

ASTRONOMISCHE PHÄNOMENOLOGIE
TATSACHEN, PROBLEME, HILSMITTEL

In sich abgeschlossene Fortsetzung des Seminars
1992/93 "Moderne Astronomische Phänomenologie"

- 1 - 2 Titelseite; Inhaltsverzeichnis. 21 Jahre Österreichische Sternfreunde-Seminare zur himmelskundlichen Weiterbildung.
- 3 - 26 Die historischen Novae und Supernovae und die mit freiem Auge sichtbaren Veränderlichen Sterne (Wolfgang Vollmann, Wien).
- 27 - 48 Geozentrische Zonen der Planeten, Kleinplaneten und periodischen Kometen (Prof.Hermann Mucke, Wien).
- 49 - 74 Tagsichtbarkeit von Sternen und Planeten mit freiem Auge (Herbert Smutek, Wien).
- 75 - 90 Zur Erfassung der Sichtbarkeitsperioden ekliptikferner Gestirne (Dipl.Ing.Norbert Pachner, Wien).
- 91 - 108 Altägyptische Sirius- und Monddaten aus dem 19. und 18. Jahrhundert vor Christi Geburt (Berliner Illahun-Archiv) (Privatdozent Dr.Rolf Krauss, Ägyptisches Museum und Papyrussammlung PK, Berlin). Letzte Seite: Hinweis auf Förderung und Mitveranstaltung dieser Seminare.
- 109-116 Babylonische Finsternistexte (Univ.-Prof.Dr.Hermann Hunger, Institut für Orientalistik der Universität Wien).
- 117-130 Probleme und Genauigkeit in den Werken von Ptolemaios (Dr.Ing.Salvatore de Meis, Milano).
- 131-148 Südwestarabische Sternenkalendar (Univ.-Dozent Dr.Andre Gingrich, Institut für Völkerkunde der Universität Wien).
- 149-176 Geographische Koordinaten astronomisch-phänomenologisch bedeutender Orte. Mit Verzeichnis von 656 zeitgenössischen und 258 historischen Orten sowie Abhandlung über Ortsbestimmung mittels Standlinienverfahren und GPS (Dipl.Ing. Dr.Robert Weber, Institut für Theoretische Geodäsie der TU Wien; dzt. Astronomisches Institut, Universität Bern).
- 177-183 Lage und Orientierung des Wiener Neustädter Domes (Hofrat Dipl.Ing.Erwin Reidinger, Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Abt.B/4, Wien)

184-186 Hilfsmittel zur astronomischen Phänomenologie: Ein GPS-Empfänger zur geogr.Ortsbestimmung / Winkelmeßgeräte.

Seminarleiter: Prof.Hermann Mucke, Planetarium/Uraniasternwarte Wien.

Das Seminar wurde an fünf Abenden im Frühling 1994 im Planetarium der Stadt Wien als Gemeinschaftsveranstaltung von diesem und dem Österreichischen Astronomischen Verein veranstaltet.

In Fortsetzung des Seminars 1992/93 "Moderne Astronomische Phänomenologie" - welches das Konzept, die Literatur und überwiegend die Grundtatsachen dieses hier neu strukturierten Sachgebietes enthält - wurden Beiträge geboten. Darüber hinaus konnten aber bereits Anwendungen in Form von Forschungsarbeiten veröffentlicht werden, deren Autoren als Gastvortragende und Referenten einen Ring von Fachleuten - zum Teil auch aus Nachbarwissenschaften - bilden. Sie sind von dort auftretenden Problemstellungen her mit der astronomischen Phänomenologie in Berührung gekommen und nun erfreulicherweise mit ihr verbunden. Dieser Expertenkreis ist bereits über die Grenzen Österreichs hinaus gewachsen und weitere dokumentierte Veranstaltungen sind im Planetarium der Stadt Wien zu erhoffen.

⇒ Wiedergabe dieser Papiere oder deren Teile ist nicht gestattet. ←

SEM IN A R P A P I E R E

Die Dokumentation der Seminare 1973-1994 wurde vom Österreichischen Astronomischen Verein herausgegeben und umfaßt 2512 Seiten DIN A4. Ab Ausgabe 1979 einschließlich sind sie noch lieferbar. Bestellungen nimmt entgegen: Astronomisches Büro, Hasenwartgasse 32, A-1238 Wien, Tel.0222 - 889 35 41.

