondphasen heisst *Lunation* und variiert zwischen 29.272 und 29.833 Tagen. Sie ist somit deutlich *kürzer* als ein durchschnittlicher, heutiger Kalendermonat. Deshalb laufen reine *Lunarkalender* zwangsläufig *asynchron* zu den *Solarkalendern* und somit auch zu den Jahreszeiten. Typischer Vertreter eines reinen Lunarkalenders ist der *Islamische Kalender*. Dieser bestimmt z.B. heute noch den sich jedes Jahr verschiebenden Fastenmonat Ramadan.

### 10.3 Stellarer Kalender

Diese einfachen Grundformen konkurrieren mit komplexeren Konzepten, welche mit Schalttagen oder Schaltmonaten operieren. Bereits die Ägypter hatten das Jahr in  $12 \times 30 = 360$  Tage unterteilt. Dieses Raster war hier jedoch *stellar* und *nicht solar* ausgerichtet. Taktgeber und gleichzeitig Neujahrstag war jeweils der erste sichtbare Aufgang des Sirius in der Morgendämmerung, nachdem er für längere Zeit unsichtbar geblieben war. Dieses Ereignis wird auch als *Heliakischer Aufgang* bezeichnet und kündigte dort jeweils den Beginn der Nilflut an. Die fehlenden fünf Tage zu 365 wurden als Schalttage deklariert und *Epagomene* genannt. Sie wurden keinem Monat zugeordnet und als Geburtstage der Götter gefeiert [2], [5]. Der Gegenpol zum *Heliakischen Aufgang* bildet der *Akronychische Untergang*, d.h. die letzte Sichtbarkeit eines Gestirnes in der Abenddämmerung. Dass diese Korrektur noch nicht genügt – die sog. *tropische Jahreslänge* des solaren Kalenders beträgt ca. 365.242 Tage – hatten bereits die Ägypter, u.a. an der sich progressiv verspätenden Nilflut bemerkt. Ptolemaios III wollte dieses Problem lösen. 237 v. Chr. hat er sich, allerdings nur kurzzeitig, gegen den Widerstand der Priesterschaft durchgesetzt und alle 4 Jahre einen zusätzlichen Schalttag eingeführt. Dies wurde dann erst viel später durch Julius Cäsar (*Julianischer Kalender* 45 v. Chr.) und dann auf Erlass von Kaiser Augustus, 26 v. Chr. definitiv umgesetzt.

## 10.4 Die Gregorianische Kalenderreform

Der Weg zu unserem heutigen *Solarkalender* führte noch über die Kalenderreform von Papst Gregor VIII im Jahr 1582 n. Chr. Zu dieser Zeit hatte sich das Frühlingsäquinoktium bereits um 10 Kalendertage verspätet. Pragmatischerweise wurden deshalb die 10 Tage zwischen dem 4. und 15. Oktober 1582 einfach ausgelassen und zusätzlich ein Regelwerk mit weiteren Schalttagen eingeführt. Diese übersprungenen Tage müssen z.B. bei der Patroziniumsforchung berücksichtigt werden, falls die untersuchte Kirche vor diesem Datum errichtet wurde. Dies ist z.B. bei der Abklärung relevant, ob die Längsachse eines Kirchenschiffs allenfalls auf den Sonnenaufgang am Namenstag des Schutzheiligen ausgerichtet worden sein könnte.

Im Zeitalter der Atomuhren wird die präzise Jahressynchronisation unspektakulär mit zusätzlichen Schaltsekunden bewerkstelligt. Dazu sind zwar internationale Abkommen aber keine päpstlichen Bullen mehr nötig.

## 10.5 Lunisolarkalender

Zwangsläufig kompliziert sind die *Lunisolarkalender*, da sie mit eingeschobenen Schaltmonaten den reinen *Lunarkalender* mit dem Sonnenjahr „synchronisieren“ [4]. Ein heute noch gebräuchlicher Vertreter ist der *Jüdische Kalender*, welcher diesen Angleich mit komplexen Schaltregeln anstrebt.

## 10.6 Weitere Formen Lunarer,-Solarer- und-Planetarer Kalender

M. Kerner [4] postuliert für die Bronzezeit noch weitere, z.T. sehr komplexe und etwas spekulativ erscheinende Kalenderformen, meistens gestützt auf Kerb- und Ritzmusteranalysen archäologischer Fundstücke (Steinbeile, Kerbhölzer etc.). Als Intervallgeber identifiziert er dabei diverse astronomische Phänomene, welche im Sonnensystem periodisch auftreten:

5. Als Taktgeber bei den *Planetaren Kalendern* die periodisch auftretenden Oppositions- und Konjunktionsmuster, unter der Beteiligung der hellen Planeten Venus, Mars, Jupiter und Saturn.
6. Als Intervall bei den *Mondknotenkalendern* die Umlaufszeit der Mondknotenlinie (ca. 18.61 Jahre).
7. Bei den *Luni-Solar-Planetaren Kalendern* die Kombination von nicht weniger als drei verschiedenen „Intervallgebern“, d.h. die *synodischen Mondumläufe* (Lunationen) und die *Sonnenumläufe* von *Erde* und *Venus*. Für die „Synchronisation“ dieser unterschiedlichen Taktlängen postuliert er langperiodische Schwebungen [4].

Solche komplexen Systeme hatten mit Sicherheit keine alltagspraktische Bedeutung und mögen allenfalls für eine sehr kleine, hochspezialisierte Elite interessant gewesen sein.



## 11 Vermessungstechnische Aspekte

Hier werden einige einfache Verfahren vorgestellt, welche für typische Vermessungsaufgaben in der Archäoastronomie angewendet werden.

### 11.1 Das Messen von Azimuten

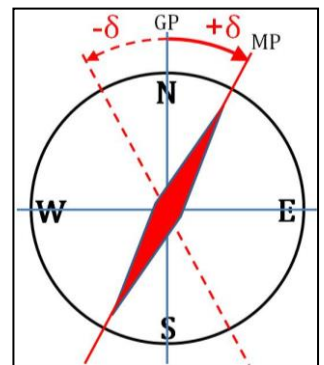
Das Wort „Azimut“ entstammt dem Arabischen *as sumut*, was „die Wege“ bedeutet. Wichtig für die Archäoastronomie ist das kartografische oder nautische Azimutsystem, welches heute weltweit auch in Astronomie, Luft- und Seefahrt, Meteorologie etc. angewendet wird. Es wird auch „Nordazimut“ genannt und ist der im Uhrzeigersinn gemessene Winkel zwischen Geografisch-Nord und einer beliebigen Richtung, beginnend von Nord 0°, über Ost 90°, Süd 180°, West 270°, bis Nord 0° (360°).

Die meisten Amateurforscher messen heute Azimute mit speziellen Peilkompassen, wie sie z.B. von den Firmen *Suunto* oder *Thommen* hergestellt werden. Dies ist z.B. für die Vermessung von Steinsetzungen meistens adäquat. Durch leichtes Schwenken um den Zielpunkt muss vor jeder Ablesung sichergestellt werden, dass die Skalenscheibe im Ölbad freischwimmen kann. Durch die Montage auf einem Stativ kann die Genauigkeit noch etwas gesteigert werden. Zudem gilt die eiserne Vermessungsregel: *Eine Messung ist keine Messung!* Ideal sind hier mehrere gemittelte Ablesungen. Sind präzisere Messungen erforderlich, muss der Theodolit eingesetzt werden. Normale Wanderkompassse, wie die legendäre *Recta Bussole*, sind für solche Zwecke generell zu ungenau.

Messungen innerhalb von Siedlungsgebieten, aber auch im Bereich von Stromleitungen und Bahnlinien, können durch magnetische Einflüsse massiv gestört werden. Dies ist speziell bei der Vermessung von Kirchenschiffen zu beachten, wo z.B. Dachabläufe, eiserne Tore und Elektroinstallationen die Ergebnisse massiv verfälschen können. In solchen Fällen hilft häufig eine Peilung aus grösserer Distanz entlang einer Fassade oder über den Dachgiebel des Objekts. Google Earth ist für die grobe Überprüfung eines solchen Azimuts geeignet aber nur bedingt für eine eigentliche Messung brauchbar.

Die Abweichung einer magnetischen Azimutmessung zwischen dem geografischen Nordpol GP und dem magnetischen- MP wird *magnetische Deklination*  $\delta$  oder „Missweisung“ genannt und darf keinesfalls mit der Deklination  $\delta$  eines Himmelskörpers verwechselt werden.

Abhängig vom geografischen Standort und auch ungeachtet der oben erwähnten Störeinflüsse, kann dieser Wert gebietsweise stark abweichen. Infolge der dauernden Wanderbewegung des Magnetischen Poles sind in naher Zukunft, sowohl für die Schweiz als auch für Deutschland, zunehmend *östliche Deklinationen* zu erwarten, welche in diesem Fall zur Azimutmessung addiert werden müssen.

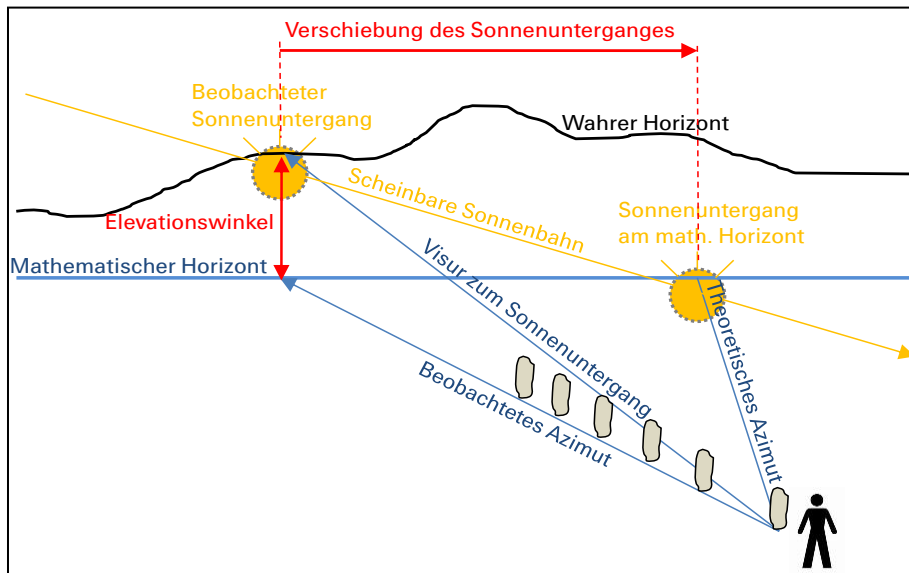


In bestimmten Gegenden können zudem noch stärkere *lokale Anomalien* das Messergebnis beeinflussen. Im Zweifelsfall ist es empfehlenswert zwischen zwei Punkten mit bekannten Koordinaten ein Kontrollazimut zu messen. Für die Schweiz können diese Werte unter [24] und für Deutschland unter [25] gefunden werden können. Die Website der NOAA bietet eine globale Übersicht auf dieses Phänomen und ermöglicht die weltweite Bestimmung der aktuellen Deklination für beliebige Koordinaten [26].

Alternativ zu diesen Methoden kann auch der *Zeitpunkt* bestimmt werden, *wann* die Visur zur Sonne, oder ein damit verbundener Schatten, sich mit der zu vermessenden Linie deckt. Dann werden zusätzlich noch die *Standortkoordinaten* und die *Meereshöhe* benötigt, um mit einem Planetariumsprogramm das Azimut (und die Elevation) der Sonne und somit auch die Ausrichtung der Linie zu bestimmen.

### 11.2 Einfluss des Landschaftshorizontes auf die Azimute

Damit die *praktisch gemessenen*- mit den, *theoretischen Azimuten* vergleichbar werden, müssen sie zuerst vom Landschafts- auf den *mathematischen Horizont*, umgerechnet oder „reduziert“ werden. Diese Korrektur erfolgt hier gemäss [33] und wirkt, sowohl für die Aufgangs- als auch die Untergangszimute, meistens in *nördlicher* Richtung. Der mathematische Horizont ist aus topografischen Gründen meistens unsichtbar und wird am entsprechenden Standort durch eine horizontale Tangentialebene an eine virtuelle, völlig glatte Erdkugel, definiert.



In einzelnen Fällen liegt der Landschafts- unterhalb des mathematischen Horizontes, z.B. beim Ausblick von einem hohen Berg auf eine sehr grosse Ebene oder das Meer. Infolge des abgesenkt erscheinenden Horizontes muss hier die Korrektur in der umgekehrten Richtung erfolgen. Solche Werte *unterhalb* des mathematischen Horizontes nennt man in der Astronavigation „*Kimmtiefe*“. Für die Archäoastronomie stellt sich schliesslich noch die wichtige Frage, ob und um welchen Betrag sich eine beobachtete Horizonthöhe bis heute verändert haben könnte (Vegetation, Erosion). Dieser Korrekturbetrag kann am einfachsten mit dem *Berechnungstool Archäoastronomie*, Tab. 6 ermittelt werden [33].

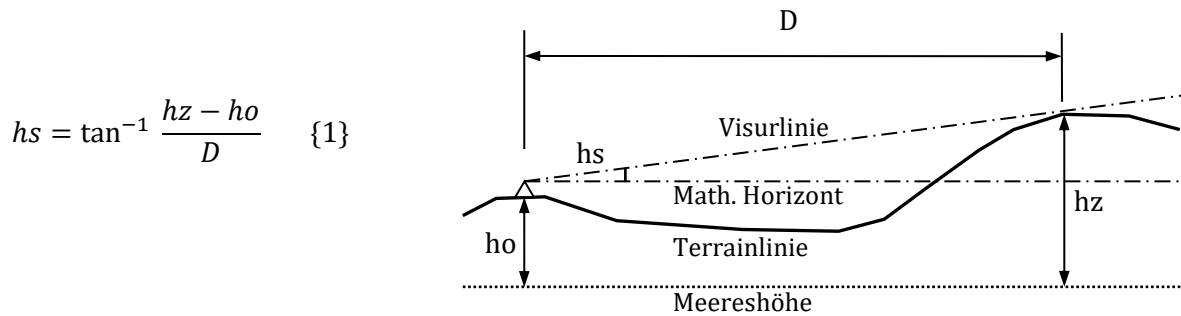
### 11.3 Das Messen von Längen und Höhen

Grössere Distanzen und Meereshöhen können, für die meisten archäoastronomischen Anwendungen mit hinreichender Genauigkeit, aus topografischen Karten mit grossem Massstab (z.B. 1:25'000) gemessen resp. abgelesen werden. Mit den Messwerkzeugen der heutigen Online-Karten lässt sich auch das zugehörige Azimut ermitteln, oder sogar mit einer Distanzmessung kombinieren. Für kürzere Abstände sind Messbänder oder entsprechende Lasergeräte einsetzbar.

### 11.4 Azimut und Elevation des Landschaftshorizontes

Die Kenntnis der *scheinbaren*, d.h. real zu beobachtenden Horizonthöhe, hier ausgedrückt als *Vertikalwinkel*  $hs$ , ist für viele archäoastronomische Aufgaben essentiell. Sie kann z.B. mit Theodoliten, Sextanten oder Klinometern (Neigungsmesser) gemessen werden. Alternativ kann dieser Wert auch aus der Landeskarte errechnet werden. Dazu müssen folgende Werte herausgelesen oder gemessen werden:

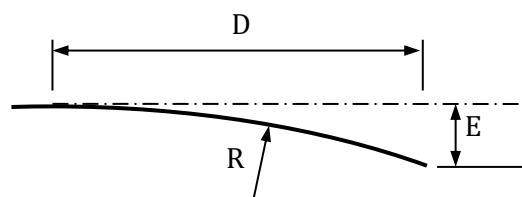
- die geodätische Kartenhöhe (oder Höhenmesserablesung) am Objektstandort  $ho$
- die geodätische Kartenhöhe (oder Höhenmesserablesung) am Horizontpunkt  $hz$
- Die Horizontaldistanz  $D$



Für die meisten archäoastronomischen Anwendungen kann für  $hs$ , bei kurzen Distanzen  $< 10$  km, sowohl die Absenkung des Zielpunktes durch die *Erdkrümmung*, als auch die geringe Anhebung infolge der atmosphärischen *Refraktion*, vernachlässigt werden (Höhenfehler  $< 7$  m). Für grössere Distanzen wird es aber zunehmend wichtiger, diese Einflüsse zu berücksichtigen, da die scheinbare Horizontabsenkung  $E$  mit dem Quadrat der Entfernung exponentiell anwächst. Für die gesamte W-O Ausdehnung der Schweiz von ca. 349 km, beträgt  $E$  doch erstaunliche 8300 m! Stünde z.B. der Mt. Everest in Genf, könnten vom Bodensee aus gerade noch die obersten paar hundert Meter der Gipfelpartie gesehen werden. Die Schweizerische Landestopografie [29] schlägt dazu folgende *Näherungsformel* vor, welche mit dem Faktor 0.87 auch noch den Fehler durch die atmosphärisch bedingte Refraktion reduziert.

$R$  ist der Erdradius mit 6'370 km.

$$E = \frac{0.87 \cdot D^2}{2R} \quad \{2\}$$



Diese Näherungsformel gilt nur für  $D \ll R$

Die scheinbare Horizontabsenkung  $E$  muss für diesen Fall nun noch von  $hz$  abgezogen werden und verkleinert somit den scheinbaren Horizontwinkel  $hs$ . Diese Subtraktion lässt unberücksichtigt, dass die Lotrichtungen am Objektstandort und am Horizontpunkt nicht parallel verlaufen, da beide ungefähr auf den Erdmittelpunkt zeigen. Dieser Effekt kann aber als Näherung für unsere Zwecke problemlos vernachlässigt werden. Für  $hs$  [°] gilt dann:

$$hs = \tan^{-1} \frac{hz - ho - \frac{0.43D^2}{6'370'000}}{D} \quad \{3\}$$

Alle Variablen müssen in dieser Formel in [m] eingesetzt werden! " $\tan^{-1}$ " ist die moderne Notationsform für die Umkehrfunktion *Arcus Tangens*.

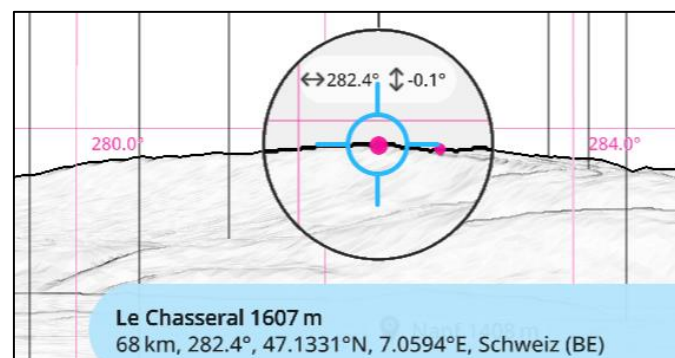
### 11.5 Bestimmung der Horizontelevation mit Softwareunterstützung

Diese Werte lassen sich heute auch elegant mit Softwareunterstützung ermitteln. Getestet wurde hier "*Peakfinder*" der Peakfinder GmbH des Schweizer Softwareentwicklers und Outdoor Experten Fabio Soldati. Basierend auf digitalen Geländemodellen können hier für weltweit beliebige Standorte, und ohne Berücksichtigung der Vegetation, der lokale Landschaftshorizont, bezeichnet mit den wichtigsten Gipfelnamen, dargestellt werden. Diese sehr geschätzte und weitverbreitete Applikation wurde in erster Linie für Bergsteiger zur Gipfelidentifikation entwickelt und kann für einen geringen Betrag auf das Smartphone geladen werden.

Die "stationäre" Version für PC und Laptops [27] ist kostenfrei und wurde vom Autor positiv auf ihre Eignung für die Archäoastronomie in der Schweiz getestet.

- Für beliebig wählbare, und selbst bewaldete oder überbaute Standorte, lässt sich der theoretisch sichtbare Landschaftshorizont darstellen
- Der Panoramawinkel lässt sich von ca.  $110^\circ - 7^\circ$  zoomen
- Für einen beliebigen Horizontpunkt lassen sich mit einem Messwerkzeug Azimut und Elevation bestimmen. Die getestete, hohe Genauigkeit zeigt, dass hier sowohl die Erdkrümmung als auch Refraktionseffekte berücksichtigt werden.
- Zusätzlich lassen sich der mathematische Horizont, sowie die scheinbare Sonnen- und Mondbahn auch längst vergangener Daten einblenden.

Die Abbildung unten zeigt die stark gezoomte Horizontdarstellung des Chasseral, visiert vom Standort des Napf-Gipfels. Die dünne, violette Linie ist der mathematische Horizont. Das mit Klick auf die Horizontlinie eingeblendete Messwerkzeug "digitales Teleskop" ergibt für den Chasseral-Gipfel ein Azimut von  $282.4^\circ$  und eine Elevation von  $-0.1^\circ$  unterhalb des mathematischen Horizonts.