1973	Astronomische Koordinatensysteme, 58	1984	Die Sonne, 199
1974	Gebrauch astronomischer Jahrbücher, 81	1985	Himmelskunde und Kleinrechner, 167
1975	Himmelskarten und ihr Gebrauch, 97	1986	Die Meteore, 127
1976	Fernrohre und ihr Gebrauch, 115	1987	Die Veränderlichen, 172
1977	Astronomische Phänomenologie, 106	1988	Die Galaxien, 223 (Hausrekord)
1978	Amateurastronomie, Theor./Praxis 108	1989	Planet Erde, 211
1979	Astronomische Finsternisse, 104	1990	Die Milchstraße, 188
1980	Die Kometen, 111	1991	Die Sonnenuhren (in Urania), 100
1981	Der Mond, 147	1992	Moderne astronomische Phänomeno-
1982	Die Kleinplaneten, 164	1993	logie, 137; dessen Fortsetzung,
1983	Die Doppelsterne, 163	1994	Astronom.Phänomenologie, ~105

Die Zahlen hinter den Generalthemen geben die im Durchschnitt *pro Abend* tatsächlich anwesenden Teilnehmer an. Näheres zu Absicht und Art der Seminare: Sternbote 7/1987.

Allen Vortragenden, Teilnehmern sowie Helfern sagen die Veranstalter herzlichen Dank.

Res severa est verum gaudium!

Referat: Die historischen Novae und Supernovae und die mit freiem Auge sichtbaren Veränderlichen Sterne

Die meisten Sterne in einem Milchstraßensystem wie dem unseren sind sehr stabil und leuchten über Jahrillionen oder länger mit gleichbleibender Helligkeit (unsere Sonne z.B. schon etwa 5 Milliarden Jahre). Die Novae und Supernovae leuchten spontan auf und können im Maximallicht heller als die hellsten Sterne des Himmels werden. Im Maximum wird eine Nova typischerweise so hell wie 100.000 Sonnen und kann die Leuchtkraft von einer Million Sonnen erreichen. Eine Supernova kann nochmals mehrere tausend Mal so hell werden und strahlt dann kurzzeitig soviel Energie ab, wie alle anderen Sterne der Galaxis zusammengenommen.

Das Wort "nova" ("nova stella") bedeutet buchstäblich "neuer Stern". Der Begriff wurde eingeführt, bevor man erkannte, daß am Ort des Ereignisses bereits ein Stern existierte.

Neben den Supernovae (Teil A) und Novae (Teil B) behandelt dieses Referat die mit freiem Auge sichtbaren Veränderlichen Sterne (Teil C) und enthält ein Literaturverzeichnis (Teil D).

A Supernovae

A.1 Was sind Supernovae?

A.1.1 Die Entdeckung der Supernovae

Die 1885 in der Andromeda-Galaxie M 31 gesehene Supernova S Andromedae erreichte eine Helligkeit von $+6^{\text{mag}}$. Die im Aug. 1937 in der schwachen Galaxie IC 4182 sichtbare Supernova erreichte $+8,2^{\text{mag}}$, viel heller als die Muttergalaxie. Das führte zur Annahme, daß es besonders helle Novae, eben "Super-Novae" geben müsse.

A.1.2 Klassifikation der Supernovae

Die meisten Beobachtungen von Supernovae wurden in unserem Jahrhundert in oft weit entfernten Galaxien gemacht. Aufgrund der Spektren und der Lichtkurve unterscheidet man zwei Gruppen von Supernovae: Typ I und Typ II.

Der GCVS (Lit.9) verwendet folgende Typkürzel für Supernovae:

SN	Supernovae (z.B. B Cas, CM Tau).
SNI	Supernovae Typ I
SNII	Supernovae Typ II

Supernovae vom Typ I haben keine Wasserstofflinien im Spektrum, zeigen aber selbst vor dem Maximum im Spektrum sehr breite Banden. Die sich ausdehnende Gashülle zeigt meist keinen Wasserstoff.

1. Fortsetzung Referat: Die historischen Novae und Supernovae ...

Die Lichtkurve aller SN Typ I sind nahezu identisch. Es erfolgt ein rascher Anstieg (etwa 3 Wochen) zum Maximum. Die ersten 20-30 Tage nach dem Maximum sinkt die Helligkeit erst rasch um $0,1^{\text{mag}}$ pro Tag, dann langsamer ab, um nach drei bis vier Monaten linear um $0,015^{\text{mag}}$ pro Tag abzusinken.