Unter diesen Icons können der Standort gewählt sowie zusätzliche Funktionen eingeblendet werden,



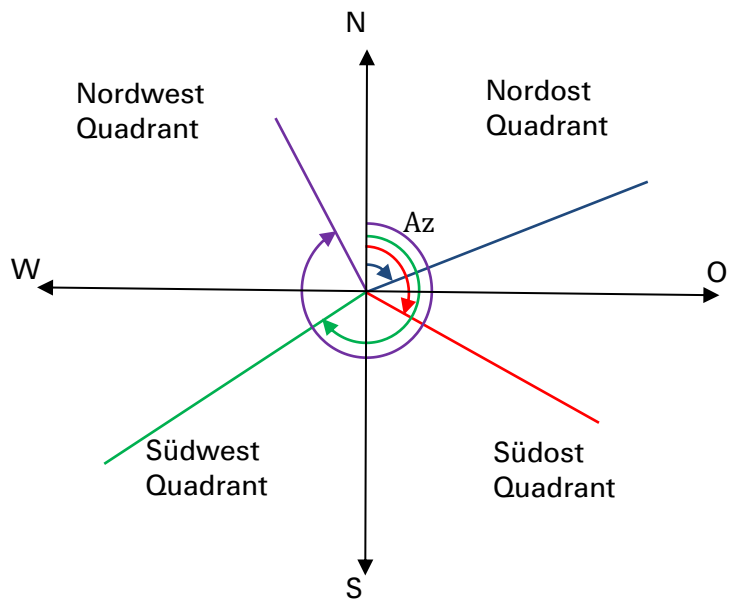
### 11.6 Die Bestimmung von Azimuten bei obstruierter Visur

In der Praxis kommt es oft vor, dass Azimute bestimmt werden müssen, deren Visurlinien heute durch Bäume, Gebäude etc. verstellt sind. Hier wird deshalb gezeigt, wie man – nur basierend auf den Standort- und Zielkoordinaten – das Azimut errechnen kann. Dieses Verfahren ist erst ab Distanzen von mehreren hundert Metern empfehlenswert, da sich dann Ungenauigkeiten bei der Koordinatenbestimmung nur noch reduziert auf das errechnete Azimut auswirken. Dringend abzuraten ist daher vor Azimutberechnungen zwischen zwei Punkten im Kurzdistanzbereich, deren Koordinaten mit gewöhnlichen GPS Geräten ermittelt worden sind.

Zuerst müssen die Koordinatendifferenzen dieser Punkte in W-O Richtung =  $\Delta Y$ , und in N-S Richtung =  $\Delta X$  errechnet werden. Im Gegensatz zur mathematischen Konvention bezeichnet beim *Swiss Grid*:

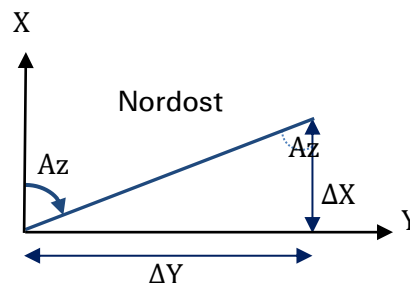
- Y die „horizontale“, W-O verlaufende Koordinatenachse,
- X die „vertikale“, S-N verlaufende.

Weiter muss bestimmt werden, in welchem *Quadrant* die Visurlinie verläuft (Abb. rechts).



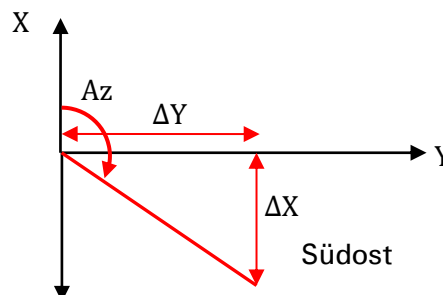
Fall 1: Nordost Quadrant:

$$Az_{NO} = \tan^{-1} \frac{\Delta Y}{\Delta X} \quad \{4\}$$



Fall 2: Südost Quadrant:

$$AZ_{SO} = \tan^{-1} \frac{\Delta X}{\Delta Y} + 90^\circ \quad \{5\}$$



Fall 3: Südwest Quadrant: = Berechnung analog Formel {4} (Nordost Quadrant) + 180°

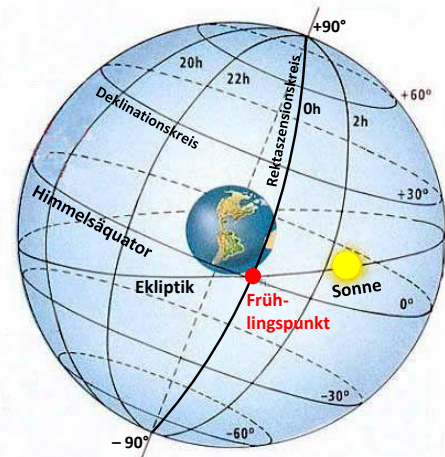
Fall 4: Nordwest Quadrant: = Berechnung analog Formel {5} (Südost Quadrant) + 180°

## 12 Das äquatoriale Koordinatensystem

### 12.1 Einführung und Begriffe

Dieses Koordinatensystem spielt auch für die Archäoastronomie eine entscheidende Rolle, zum Verständnis der Sonnen- und Mondwenden, und ist unverzichtbare Grundlage für die Berechnungsverfahren, welche in den nächsten Kapiteln noch erläutert werden.

Am einfachsten denkt man sich zuerst das Muster des irdischen Koordinatensystems mit seinen Längen- und Breitengraden an die *Himmelssphäre* projiziert. Dies ist eine gedachte Kugel mit unendlich grossem Radius und der Erde als Mittelpunkt (siehe Grafik). Dadurch erhält man *der Form nach* bereits das *Äquatoriale Koordinatensystem*. Die Bezeichnung der einzelnen Elemente, sowie die Referenzpunkte dieses Koordinatensystem sind allerdings verschieden:



1. Der Äquator wird zum Himmelsäquator
2. Der irdische Längengrad wird zur *Rektaszension* (*RA* oder  $\alpha$ ) und anstelle von Grad mit Stunden, Minuten und Sekunden gemessen.  $360^\circ = 24\text{h}$  und  $15^\circ = 1\text{h}$ .
3. Der irdische Referenzpunkt des Längengrades von Greenwich kann hier nicht verwendet werden, da die Erde gegenüber dem Fixsternhimmel ständig rotiert. Er wird durch den *Frühlingpunkt* ersetzt, bei welchem die Sonne auf ihrer scheinbaren Bahn, der *Ekliptik*, den Himmelsäquator von Süd nach Nord überschreitet.
4. Die Rektaszension des Frühlingpunktes beträgt  $RA = 0\text{h}$ . Die RA wird von hier aus in Ostrichtung gemessen.
5. Das Pendant zum irdischen Breitengrad wird hier *Deklination* oder  $\delta$  genannt. Die Deklination des Himmelsäquators beträgt  $0^\circ$ , analog zum Breitengrad des irdischen Äquators. Von hier aus werden die Deklinationen gemessen, in nördlicher Richtung positiv (+), in südlicher negativ (-). Die Deklination für den Himmelsnordpol (nahe des Polarsterns) beträgt  $+90^\circ$  und für den Himmelssüdpol  $-90^\circ$ .

### 12.2 Das Standardäquinoktium J2000.0

Der Frühlingpunkt, als Ursprung des Koordinatensystems, ist bezüglich des Fixsternhintergrundes *nicht stationär*. Infolge der Präzessionseffekte (Kap. 13) verschiebt er sich kontinuierlich. Äquatorialkoordinaten werden deshalb für *Sternkarten* und *-kataloge* mit einem „normierten“ *Bezugszeitpunkt* definiert, welcher in Anlehnung an den Frühlingpunkt als *Äquinoktium* bezeichnet wird. Das gegenwärtige *Standardäquinoktium* basiert auf dem 1.1.2000, 12h UT [7]. Die Bezeichnung dafür lautet *ICRS J2000.0* (International Celestial Reference System). In diesem System werden die zu einem bestimmten Zeitpunkt = „Epoche“ beobachteten Koordinaten mit einem „Kunstgriff“ auf das Datum des *Standardäquinoktiums* „reduziert“ resp. in die „*astrometrischen Koordinaten*“ umgerechnet [7]. Diese Verschiebung erfolgt mit einem *standardisierten* Präzessionsbetrag, welcher nicht dem tatsächlichen entspricht (Kap. 13.2). In den Settings von *NASA, JPL Horizons* wird diese Konvention mit „*Astrometric RA & DEC*“ bezeichnet. Sie wird benötigt, wenn z.B. Planetenpositionen in eine Himmelskarte des Standardäquinoktiums eingetragen werden sollen [7].



### 12.3 Das Äquinoktium des Datums

Für die meisten *archäoastronomischen Abklärungen* sind jedoch Positionen erforderlich, bezogen auf das Koordinatensystem, welches dem Äquinoktium der zu untersuchenden Beobachtungszeit oder Epoche entspricht. Diese Koordinaten werden auch „*Scheinbare Koordinaten*“ genannt [7], nicht weil sie „falsch“ wären, sondern den real beobachtbaren Werten in einer bestimmten Epoche entsprechen. Diese Konvention ist deshalb für archäoastronomische Abklärungen geeignet, weil nur so die damaligen Horizontstände der Gestirne ermittelt werden können. In den Settings des *NASA JPL Horizons* Programms wird diese Koordinatenkonvention mit „*Apparent RA & DEC*“ bezeichnet.

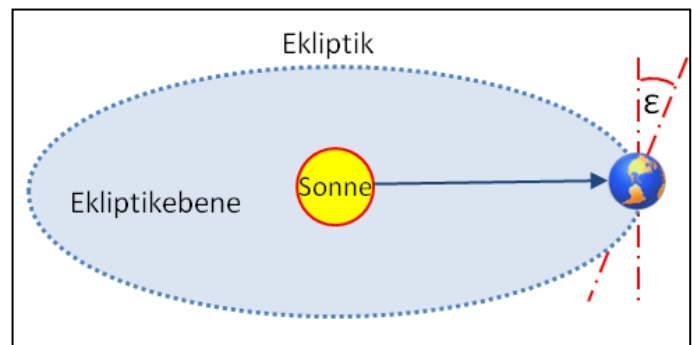
### 12.4 Der astronomische Begriff „Scheinbar“

„*Scheinbar*“ im astronomischen Sinn ist ein technischer Ausdruck, welcher die *real beobachtbare* Natur des betreffenden Phänomens betont und sie so von rein rechnerischen Größen absetzt. Beispiel: der *scheinbare* Sonnenaufgang.

## 13 Präzession und Schwankung der Ekliptiksschiefe

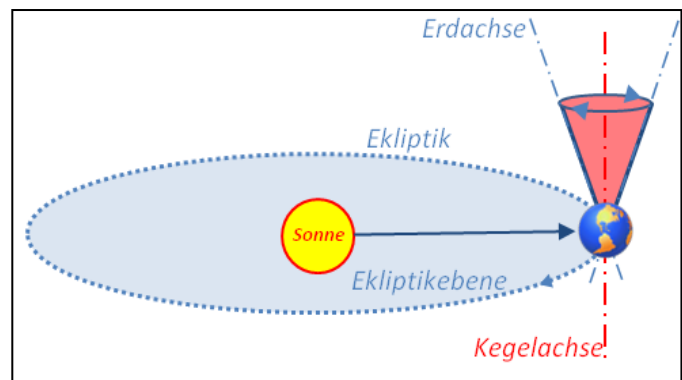
### 13.1 Einführung und Begriffe

Von der Erde aus betrachtet ist die *Ekliptik* die Projektion der scheinbaren Sonnenbahn auf die Himmelskugel. Vom Weltraum aus gesehen spannt die Erde auf ihrer Umlaufbahn um die Sonne die *Ekliptikebene* auf. Die Rotationsachse der Erde ist gegenüber der Senkrechten um den Winkel  $\varepsilon$  geneigt, welcher auch *Ekliptiksschiefe*  $\varepsilon$  genannt wird. Sie ist über sehr lange Zeiträume variabel und beträgt gegenwärtig ca.  $23.44^\circ$ .



### 13.2 Lunisolare Präzession

Dieser Effekt wird durch eine Taumelbewegung der Erdachse verursacht, welche innerhalb von ca. 25'800 Jahren die Form eines Kegelmantels beschreibt. Er wird so genannt, weil dieses Bewegungsmuster vorwiegend durch den gravitativen Einfluss von Sonne und Mond verursacht wird [6]. Er hat auf die Deklinationswerte und damit auch auf die Horizontazimute von Sonne und Mond keinen Einfluss, weil die Spitze des Präzessionskegels im Erdzentrum liegt und dessen *Achse senkrecht* auf der Ekliptikebene steht. Dieser Effekt verändert aber im Laufe der Zeit dramatisch die Sichtbarkeit des Fixsternhintergrundes und in deutlich geringerem Ausmass auch der Planeten, welche gegenüber der Erdbahn auf asymmetrischen und unterschiedlich geneigten Ellipsenbahnen um die Sonne kreisen.



Eine standardisierte Form dieser zeitlich leicht variabel verlaufenden Präzessionsform wird zur Reduktion von Äquatorialkoordinaten einer bestimmten Epoche auf das Datum eines *Standardäquinoktiums* verwendet (siehe Kap. 12.2). Dabei wird u.a. eine konstante Ekliptiksschiefe  $\varepsilon$  angenommen.

### 13.3 Nutation und Planetare Präzession

Unter dem Begriff *Nutation* werden in erster Linie sehr schwache, kurzperiodische Schwingungen der Erdachse aufgeführt, welche durch die Mondumläufe sowie den Umlauf der Mondknotenlinie verursacht werden. Sie können für unsere Zwecke vernachlässigt werden.

Die Ekliptiksschiefe  $\varepsilon$  bleibt über sehr lange Zeiträume nicht konstant, sondern schwankt innerhalb von ca. 41'050 Jahren periodisch zwischen ca.  $21^\circ 55'$  und  $24^\circ 18'$ . Diese Schwankung ist für uns sehr wichtig, weil sie auch die *Deklinationswerte*  $\delta$  von Sonne und Mond und die damit gekoppelten Auf- und Untergangszimute, um geringe Beträge verändert. Hauptursache dafür sind gravitative Einflüsse der Planeten, weshalb dieser Effekt häufig als *Planetare Präzession* bezeichnet wird. Verschiedene Quellen, u.a. [7] aber auch *NASA JPL Horizons* subsumieren diesen unter „*Nutationseffekte*“.

### 13.4 Allgemeine Präzession

Die Summe von *lunisolarer und planetarer Präzession* wird als *Allgemeine Präzession* bezeichnet. Dieser *Gesamteffekt* führt zu einer Bewegung des Äquinoktiums um ca. 50.256" pro Jahr.

### 13.5 Ekliptiksschiefe und archäoastronomische Berechnungen

Der Begriff Ekliptiksschiefe  $\varepsilon$  wurde bereits in Kap. 13.1 eingeführt. Für unsere Zwecke entspricht  $\varepsilon$  mit genügender Genauigkeit dem *Absolutbetrag* der maximalen Sonnendeklination  $\delta_{max}$ , d.h.

$$\varepsilon \approx |\delta_{max_{Sonne}}| \quad \{6\}$$

Wenn wir also  $\varepsilon$  für einen früheren Zeitpunkt bestimmen können, kennen wir gleichzeitig auch die damalige, maximale Sonnendeklination, der Schlüssel zur Berechnung der extremen Horizontazimute!

Zusätzlich können mit diesem  $\varepsilon$ -Wert für eine Epoche noch näherungsweise die maximale und minimale Monddeklinaton und die damit verbundenen extremen Horizontazimute der grossen und kleinen Mondwenden berechnet werden (s. Kap. 14.4 und 14.5). Dieser Effekt wird auch im *Berechnungstool Archäoastronomie* Tab. 8 [33] verwendet.

Die Schwankung der Ekliptiksschiefe wird seit sehr langer Zeit beobachtet. Keine geringeren als die Mathematiker Euler, Laplace, Lagrange und Le Verrier haben sich bereits im 18.- und 19. Jahrhundert mit der mathematischen Beschreibung dieser Schwingung befasst. Das ständige Bestreben, deren Genauigkeit zu erhöhen, dauert bis heute an. Die folgende Formel stammt aus [3] und [7]. Sie liefert mit einem Polynom 3. Grades die mittlere Schiefe der Ekliptik, angenommen durch die IAU (International Astronomical Union). Holger Filling hat sie noch so umgewandelt (Dezimalgrad, 10er Potenzen), dass sie für Taschenrechner praktikabel wird.

$$\varepsilon = 23.43929111^\circ - 0.01300416^\circ \cdot T - 1.638^\circ \cdot 10^{-7} \cdot T^2 + 5.0361^\circ \cdot 10^{-7} \cdot T^3 \quad \{7\}$$

Hier muss für  $T$  der Wert in „*Julianischen Jahrhunderten*“, gemessen ab der Epoche J2000.0 eingegeben werden. Für 2000 v. Chr. wäre das bspw.  $-40$ . Das Julianische Jahrhundert wird im Kontext mit Ephemeriden häufig verwendet und kann für unsere Zwecke mit 100 tropischen Jahren gleichgesetzt werden [7].

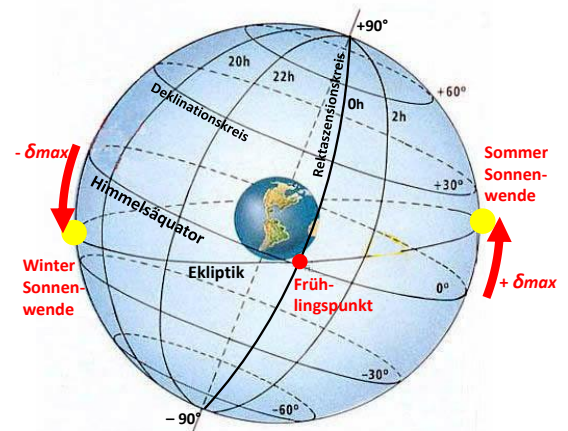
Vorsicht: Die Vorzeichen für  $T$  müssen unbedingt berücksichtigt und in der Formel algebraisch korrekt angewendet werden! Prähistorische  $\varepsilon$  Werte können auch aus Diagrammen diverser Publikationen entnommen werden [1].

## 14 Definition der Solstitien, Äquinoktien und Mondwenden

### 14.1 Astronomische Definition der Solstitien (Sonnenwenden)

Zum Zeitpunkt des *Sommersolstitiums* (ca. 21. Juni) erreicht die Sonnendeklination  $\delta$  exakt ihren grössten nördlichen (+) Wert von gegenwärtig ca.  $+23^\circ 26'$ . Dieser Termin bedingt auf der Nordhalbkugel auch den höchsten Horizontstand der Sonne.

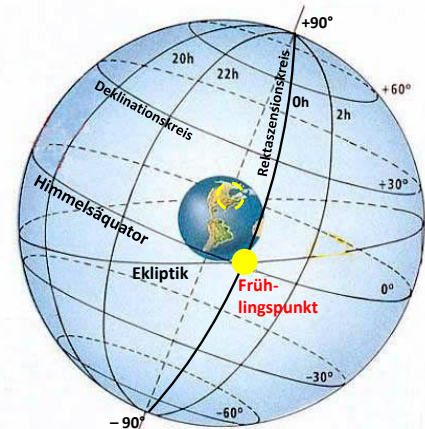
Zum Zeitpunkt des *Wintersolstitiums* (ca. 21. Dezember) erreicht die Sonnendeklination  $\delta$  ihren grössten südlichen (-) Wert von gegenwärtig ca.  $-23^\circ 26'$ . Dieser Termin bedingt auf der Nordhalbkugel den niedrigsten Horizontstand der Sonne.



### 14.2 Astronomische Definition der Äquinoktien

Zum Zeitpunkt der Äquinoktien oder Tag- und Nachtgleichen (lat. *aequus* > gleich und *nox* > Nacht), überschreitet die Sonne auf der Ekliptik den Himmelsäquator, d.h. im Frühling (ca. 21. März) von Süd nach Nord und im Herbst (ca. 22. September) von Nord nach Süd. Der Herbstpunkt ist auf der Grafik unsichtbar, da er durch die Erdkugel verdeckt wird.

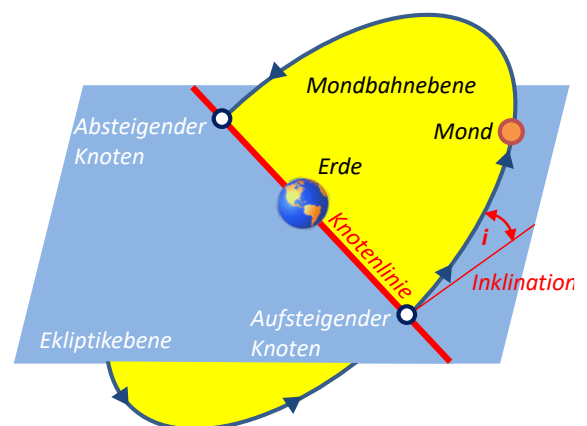
Somit beträgt die Sonnendeklination für die Äquinoktien im Frühling und Herbst  $\delta = 0^\circ$ .



### 14.3 Astronomische Definition der Mondwenden

Als erster, pragmatischer Ansatz zur Bestimmung der Mondwende könnte der Zeitpunkt festgelegt werden, bei welchem während eines siderischen Mondumlaufs die extremsten Horizontstände beobachtet werden. In Kap. 5.3 wurde jedoch demonstriert, wie zeitlich diffus diese Konstellationen wirklich auftreten.

Die *himmelsmechanische Definition* der Mondwenden ist komplex [2], [22]. Mit Hilfe von grafischen Darstellungen sollen diese Zusammenhänge verdeutlicht werden. Die Schnittlinie zwischen den Ebenen der Mondbahn und der Ekliptik heisst *Knotenlinie*. Der Punkt, an dem die Bahn die Ekliptikebene von Süden nach Norden durchstösst, heisst *Aufsteigender Knoten* und der entsprechende Durchstosspunkt in Südrichtung *Absteigender Knoten*. „Norden“ bezeichnet im Sonnensystem die Nordrichtung der Erdachse. Der Winkel zwischen den Ebenen der Mondbahn und der Ekliptik heisst *Inklination*  $i$  mit einem Mittelwert von ca.  $5.1452^\circ$  [8]. Diese schwankt mit einer Periode von 173 Tagen um ca.  $\pm 0,15^\circ$ , was aber, neben weiteren geringen Bahnstörungen, im Rahmen dieser Publikation nicht berücksichtigt wird (Kap. 5.2).