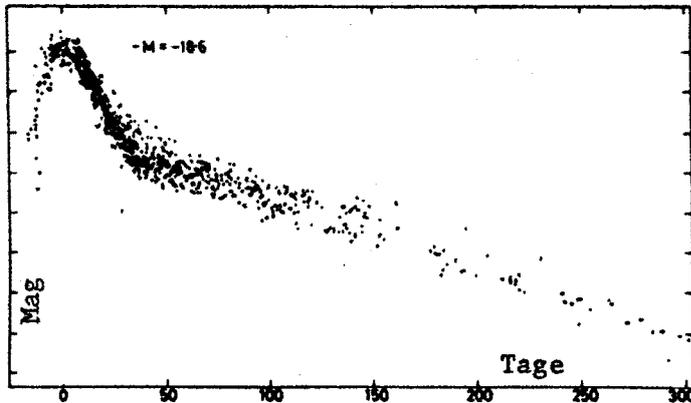


Abb.1
Komposit von 38 Supernovae
Typ I - Lichtkurven in B.
Ordinate geteilt in Abständen
voller Größenklassen.
(Lit.1)

Aufgrund von Besonderheiten im Spektrum untergliedert man die SN Typ I nach Typ Ia, Ib und Ic. Typ Ia ist am leuchtkräftigsten (ca. $M = -19^{\text{mag}}$ im Maximum), Ib und Ic nur ein Viertel so hell.

Supernovae vom Typ II zeigen Wasserstofflinien im Spektrum. Die sich ausdehnende Gashölle zeigt hauptsächlich Wasserstoff und Helium. Das Spektrum ist etwas weniger ungewöhnlich als das der SN Typ I und ähnelt einem Novaspektrum in gigantischem Maßstab.

Die Lichtkurven dieser SN ähneln sich nicht so stark wie die vom Typ I. Normalerweise sinkt die Helligkeit 40-100 Tage nach dem Maximum um $0,01^{\text{mag}}$ pro Tag ab.

Heute unterscheidet man nach der Lichtkurve den Typ II-L (linear), der dem Typ I ähnelt, sowie den Typ II-P (Plateau), der mehrere Monate bei konstanter Helligkeit bleibt. SN 1987A in der LMC war vom Typ II-P.

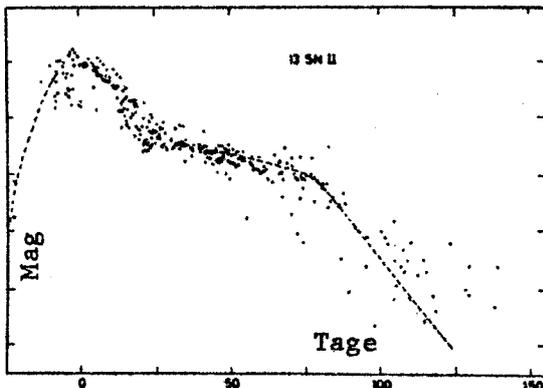


Abb.2
Komposit von 13 Supernovae
Typ II - Lichtkurven.
(Lit.1)

Die absolute Helligkeit der SN Typ II schwankt viel stärker als die des Typs I: es wurden sehr helle SN II, die die Helligkeit einer SN Ia erreichten und relativ schwache wie die SN 1987A in der LMC

2. Fortsetzung Referat: Die historischen Novae und Supernovae ...

beobachtet. Normalerweise ist die absolute Helligkeit im Maximum etwa mit einer SN Typ Ib/Ic vergleichbar.

A.1.3 Supernovae und die kosmische Entfernungsskala

Die Supernovae vom Typ Ia scheinen sehr gleichförmige absolute Helligkeiten im Maximum zu haben: die Schwankungsbreite wird mit nur $0,1^{\text{mag}}$ angenommen! Neuere Bestimmungen schwanken zwischen $M = -19,0$ und $-19,7^{\text{mag}}$ im visuellen Licht. Daher können SN Ia als "Standardkerzen" zur Entfernungsbestimmung ihrer Muttergalaxien und zur Ableitung der Hubble-Konstanten benutzt werden.