Die Ausrichtung der Knotenlinie bleibt nicht konstant, weil die Mondbahnebene eine Präzessionsbewegung vollführt, vergleichbar der Schwingfigur eines auf den Boden gefallenen Gymnastikreifs. Die Vertikalachse dieser Bewegungsfigur steht *senkrecht* auf der *Ekliptikebene* und der Inklinationwinkel  $i$  bleibt mit hoher Genauigkeit konstant. Etwa alle 9.3 Jahre fällt nach einer Drehung von ca.  $180^\circ$  die Knotenlinie mit der Schnittlinie zwischen Ekliptik und Himmelsäquator zusammen. Dann deckt sich einer der beiden Knoten mit dem Frühlingspunkt und es kommt zur Extremlage der Mondbahn bezüglich des Himmelsäquators, was entsprechend extreme Deklinationswerte des Mondes ermöglicht [2], [6], [22].

#### Generelle Definition für die Mondwenden

Das Zusammentreffen der *Mondbahn* mit dem *Frühlingspunkt* bestimmt dabei den *theoretischen Zeitpunkt* sowohl für die *Grossen-* als auch die *Kleinen Mondwenden* und erfolgt *unabhängig* von der aktuellen, orbitalen Mondposition.

Der Mond wird dann irgendwo auf seinem Orbit stehen, aber wohl kaum an jenem Punkt, welcher bei dieser Konstellation den maximal möglichen Deklinationswert ergeben würde. Der Gesamtumlauf der Knotenlinie dauert 18.61 Jahre und darf keinesfalls mit der etwas kürzeren Sarosperiode von 18.03 Jahren verwechselt werden, welche im Zusammenhang mit Finsterniszyklen von Sonne und Mond eine Rolle spielt.

#### Generelle Bemerkung zur Präzession

Das Präzessionsverhalten des Erdmondes ist einzigartig im Sonnensystem. Mit einer weiteren Ausnahme (Saturnmond Japetus), präzessieren die Bahnebenen der übrigen grossen Monde nicht auf der Ekliptikebene sondern alle senkrecht zur *Äquatorebene* ihrer Planeten!

## 14.4 Grosse Nördliche- und Südliche Mondwende

### Grosse Nördliche Mondwende

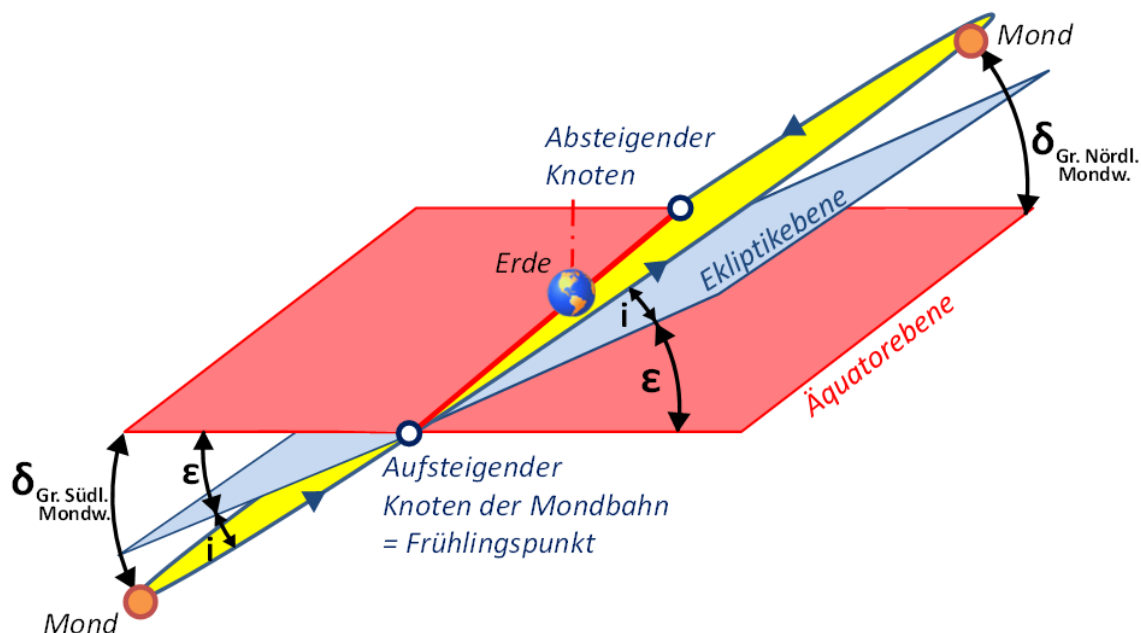
Wenn der *aufsteigende* Knoten der Mondbahn durch den Frühlingspunkt geht (exakter Wendezeitpunkt), addiert sich *nördlich des Himmelsäquators* der volle Betrag der Mondbahninklination  $i$  zur Ekliptikschiefe  $\varepsilon$ . Diese Konstellation ermöglicht es dem Mond, während dieses Umlaufs sein theoretisch *grösstes nördliches Deklinationsmaximum*  $+\delta_{\max}$  zu erreichen. Dazu müsste er den entsprechenden Bahnpoint aber exakt zum *Wendezeitpunkt* erreichen, was kaum je der Fall sein wird. Deshalb fällt das grösste *nördliche Deklinationsmaximum* jeweils geringfügig kleiner aus. Diese Konstellation heisst *Grosse Nördliche Mondwende*. Der Mond erreicht da seinen höchstmöglichen Kulminationspunkt, verbunden mit extrem *nördlichen* Horizontazimuten.

$$\delta_{Gr. \text{ Nördl. Mondwende}} \approx +\varepsilon + i \quad \{8\}$$

### Grosse Südliche Mondwende

Südlich des Himmelsäquators addieren sich zum exakten Wendezeitpunkt die vollen *negativen* Beträge von  $\varepsilon$  und  $i$ . Diese Konstellation ermöglicht es dem Mond, während dieses Umlaufs auch sein theoretisch *grösstes südliches Deklinationsmaximum*  $-\delta_{\max}$  zu erreichen. Aus analogen Gründen wie bei der Grossen Nördlichen Mondwende fällt dieses geringfügig kleiner aus. Diese Konstellation heisst *Grosse Südliche Mondwende*. Der Mond erreicht jetzt seinen tiefst möglichen Kulminationspunkt verbunden mit extrem *südlichen* Horizontazimuten.

$$\delta_{Gr. \text{ Süd. Mondwende}} \approx -\varepsilon - i \quad \{9\}$$



### Definition für die Grossen Mondwenden

Das Zusammentreffen des *Aufsteigenden Knotens* der Mondbahn mit dem *Frühlingspunkt* bestimmt den *theoretischen Zeitpunkt* für die *Grosse Mondwende* und erfolgt unabhängig von der aktuellen orbitalen Mondposition.



## 14.5 Kleine Nördliche- und Südliche Mondwende

### Kleine Nördliche Mondwende

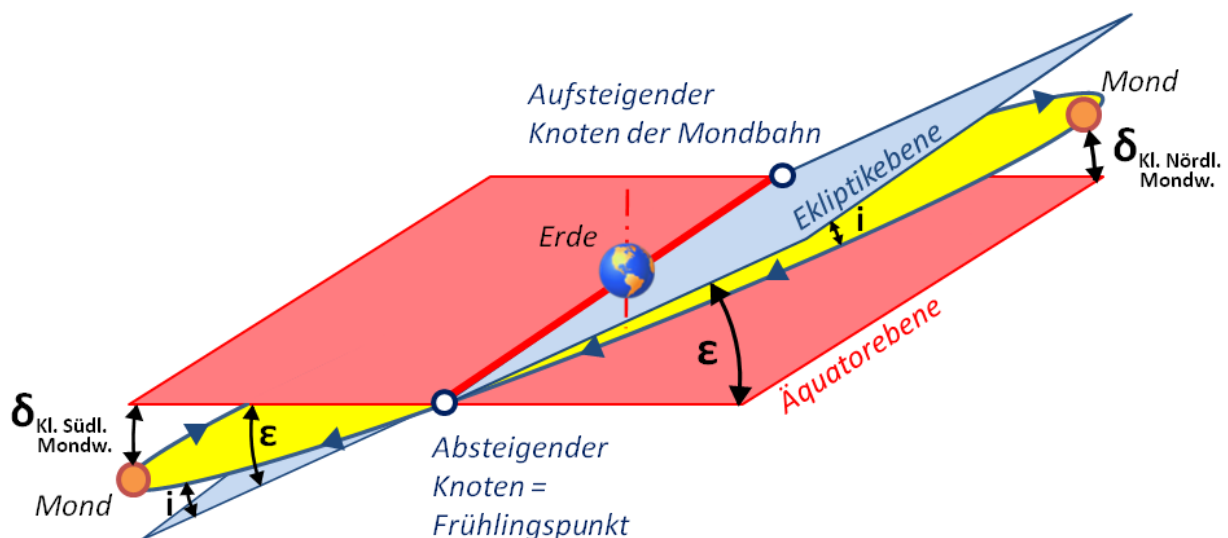
Wenn der *absteigende* Knoten der Mondbahn durch den Frühlingspunkt geht (exakter Wendezeitpunkt), subtrahiert sich *nördlich des Himmelsäquators* der volle Betrag der Mondbahninklination  $i$  von der Ekliptikschiefe  $\varepsilon$ . Diese Konstellation ermöglicht es dem Mond, während dieses Umlaufs sein theoretisch *Kleinstes Nördliches Deklinationsmaximum* zu erreichen. Dazu müsste er den entsprechenden Bahnpunkt aber exakt zum Wendezeitpunkt erreichen, was kaum je der Fall sein wird. Deshalb fällt dieses kleinste Deklinationsmaximum jeweils *geringfügig höher* aus. Diese Konstellation heisst *Kleine Nördliche Mondwende*. Der Mond erreicht während dieses Umlaufs seine geringsten Maxima der *nördlichen Horizontazimute*.

$$\delta_{KL. \text{ Nördl. Mondwende}} \approx +\varepsilon - i \quad \{10\}$$

### Kleine Südliche Mondwende

Südlich des Himmelsäquators bildet sich zum exakten Wendezeitpunkt die Differenz zwischen  $\varepsilon$  und der Mondbahninklination  $i$ . Diese Konstellation ermöglicht es dem Mond, während dieses Umlaufs sein theoretisch *Kleinstes Südliches Deklinationsmaximum* zu erreichen. Aus analogen Gründen wie bei der Kleinen Nördlichen Mondwende fällt dieses *geringfügig höher* aus. Diese Konstellation heisst *Kleine Südliche Mondwende*. Der Mond erreicht während dieses Umlaufs seine geringsten Maxima der *südlichen Horizontazimute*.

$$\delta_{KL. \text{ Südl. Mondwende}} \approx -\varepsilon + i \quad \{11\}$$



### Definition für die Kleinen Mondwenden

Das Zusammentreffen des *Absteigenden Knotens* der *Mondbahn* mit dem *Frühlingspunkt* bestimmt den *theoretischen Zeitpunkt* für die *Kleine Mondwende* und erfolgt unabhängig von der aktuellen orbitalen Mondposition.