A.1.4 Verteilung der Supernovae

Supernovae der Typen Ib/Ic sowie II werden immer in Spiralgalaxien oder irregulären Galaxien gefunden. Normalerweise leuchten sie in den Spiralarmen oder nahe ionisierten Wasserstoffwolken (H II Regionen) auf. Das sind Orte, wo Sterne entstehen. Die Vorläufer dieser Supernovae scheinen daher junge, massereiche Sterne (typischerweise 20 Sonnenmassen) zu sein, die nur etwa 10 Millionen Jahre auf der Hauptreihe des Hertzsprung-Russell-Diagramms (HRD) Wasserstoff zu Helium umwandeln.

Supernovae des Typs Ia leuchten in allen Arten von Galaxien auf, auch in den elliptischen Galaxien, in denen die Sternentstehung schon vor langer Zeit zu Ende gegangen ist. Das zeigt an, daß sie aus älteren, weniger massereichen Sternen entstehen.

A.1.5 Was bewirkt eine Supernova?

Der Ausdruck "Supernova" steht für zwei unterschiedliche Arten von Sternexplosionen am Ende der Sternentwicklung (Lit.2).

Eine Supernova Typ Ia entsteht bei der thermonuklearen Explosion eines weißen Zwerges, der seine maximal mögliche Masse erreicht hat: die Chandrasekhar-Grenze von 1,4 Sonnenmassen. Das Ereignis wird wahrscheinlich durch Massenansammlung in einem engen Doppeltsternsystem ausgelöst. Es hinterläßt keinen kompakten Überrest.

Der weiße Zwerg ist der Überrest eines entwickelten Sterns von 4 bis 8 Sonnenmassen, der allen Wasserstoff durch Sternwinde oder den Ausstoß eines Planetarischen Nebels bereits verloren hat.

Die nukleare Kettenreaktion beginnt nahe dem Zentrum des weißen Zwergs und zerreißt ihn in Stücke. Während dieser Explosion werden schwere Elemente wie Gold oder Uran gebildet. Dieser Prozeß verbraucht Energie und kommt in normalen Sternen nicht vor. Dort endet die nukleare Synthese der Elemente beim Eisen.

Supernovae vom Typ II entstehen in massereichen Einzelsternen (10 Sonnenmassen oder mehr). Diese Sterne verbrennen Wasserstoff zu Helium, danach Helium zu Kohlenstoff und Sauerstoff usw. bis der Stern im Inneren einen Eisenkern aufweist, der keine weiteren Kern-

3. Fortsetzung Referat: Die historischen Novae und Supernovae ...

reaktionen zuläßt. Der Stern hat dann eine zwiebelartige Struktur und ist ein Überriese mit 50 bis 500 Sonnendurchmessern.

Nachdem der Eisenkern eine kritische Masse erreicht hat, fällt sein innerer Teil innerhalb weniger Sekunden in sich zusammen und bildet ein superdichtes Objekt. Der Rückprall schleudert die äußeren Sternschichten auseinander.

Die Verschiedenheit der Supernovae Typ II kann durch die unterschiedlichen Vorläufersterne (blaue und rote Riesen) gut erklärt werden. Als mögliche Vorläufersterne für Supernovae Typ II wurden Objekte wie Beteigeuze oder auch Rigel im Orion angenommen.

Der Überrest einer Supernova Typ II ist meist ein Neutronenstern mit 10 bis 20 km Durchmesser (in manchen Fällen als Pulsar beobachtet) und eine sich sehr rasch (2.000 bis 20.000 km/s) ausdehnende Gashülle.

Heute scheint es wahrscheinlich, daß auch Supernovae Typ Ib und Ic aus dem Kernkollaps massiver Einzelsterne entstehen. Supernovae Typ Ib scheinen einen Vorläuferstern zu haben, der bereits seine äußere Hülle aus Wasserstoff verloren hat, Typ Ic hat auch die äußere Hülle aus Helium bereits verloren (durch Sternwinde oder Materietransfer auf einen Begleiterstern).

A.2 Quellen für historische Supernova-Beobachtungen

Supernovae sind relativ seltene Ereignisse. In unserer Milchstraße erwartet man etwa eine Supernova pro Jahrhundert (neuere Untersuchungen deuten auf eine Häufigkeit von einer Supernova in 30 Jahren hin). In diesem Jahrtausend sind vier Ereignisse gesicherte Supernova-Beobachtungen: 1006, 1054, 1572 und 1604.