## 15 Die Berechnung der Auf- und Untergangssazimute

### 15.1 Sphärentrigonometrische Grundformeln zur Azimutberechnung

Die sphärentrigonometrische Formel zur Berechnung des östlichen Aufgangssazimutes  $Aa$  kann, wie der Horizontwinkel  $\alpha$ , als Grundaufgabe aus dem *Nautischen Dreieck* hergeleitet werden (Kap. 16).

$$Aa = \cos^{-1} \frac{\sin \delta - \sin \varphi \cdot \sin hw}{\cos \varphi \cdot \cos hw} \quad \{12\}$$

Das westliche Untergangssazimut  $Au$  lässt sich mit derselben Formel durch Subtraktion von  $360^\circ$  errechnen.

$$Au = 360^\circ - \cos^{-1} \frac{\sin \delta - \sin \varphi \cdot \sin hw}{\cos \varphi \cdot \cos hw} \quad \{13\}$$

$\varphi$  = Breitengrad

$hw$  = wahre Höhe (Elevationswinkel) des Gestirnes über (+) oder unter (–) dem mathematischen Horizont am Auf- oder Untergangspunkt

$\delta$  = Deklination des Gestirnes (wichtig: + für nördliche Werte, – für südliche).

$\cos^{-1}$  ist die moderne Notationsform für die Umkehrfunktion *arcus cosinus*

### 15.2 Berechnung der Gestirnsdeklination aus beobachtetem Horizontazimut

Formel {12} ist hier noch wie folgt umgestellt, damit sich bei gegebenem Horizontazimut  $Haz$  noch die zugehörige Gestirnsdeklination  $\delta$  berechnen lässt:

$$\delta = \sin^{-1} (\cos Haz \cdot \cos \varphi \cdot \cos hw + \sin \varphi \cdot \sin hw) \quad \{14\}$$

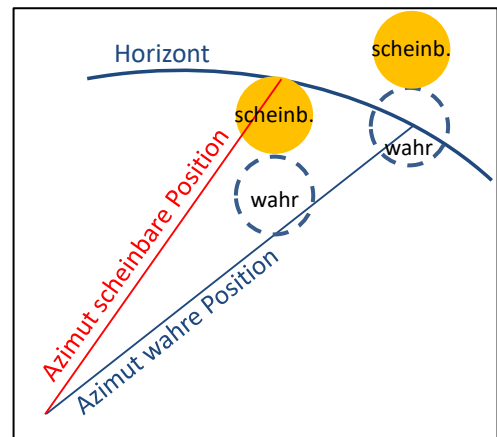
Hier spielt es keine Rolle, ob für  $Haz$  das Aufgangssazimut  $Aa$  oder das Untergangssazimut  $Au$  eingegeben wird.

### 15.3 Die Gestirnsdeklination als Schlüsselwert für die Horizontazimute

Diese Formeln zeigen, dass (neben den Variablen  $\varphi$  und  $hw$ ) die *Gestirnsdeklination*  $\delta$  der eigentliche *Schlüsselwert* zur Bestimmung der Horizontazimute ist und die *grössten Deklinationen* auch die *extremsten Azimute* ergeben müssen. Falls mit „sinnlosen“  $\delta$ -Werten gerechnet wird – d.h. für *zirkumpolare* Gestirne, welche nie untergehen, oder solche die zu südlich stehen und daher nie aufgehen, ergeben sich nicht definierte arcus cosinus Werte ( $\cos^{-1}$ ). Ein Rechner quittiert dies standardmässig mit einer „Error“ Meldung.

### 15.4 Scheinbare und wahre Horisonthöhen (Elevationswinkel)

Die Formeln {12} und {13} liefern die Horizontazimute, bezogen auf den *Mittelpunkt* der Gestirne und die *wahren* Höhen  $hw$ . Wir messen aber die Azimute der *scheinbaren*, d.h. tatsächlich beobachteten Positionen, welche noch mit Refraktions- und Parallaxeneffekten (Oberrand- oder Unterrandbetrachtung) belastet sind. Um mit {12} und {13} rechnen zu können, müssen daher diese *scheinbaren* Höhen (Elevationswinkel)  $hs$  wie folgt auf die wahren Höhen  $hw$  korrigiert oder "reduziert" werden.

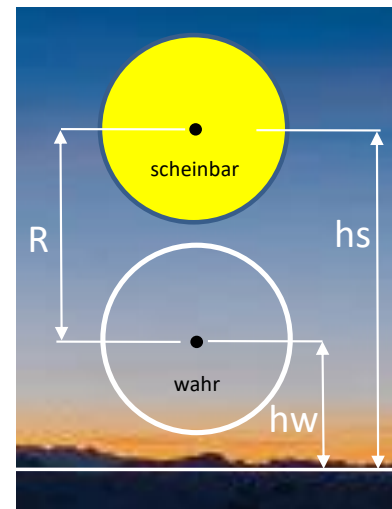


### 15.5 Einfluss der atmosphärischen Refraktion

Durch den Brechungseffekt (Refraktion) in der Erdatmosphäre können wir Gestirne nur im Zenit dort sehen, wo sie auch tatsächlich stehen. Das heisst nur dort stimmt die wahre Höhe  $hw$  mit der *scheinbaren*  $hs$  über dem mathematischen Horizont überein ( $hw = hs$ ).

Für alle anderen Punkte steht die *wahre* Gestirnsposition um den Refraktionsbetrag  $R$  tiefer als wir sie scheinbar sehen:

$$hw = hs - R \quad \{15\}$$



Anmerkung: Die *wahre Höhe* (Elevationswinkel)  $hw$  gemäss Formeln {12} und {13} bezieht sich bei Sonne und Mond immer auf die *Mitte* des Himmelskörpers. Die beobachtete, *scheinbare Höhe*  $hs$  kann sich aber auf die *Mitte*, den *Oberrand* oder den *Unterrand* des Gestirns beziehen.

Da hier vorwiegend Auf- und Untergangszimute berechnet werden sollen, wird die Bezeichnung  $hs$  sowohl für die *scheinbare Horisonthöhe* als auch für die *scheinbare Gestirns-höhe* verwendet.

Die folgende Formel, vorgestellt von B. Steinrücken [17], liefert die Refraktionswerte  $R$  in Bogenminuten [ $'$ ], als Funktion der scheinbaren Höhe  $hs$  in [ $^\circ$ ]. Allerdings sind in der Praxis, speziell bei Inversionswetterlagen, markante Abweichungen von diesem theoretischen Wert beobachtbar.

$$R \text{ [']} = \frac{1'}{\tan\left(hs + \frac{7.31}{hs + 4.4}\right)} \quad \{16\}$$

Die Formel zeigt, dass der R-Wert erst gegen niedrigere Höhen markant wird und schliesslich auf dem mathematischen Horizont ( $hs = 0^\circ$ ) den Maximalwert von ca. 34.48 Bogenminuten oder 0.5747 Dezimalgrad erreicht. Dies entspricht immerhin mehr als einem scheinbaren mittleren Sonnen- oder Mondscheibendurchmesser!

Damit dieser Effekt in den Azimutformeln berücksichtigt werden kann, müssen die beobachteten, scheinbaren Höhen  $hs$  auf die wahren  $hw$  reduziert werden. Dazu müssen die

folgenden drei Fälle unterschieden werden, weil bei Sonne und Mond zusätzlich noch *Parallaxeneffekte* zu berücksichtigen sind.

### 15.6 Azimutbereinigung bei Fixsternen und Planeten

Dies ist der einfachste Fall, welcher lediglich eine Refraktionskorrektur erfordert. Daher kann bei diesen scheinbar „punktförmigen“ Gestirnen obige Formel {15} ohne weitere Korrekturen verwendet werden:

$$hw_{\text{Stern}} = hs - R \quad \{17\}$$

Für Berechnungen, bezogen auf den mathematischen Horizont, wird  $hs = 0^\circ$  und

$$hw_{\text{Stern}} = -R = -0.5747^\circ$$

Um diesen Betrag steht das Gestirn bereits unterhalb des Horizontes, wenn wir seinen Untergang beobachten. Durch diesen Effekt wird sowohl *Au* als auch *Aa* um einen geringen Betrag nach Norden verschoben.

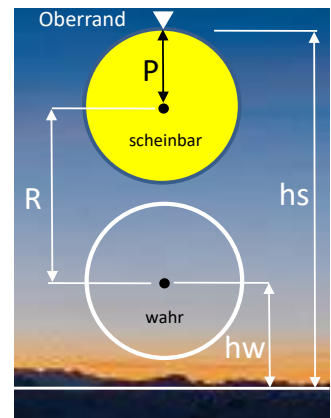
### 15.7 Azimutbereinigung bei der Sonne

Die rechnerischen Deklinationswerte beziehen sich immer auf die Sonnenmitte. Wir beobachten aber in den meisten Fällen den *Oberrand*. Als Korrekturwert muss daher zusätzlich zur Refraktion auch noch die Parallaxe *P*, d.h. der halbe scheinbare Scheibendurchmesser  $P = ca. 16'$  oder  $0.2666^\circ$ , *subtrahiert* werden.

$$\text{Korrektur } hw_{\text{Sonne Oberrand}} = hs - P - R \quad \{18\}$$

Für den Spezialfall des mathematischen Horizontes wird  $hs = 0^\circ$ .

$$\text{Korrektur } hw_{\text{Sonne Oberrand}} = -P - R = -0.8413^\circ.$$

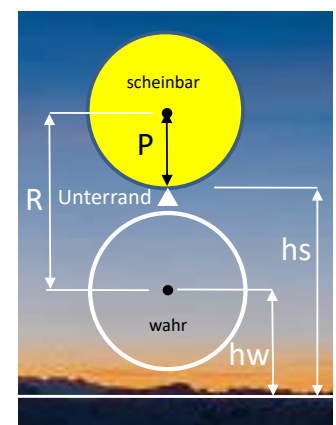


Wenn bei der Sonne der *Unterrand* massgebend ist, muss *P* hinzu *addiert* werden.

$$\text{Korrektur } hw_{\text{Sonne Unterrand}} = hs + P - R \quad \{19\}$$

Für den Spezialfall des mathematischen Horizontes wird  $hs = 0^\circ$ .

$$\text{Korrektur } hw_{\text{Sonne Unterrand}} = +P - R = -0.308^\circ.$$



### 15.8 Azimutbereinigung beim Mond

Beim Mond ist noch eine zusätzliche Korrektur erforderlich (siehe folgende Grafik).