Supernovae, die am anderen Ende der Milchstraße erscheinen, können wir durch die Abschwächung ihres Lichts durch das Milchstraßenzentrum und die dichten Staubwolken der galaktischen Ebene nicht erkennen. Die beobachtete Häufigkeit entspricht somit der Erwartung. Seit der Erfindung des Fernrohrs sind in der Milchstraße keine Supernovae sichtbar geworden. Daher sind die alten Beobachtungen sehr nützlich, um etwas über Supernovae zu lernen.

A.2.1 Klassische griechische und römische Texte

Hier wurden noch keine Berichte von Wert gefunden. Die bekannteste Anmerkung stammt von Plinius. Er schreibt 77 n.Chr., daß das Erscheinen eines neuen Sterns Hipparchus zur Erstellung des ersten bekannten Sternkatalogs (ca. 1.000 Sterne, um 130 v.Chr.) angeregt hätte. Allerdings berichtet er auch von der Bewegung dieses Sterns, was einen Kometen nahelegen würde.

A.2.2 Babylonische Texte

Die Keilschrifttafeln (ca. 700 bis 50 v.Chr.) enthalten viele astronomische Angaben (siehe entsprechende Seminarreferate). An-

4. Fortsetzung Referat: Die historischen Novae und Supernovae ...

scheinend sind aber noch keine Beschreibungen von Novae oder Supernovae gefunden worden (Lit.1).

A.2.3 Mittelalterliche europäische Klosterchroniken

Etwa ab 1000 n.Chr. gibt es sehr umfangreiche Klosterchroniken in Europa. Leider sind die astronomischen Kenntnisse der Autoren oft sehr fragwürdig. So zitieren Clark und Stephenson (Lit.1) einen Fall, der Venus nicht eindeutig identifizieren kann.

Von der Supernova 1054 gibt es keine bekannten Berichte aus Europa. Die extrem helle Supernova 1006 ist in zwei Berichten aus Benevento und St.Gallen beschrieben. Es sind die einzigen bekannten Beschreibungen von Wert.

A.2.4 Arabische Quellen

Obwohl die arabischen Astronomen des Mittelalters die europäischen übertrafen, finden wir nur Berichte der Supernova 1006. Die weniger helle Supernova des Jahres 1054 scheint nirgends beschrieben zu sein.

A.2.5 Europäische Beobachtungen

Zwischen 1006 und 1572 ist in Europa anscheinend keine Supernova beobachtet worden. Die ersten wissenschaftlichen Beobachtungen machten Tycho Brahe und andere 1572 sowie Kepler, Fabricius und andere 1604. Wir wissen über diese beiden Supernovae am besten Bescheid.

A.2.6 Weitere Quellen

1976 wurde vermutet, daß einige Höhlenzeichnungen amerikanischer Indianer die Supernova 1054 im Stier darstellen könnten. Leider können wir aus diesen Angaben nichts Näheres über den Stern erfahren.

A.2.7 Die Beobachtungen im fernen Osten: China, Korea und Japan

A.2.7.1 China

Die wichtigsten historischen Beobachtungen stammen aus dem Fernen Osten, vor allem aus China. Die chinesische Geschichtsschreibung beginnt um 1500 v.Chr. Der erste Kaiser von China ließ allerdings 213 v.Chr. die älteren Geschichtsbücher verbrennen. Daher ist aus älteren Zeiten sehr wenig erhalten geblieben (Lit.1). Danach gibt es eine lückenlose Folge von Geschichtsbüchern der jeweiligen Herrscherdynastien. Es sind allerdings kaum Originalbeobachtungen darin erhalten, sondern (oft sehr viel später erstellte) Zusammenfassungen astronomischer Beobachtungen in astrologischer Zielsetzung.

Quelle der Zusammenfassungen in den Geschichtsbüchern waren die Beobachtungen des "Astronomischen Büros", das neben astronomischen und anderen Beobachtungen und Berechnungen auch astrologische und historische Aufgaben hatte. Diese Stelle war direkt am jeweiligen Kaiserhof eingerichtet. Die Aufzeichnungen waren geheim.

5. Fortsetzung Referat: Die historischen Novae und Supernovae ...

Die Überzeugung der Verbindung zwischen Naturereignissen und der menschlichen Geschichte war der Grund für die genaue Naturbeobachtung und die Aufzeichnung astronomischer Ereignisse. Natürlich gibt es Übertragungsfehler und sogar Fälschungen von Texten. Insgesamt scheinen aber die nachprüfbareren Beobachtungen wie z.B. Planetenkonjunktionen, Finsternisse usw. größtenteils richtig zu sein.

A.2.7.2 Korea

Es sind einige Werke aus dem ersten Jahrtausend sowie späteren Zeiten erhalten. Ganz ähnlich wie in China wurden auch astronomische Beobachtungen in die Geschichtsbücher aufgenommen.

A.2.7.3 Japan

Hier gibt es ab dem sechsten Jahrhundert n.Chr. astronomische Berichte. Sie sind verstreut in verschiedenen Tagebüchern und privat geschriebenen Geschichtsbüchern zu finden. Die Zielsetzung der Beobachtungen und Aufzeichnungen scheint von China beeinflusst zu sein.

A.3 Supernova-Überreste

Die Identifikation von Supernova-Überresten mit historischen Beobachtungen stellen unsere beste Möglichkeit dar, etwas über die Entwicklung dieser Sterne zu erfahren.

Supernova-Überreste (SNR) sind starke Radioquellen. Das Radiospektrum zeigt ihr charakteristisches Kontinuum (nicht-thermische Strahlung). Im sichtbaren Licht sind bei einigen SNR auch schwache Gasfilamente erkennbar. In vielen Fällen bemerkt man auch Emission im Röntgenlicht und manchmal einen Pulsar an dieser Stelle.

Supernova-Überreste sind auch an der enormen Ausdehnungsgeschwindigkeit der Gaswolken erkennbar. Der Crabnebel dehnt sich z.B. mit ca. 1.000 km/s aus, die Quelle Cas A mit 6.000 km/s.

A.4 Die historischen Supernovae

A.4.1 Wahrscheinliche und sichere Supernovae

Aus den vorwiegend fernöstlichen Quellen wählen Clark und Stephenson (Lit.1) die wahrscheinlichen und sicheren Supernova-Beobachtungen aus. Dabei werden folgende Kriterien zur Auswahl und Abgrenzung der beobachteten Phänomene herangezogen:

- Das Objekt muß als "Gaststern" beschrieben sein (Abgrenzung zu flächenhaften Kometen)
- Das Objekt darf nicht als bewegt beschrieben sein (Abgrenzung zu Kometen)
- Das Objekt muß länger als 50 Tage sichtbar gewesen sein (Abgrenzung zu Novae, Sichtungen von Mira usw.)

6. Fortsetzung Referat: Die historischen Novae und Supernovae ...

- In der beobachteten Position (oft ungenau!) müssen moderne Beobachtungen einen Supernova-Überrest geringen Alters feststellen (aus der Ausdehnung des Gases berechenbar)

A.4.2 Supernova-Katalog

Die Objekte, die diese Kriterien erfüllen, sind in folgender Tabelle (Auszug aus Lit.1) näher beschrieben.

Nummer	Datum	Orte	Dauer	Rekt 1950.0	Dekl 1950.0
17	185 Dez. 7	C	20 Monate	14h20m	-60°
24	386 Apr./Mai	C	3 Monate	18 30	-25
25	393 Feb./Mar.	C	8 Monate	17 10	-40
45	1006 Apr. 3	C, J, A, E	mehr als 2 Jahre	15 10	-40
48	1054 Jul. 4	C, J	22 Monate	05 40	+20
58	1181 Aug. 6	C, J	185 Tage	01 30	+65
70	1572 Nov. 8	C, E, K	16 Monate	00 20	+65
75	1604 Okt. 8	C, E, K	12 Monate	17 30	-20

Die Spalten bedeuten:

Nummer	im Katalog in Lit.1
Datum	Bis 1582 julianischer, danach gregorianischer Kalender
Ort	An diesen Orten wurde die Supernova beobachtet: C=China, J=Japan, K=Korea, A=Arabien, E=Europa
Dauer	Dauer der Sichtbarkeit
Rekt, Dekl	für 1950.0; geschätzt aus den Sternkarten des Ho Peng Yoke

A.4.3 Entdeckungswahrscheinlichkeit

Aus den fast vollständig fehlenden Sichtungen von Mira Ceti (maximale Helligkeit +2 bis +3^{mag}) kann geschlossen werden, daß nur Objekte heller als +2^{mag} von den fernöstlichen Astronomen tatsächlich entdeckt wurden.