### 1. Spezialfall, Bereinigung bezogen auf den mathematischen Horizont

Infolge seines relativ kurzen Erdbabstandes sieht ein fiktiver *Beobachter B* im *Erdmittelpunkt* (Bezugsort der rechnerischen Monddeklinatıon), den Mond noch deutlich höher, während *Beobachter A* ihn am Horizont, gerade auf oder untergehen sieht! Dieser Effekt wird *Horizontalparallaxe HP* genannt und beträgt im Mittel ca. +57' oder +0.95°. Er wirkt genau entgegengesetzt zur *Refraktion R* und *Scheibenparallaxe P*, welche das Gestirn ja höher erscheinen lassen als es tatsächlich ist. Wie bereits erwähnt, kann für *P* sowohl beim Mond, als auch bei der Sonne, *näherungsweise* 16' oder 0.2666° eingesetzt werden. Für den Spezialfall des *mathematischen Horizontes* ( $hs = 0^\circ$ ) und den *Oberrand* gilt:

$$\text{Korrektur } hw_{\text{Mond Oberrand}} = -P - R + HP = +0.109^\circ$$

Hier wird also die Refraktion *R* und die Parallaxe *P* durch die Horizontalparallaxe *HP* überkompensiert und der Korrekturwert damit positiv.

Bei *Unterrandbetrachtungen* wird auch hier *P* addiert statt abgezogen. Für den Spezialfall des *mathematischen Horizonts* gilt dann:

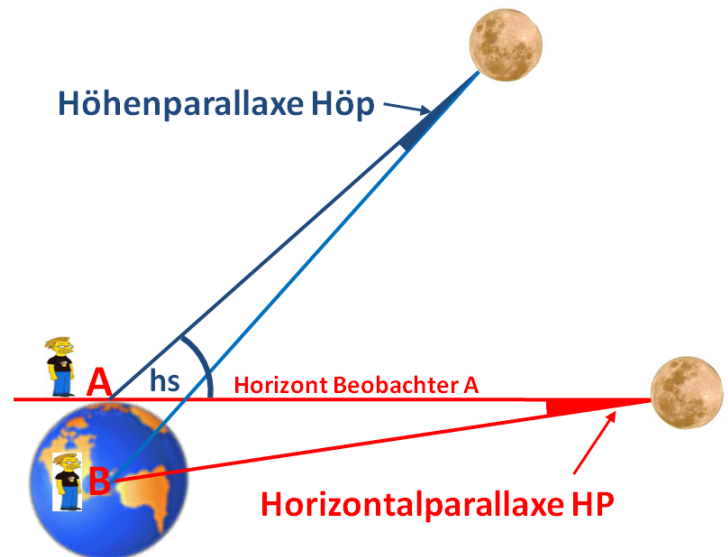
$$\text{Korrektur } hw_{\text{Mond Unterrand}} = +P - R + HP = +0.642^\circ$$

### 2. Allgemeiner Fall, Bereinigung für beliebige Mondhöhen über dem Horizont

Für beliebige Mondhöhen *über* dem mathematischen Horizont, wird der Spezialfall der *Horizontalparallaxe HP* zur sog. *Höhenparallaxe Höp*. Sie wird mit zunehmender Höhe *hs* immer kleiner und im Zenit schliesslich  $Höp = 0^\circ$ .

Für die *Höp* gilt allgemein:

$$Höp = HP \cdot \cos (hs - R) \quad \{20\}$$



hw für den Oberrand:

$$\text{Korrektur } hw_{\text{Mond Oberr.}} = hs - R - P + Höp \quad \{21\}$$

hw für den Unterrand:

$$\text{Korrektur } hw_{\text{Mond Unterr.}} = hs - R + P + Höp \quad \{22\}$$

Anmerkungen:

Dieser Parallaxeneffekt ist auch bei den anderen Gestirnen wirksam, infolge der enormen Distanzen aber so gering, dass er für unsere Zwecke vernachlässigt werden kann.

Planetariumsprogramme berechnen Gestirnspositionen meistens bezogen auf die Gestirnsmitte, ohne Berücksichtigung dieser Effekte! Falls die Software selbst keine Korrekturmöglichkeit vorsieht, müssen die Ergebnisse nachträglich noch bereinigt werden!



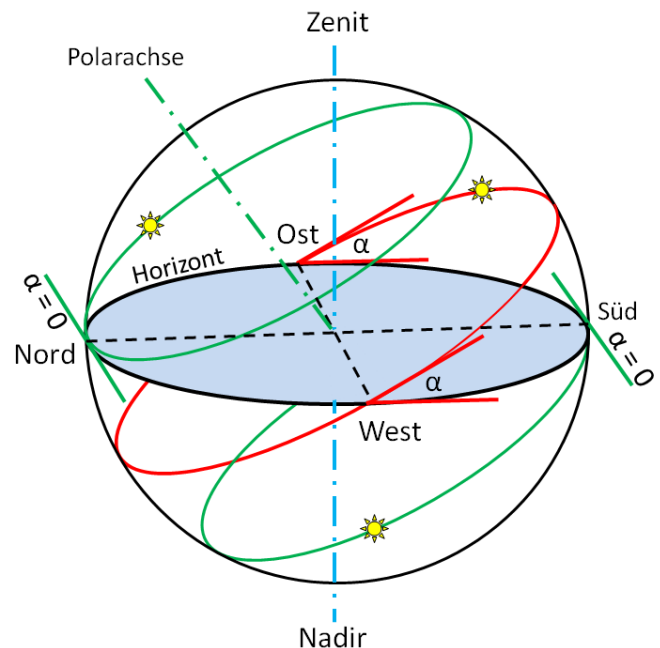
## 16 Auf- und Untergangswinkel der Gestirne

### 16.1 Die Berechnung der Winkel

Diese Frage wird in „Amateur Kreisen“, sowie in entsprechenden Publikationen, meist kontrovers diskutiert. Dieses Problem ist nicht elementar lösbar, da sich alle Himmelsobjekte scheinbar auf der Oberfläche der *Himmelskugel* bewegen. Entsprechend versagen in diesem Modell auch alle zweidimensionalen Ansätze – die wohl häufigste Ursache für Fehlüberlegungen! Hier müssen zwingend die Regeln der *Sphärischen Trigonometrie* angewendet werden. Die wichtigsten Ergebnisse hier vorweg:

Bezogen auf den mathematischen Horizont sind für ein beliebiges Gestirn, bei *konstant* bleibender Deklination, die Auf- und Untergangswinkel  $\alpha$  gleich gross. Am grössten (steilsten) sind sie exakt am *Ost- und Westpunkt* des Horizontes und betragen hier  $\alpha = 90^\circ - \varphi$  ( $\varphi$  = Breitengrad). Bei der Sonne ist dies ca. zum Zeitpunkt der Äquinoktien der Fall, d.h. für den 47. Breitengrad  $\alpha = 43^\circ$ .

Von hier aus nehmen die Winkelwerte für weiter nördlich oder südlich gelegene Horizontpunkte *symmetrisch* zur W-O Richtung ab, bis sie schliesslich am Nord- und Südpunkt je  $\alpha = 0^\circ$  erreichen. Ein entsprechendes Gestirn „berührt“ hier den Horizont scheinbar nur noch an einem Punkt, die Tangenten beider Kreise werden *deckungsgleich* und somit  $\alpha = 0^\circ$ .



Mit Formel {23} lässt sich  $\alpha$ , bezogen auf den *mathematischen Horizont*, berechnen,  $\varphi$  = Breitengrad,  $Az$  = Auf- oder Untergangssazimut des Gestirnes,  $\tan^{-1}$  steht für die Umkehrfunktion *arcus tangens*. Für erhöhte Horizontpunkte muss mit den Formeln {24} und {26} zusätzlich die wahre Horisonthöhe  $hw$  berücksichtigt werden.

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{\sin Az}{\tan \varphi} \quad \{23\}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{\sin Az}{\tan \varphi \cdot \cos hw - \sin hw \cdot \cos Az} \quad \{24\}$$

Wenn anstelle des Azimuts  $Az$  die Deklination des Gestirnes  $\delta$  bekannt ist, können folgende Gleichungen angewendet werden.  $\cos^{-1}$  steht für die Umkehrfunktion *arcus cosinus*.

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{\sin \varphi}{\cos \delta} \quad \{25\}$$

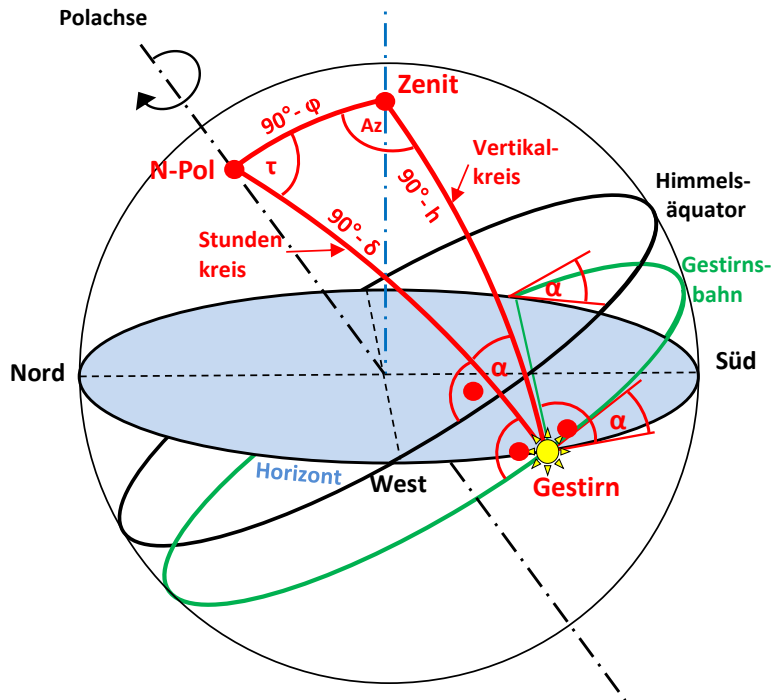
$$\alpha = \cos^{-1} \frac{\sin \varphi - \sin \delta \cdot \sin hw}{\cos \delta \cdot \cos hw} \quad \{26\}$$

Beispiel: Der Deklinationswert der Sonne beträgt bei der Sommersonnenwende ca.  $+23.4^\circ$ , bei der Wintersonnenwende ca.  $-23.4^\circ$  und für die Äquinoktien definitionsgemäss  $0^\circ$ , d.h. eine Sonnenposition exakt auf dem Himmelsäquator. Für den 47. Breitengrad und  $hw = 0^\circ$  ergeben sich für die Äquinoktien  $\alpha = 43^\circ$  und für beide Sonnenwenden je  $\alpha = 37^\circ$ .

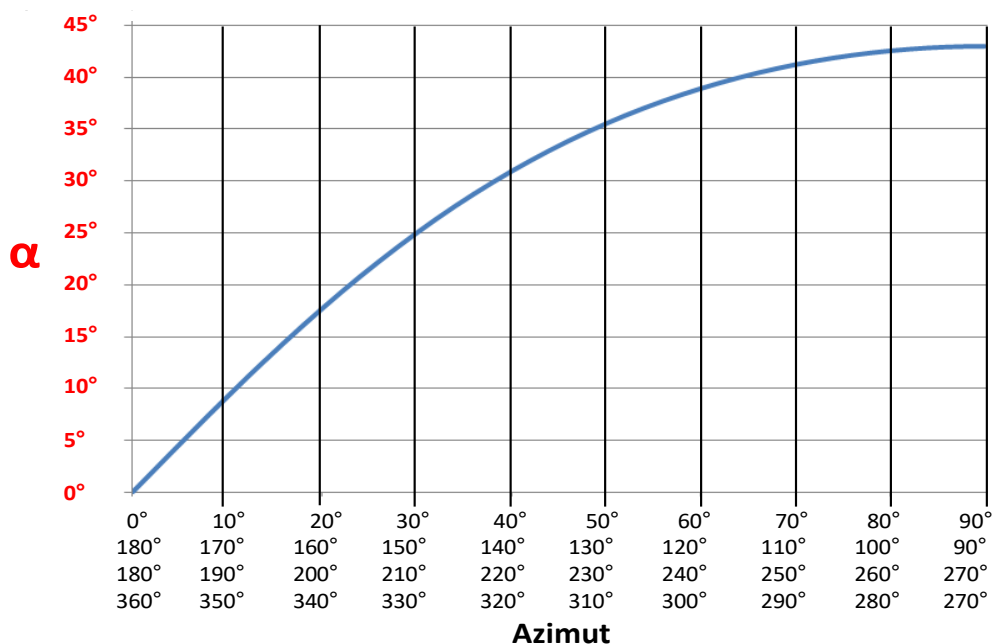
### 16.2 Das Nautische Dreieck

Das sog. *Nautische Dreieck* wird durch die Punkte *Zenit*, *Himmelsnordpol* (N-Pol) und die aktuelle *Gestirnsposition* aufgespannt. Vereinfachend ist in der Skizze das Gestirn auf

Horizonthöhe ( $hw = 0^\circ$ ) gezeichnet. Dessen Deklination ist hier negativ, da es südlich des Himmelsäquators steht. Der Dreieckswinkel  $\alpha$  beim Gestirn wird *parallaktischer Winkel* genannt und im Gegensatz zum Stundenwinkel  $\tau$  für Navigationsrechnungen nicht benötigt. Er entspricht aber exakt dem Auf- und Untergangswinkel  $\alpha$ , da der *Stundenkreis* durch den Himmelspol *senkrecht* auf dem Himmelsäquator, sowie auch *senkrecht* auf der parallel dazu verlaufenden Gestirnsbahn steht. Weiter steht der *Vertikalkreis* durch den Zenit *senkrecht* auf dem Horizont.



Weil  $\alpha$  im *Nautischen Dreieck*, enthalten ist, lässt sich die Formel direkt über den Seitencosinus-Satz herleiten. Der Azimutwinkel  $Az$  (oder ein Supplement davon) erscheint hier am *Zenitpunkt* des Dreiecks und kann mit analogem Ansatz wie  $\alpha$  hergeleitet werden. Die folgende Excel Grafik zeigt für den 47. Breitengrad den Horizontwinkel  $\alpha$  in Funktion des Azimuts, bezogen auf den mathematischen Horizont ( $hw = 0^\circ$ ).



## 17 Archäoastronomisches Berechnungstool

Ergänzend zu dieser Publikation steht das Excel basierte Archäoastronomische Berechnungstool unter [33] zur Verfügung. Diese Excel-Arbeitsmappe enthält programmierte Formeln und erlaubt das einfache Lösen der wichtigsten Grundaufgaben im Bereich der Archäoastronomie. Die Themengliederung erfolgt über die Tabellenblätter, welche am unteren Fensterrand aufgerufen werden können. Diese Arbeitsmappe enthält zusätzlich ein separates Register mit praktischen Berechnungsbeispielen, welche die Möglichkeiten dieses Programmes demonstrieren sollen.

## 18 Literatur und Internet

[1] Wolfhard Schlosser, Jan Cierny, *Sterne und Steine*. 1997 Verlag Theiss. Vergriffen. Standardwerk der Archäoastronomie im deutschsprachigen Raum.

[2] Rolf Müller, *Der Himmel über dem Menschen der Steinzeit, Astronomie und Mathematik in den Bauten der Megalithkulturen*. 1970 Springer Verlag. Vergriffen.

[3] Jean Meeus, *Astronomical Algorithms*, [www.astro-shop.com](http://www.astro-shop.com)

[4] Martin Kerner, *Bronzezeitliche Astronomie*, 2006, Verlag Mantis

[5] Martin Kerner, *Zeitstandard, Die Geburt der gemessenen Zeit*, 2002, Eigenverlag,

[6] Karl Stumpf, *Himmelsmechanik*, Berlin 1959, Deutscher Verlag der Wissenschaften, Hochschulbücher für Physik

[7] Oliver Montenbruck, Thomas Pfleger, *Astronomie mit dem Personal Computer*, Springer Verlag 2004, vierte Auflage

[8] Joachim Herrmann, *Tabellenbuch für Sternfreunde*, Franksche Verlagshandlung Stuttgart 1961

[9] Hans Christian Freiesleben, *Geschichte der Navigation*, Franz Steiner Verlag GmbH Wiesbaden

[10] G. Lothar, *Grundlagen der ebenen und sphärischen Trigonometrie*, Hochschule München 2007, Fakultät für Geoinformation

[11] Ulrich und Greti Büchi, Forch, *Die Megalithe der Surselva Graubünden, Die Menhire auf Planetzas/Falera*, Band VIII, Eigenverlag, 3. Auflage 2002.

[12] Georg Brunner, Schwerzenbach, *Sonne und Mond über den Steinsetzungen von Falera*, 2008 Eigenverlag

[13] Georg Brunner, *Der sagenumwobene Erdmannliststein bei Wohlen*, Helvetia Archeologica Jahrg. 44, 2013, Nr. 173/174

[14] Georg Brunner, Dr. Helen Wider: *Licht- und Schattenspiele in den Alpen und in deren Vorland*,

[15] Peter Grimm, *Der Erdmannliststein im Aargauischen Freiamt – Astronomischer Kalender und Spektakel*, Orion 380, p. 5 – 7.

[16] Holger Filling, Kierspe (D), *Die kryptische Darstellung der Venus auf der Himmelsscheibe von Nebra*, Leibnitz-Sozietät der Wissenschaften, Band 92, Jahrgang 2007

Die folgenden Schriften zum Thema *Archäoastronomie* können von der *Homepage der Sternwarte Recklinghausen* heruntergeladen werden:

<http://sternwarte-recklinghausen.de/astronomie/forschungsprojekt-vorzeitliche-astronomie/#A04>

[17] Burkard Steinrücken, *Tabellenwerk der extremalen Horizontstände von Sonne und Mond von – 3000 bis zur Zeitenwende*

[18] Burkard Steinrücken, *Die Bahnen der hellsten Sterne vor der Zeitenwende - Zur Berechnung der Äquatorialkoordinaten in vergangenen Epochen*

[19] Wolfhard Schlosser, *Eine universelle Funktion zur Bewertung alter Sonnenobservatorien*

[20] Thorsten Zipser, Burkard Steinrücken: *Zur astronomischen Orientierung von Bauwerken und Städten der Azteken, Mayas und Inkas im präkolumbischen Amerika*, u.a. mit Deutung möglicher Ausrichtungen auf die Venusextreme.

[21] Burkard Steinrücken, *Astronomie im alten Europa – Spuren einer erloschenen Kultur*, Beschrieb zu einer archäoastronomischen Ausstellung in der Sternwarte Recklinghausen.

[22] Burkard Steinrücken: *Bestimmung der Mondentfernung aus Untergangsbeobachtungen, nebst Erörterung der Frage „Was ist eine Mondwende?“*

[23] Burkard Steinrücken: *Die Zyklen des Himmels entdecken*. Internet Download unter: <http://www.astronomie-heute.de/artikel/977663>

[24] Rechendienst der Universität Neuenburg *Mathematical representation of the main geomagnetic field of Switzerland*

<http://members.unine.ch/pierre.schnegg//difcalc.htm>

[25] GFZ Potsdam, IGRF Deklinationsrechner

<http://www-app3.gfz-potsdam.de/Declinationcalc/declinationcalc.html>

[26] Website der NOAA zum Thema *Magnetic Declination*

<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/declination.shtml>

[27] Peakfinder Software

<https://www.peakfinder.org>

[28] *JPL Horizons*, NASA Ephemeridenrechner des *Jet Propulsion Laboratory (JPL)* in Pasadena, Web Interface. <https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>

[29] Schweizerische Landestopographie Mit Modulen zur Umrechnung von Koordinaten und diversen nützlichen Formelsätzen, z.B. zur Berücksichtigung der Erdkrümmung.

[www.swisstopo.admin.ch](http://www.swisstopo.admin.ch).

[30] Fred Espenak, NASA Goddard Space Flight Center: *Transits of Venus, Six Millennium Catalog: 20*

<https://eclipse.gsfc.nasa.gov/transit/catalog/VenusCatalog.html>

[31] Fred Espenak, Homepage Mr. Eclipse

<http://www.mreclipse.com/>

Die folgenden Schriften zum Thema *Archäoastronomie* können von der *Richard-Walkers-Page* heruntergeladen werden (ganz nach unten scrollen):

<http://www.ursusmajor.ch/astrospektroskopie/richard-walkers-page/index.html>

[32] Walker Richard: *Die Analyse Archäoastronomischer Ausrichtungen*

[33] Walker Richard: *Berechnungstool Archäoastronomie*. Excel-basiertes Berechnungstool zur Lösung der wichtigsten archäoastronomischen Grundaufgaben:

[34] Walker Richard: *Megalithobjekte am Westufer des Neuenburgersees, Abklärung archäoastronomischer Aspekte*, April 2010

[35] Walker Richard: *Megalithanlage Yverdon-les-Bains-Clendy*, Mai 2014

[36] Walker Richard, *Stonehenge im Säuliamt*,

[37] Richard Walker, *Steinkreis im Bislikerhau, Affoltern a. Albis Generelle Analyse und mögliche Ausrichtungen auf astronomische Phänomene*

[38] Richard Walker, *Das Peakfinder Programm – Ein Tool für die Archäoastronomie*

<https://www.ursusmajor.ch/downloads/peakfinder-und-archaeoastronomie.pdf>