Novae mit einer mittleren absoluten Helligkeit von -7,5^{mag} im Maximum dürfen daher nicht weiter als etwa 1.500 Lichtjahre entfernt sein, um entdeckt zu werden.

Supernovae können je nach Abschwächung ihres Lichts im interstellaren Raum bis in 15.000 bis 30.000 Lichtjahre Entfernung gesehen werden. Auch das umfaßt nur den uns näheren Teil der Milchstraße.

A.5 Historische Supernovae in Einzelbeschreibungen

Die Beschreibungen folgen fast vollständig Clark und Stephenson (Lit.1) sowie den Zusammenfassungen in Lit.7.

A.5.1 Supernova 185

Das ist die früheste Beobachtung von einiger Gewißheit. Das Objekt wurde nur durch eine chinesische Beobachtung beschrieben. Daraus folgt eine Deklination von ca. -51° - eine Sichtung von Europa aus ist daher unmöglich. Allerdings gibt es die Möglichkeit einer Beobachtung in Alexandria (Breite $+31^\circ$).

Der Bericht (Lit.1) bietet zunächst eine Zeitangabe "Im zweiten Jahr der Epoche Chung-p'ing des Kaisers Hsiao-ling, im zehnten Monat, Tag kuei-hai" und beschreibt dann das Phänomen: "erschien ein Gaststern im Sternbild Nan-men (Südliches Tor). Er war so groß wie eine halbe Bambusmatte. Er zeigte auf angenehme Weise die fünf Farben und szintillierte. Er wurde langsam schwächer und verschwand im sechsten Monat des darauffolgenden Jahres." Danach gibt der Bericht nähere Angaben zur astrologischen Bedeutung und beschreibt das Eintreffen der Prognosen sechs Jahre später.

Da der Bericht im nachhinein und aus astrologischen Gründen abgefaßt erscheint, überprüfen Clark und Stephenson (Lit.1) die Quelle durch dort angegebene Planetenbeobachtungen. Eine Fälschung erscheint ausgeschlossen und die Beobachtungen sind generell recht verlässlich. Leider gibt es keine weiteren Beobachtungen dieses Objekts.

Der erwähnte Termin der ersten Beobachtung ist +185 Dez.7. Wenn die Dauer wirklich 20 Monate beträgt, wurde die Supernova im Jul.-Aug. +187 unsichtbar.

Der Ort der Erscheinung kann rekonstruiert werden, da "Nan-men" vermutlich das von Alpha, Beta und Epsilon Centauri gebildete Dreieck bezeichnet. Der Gaststern erschien etwa zwischen Alpha und Beta Cen (Ort ca. $12^{\text{h}}27^{\text{m}}$ -51° für +185). Der Stern erreichte am Beobachtungsort (Lo-yang; Länge $112,7^\circ\text{Ö}$ Breite $+34,8^\circ\text{N}$) daher nur ca. 4° Höhe in der Kulmination.

Die scheinbare Helligkeit der Erscheinung im Maximum kann aus der Sichtbarkeitsdauer, der absoluten Helligkeit einer typischen Typ I Supernova sowie der Extinktion zu grob -8^{mag} abgeschätzt werden. Aus dem Text folgt auch eine mögliche Tagsichtbarkeit des Objekts.

An der im Text angegebenen Position zwischen Alpha und Beta Cen sind mehrere Supernova-Überreste bekannt. Das Radioobjekt G315.4-2.3 ist der wahrscheinliche Überrest: Position $14^{\text{h}}39^{\text{m}}00^{\text{s}}$ $-62^\circ17'$ (1950.0), daraus folgt $12^{\text{h}}42,3^{\text{m}}$ $-53^\circ24'$ (+185). An derselben Stelle sind auch einige optische Filamente (RCW 86) sichtbar. Das Objekt scheint etwa 8.000 Lichtjahre entfernt zu sein, was gut zur abgeschätzten maximalen Helligkeit der Supernova passen würde.

Der Typ der Supernova ist aus den Beobachtungen etwas zweifelhaft, Lit.1 favorisiert allerdings Typ I.

8. Fortsetzung Referat: Die historischen Novae und Supernovae ...

Es gibt auch neue Vermutungen, daß die Abbildung des römischen Kaisers Caracalla (186-217) auf einer Münze die Supernova zum Zeitpunkt seiner Geburt zeigt. Am Geburtsort Caracalla's soll die Supernova gerade über dem südlichen Horizont sichtbar gewesen sein.

A.5.2 Die möglichen Supernovae 386 und 393

Beide Sterne wurden in China während derselben Regierung beobachtet und ihre Beschreibungen sind sehr kurz. Es gibt zwei unabhängige Textstellen.

A.5.2.1 Das Objekt 386

Das Objekt erschien "in der Nähe des Sternbilds Nan-tou" (Zeta, Tau, Sigma, Phi, Lambda, My Sgr). Die Position kann daher nur sehr ungenau angegeben werden.

Die scheinbare Helligkeit im Maximum kann aus der Sichtbarkeitsdauer (3 Monate) zu $+1,5^{\text{mag}}$ abgeschätzt werden. Das ergibt eine Entfernung zwischen 15.000 und 30.000 Lichtjahre.

Der einzige in Frage kommende Supernovaüberrest, auf den diese Daten passen würden ist G11.2-0.3 (Ort $18^{\text{h}}08^{\text{m}}31^{\text{s}}$ $-19^{\circ}26'$ für 1950.0; das entspricht $16^{\text{h}}37,0^{\text{m}}$ $-18^{\circ}01'$ für 386).

Die kurze Sichtbarkeitsdauer (die nicht durch den heliakischen Untergang beendet wurde) macht dieses Objekt zu einem unsicheren Supernova-Kandidaten.

A.5.2.2 Die Supernova 393

Die Position dieses Objekts ist viel genauer beschrieben: "innerhalb des Sternbilds Wei". Das ist unser Schwanz des Skorpions, gebildet aus den Sternen Epsilon, My, Zeta, Eta, Theta, Iota, Kappa und Lambda Sco.

Die Sichtbarkeit dauerte 8 Monate und wurde durch den heliakischen Untergang der Supernova im Okt.393 beendet. Es gibt keinen Bericht über das Wiederauffinden der SN nach dem heliakischen Aufgang.

Im Maximum dürfte die Supernova etwa 0^{mag} hell geworden sein, sofern sie vom Typ I war. Daraus folgt eine Entfernung um die 15-20.000 Lichtjahre. Am angegebenen Ort findet man viele Supernova-Überreste. Die wahrscheinlichsten Kandidaten sind

Name	Rekt 1950.0	Dekl 1950.0	Rekt 393	Dekl 393
G348.5+0.1	17h11,2m	-38°26'	15h28,3m	-34°45'
G348.7+0.3	17 10,8	-38 06	15 28,2	-34 25

Durch die längere Sichtbarkeit ist dieses Objekt ziemlich sicher eine Supernova gewesen. Leider kann durch die ungenaue Ortsangabe keine eindeutige Identifikation mit einem SN-Überrest erfolgen.

A.5.3 Supernova 1006 im Wolf

Dieser neue Stern wurde so hell, daß er auf der ganzen Welt beobachtet wurde. Es gibt Berichte aus China, Japan, Korea, Arabien und sogar aus Europa. Der Stern erschien $1\frac{1}{2}^\circ$ nordöstlich von Beta Lupi, $1/2^\circ$ östlich von Kappa Centauri.

Die ersten Beobachtungen in China wurden anscheinend am 1. Mai 1006 gemacht. Der Stern war "... so hell, daß man Dinge in seinem Licht deutlich sehen konnte...". Der heliakische Untergang ist für den Sept. 1006 angegeben. Ende Nov./Anfang Dez. 1006 wurde die Supernova wieder sichtbar (heliakischer Aufgang) und blieb anscheinend für volle zwei Jahre oder länger für das freie Auge sichtbar.

Der arabische Astronom Ali ibn Ridwan beschreibt die Helligkeit als "2 $\frac{1}{2}$ bis 3mal so groß wie Venus" und "der Himmel leuchtete im Licht [des Sterns]" sowie "das Licht war ein wenig mehr als ein Viertel des Lichts des Mondes". Die Supernova ist am 30. Apr. 1006 erstmals gesehen worden.

Zur Festlegung des Orts ist neben den alten Beschreibungen vor allem eine Beobachtung aus dem Kloster St. Gallen (Schweiz) wertvoll: "1006. Ein neuer Stern ungewöhnlicher Größe erschien ... Er war drei Monate im äußersten Süden sichtbar, tiefer als alle Sternbilder des Himmels.". Die geographische Breite des Beobachtungsorts ist $47,4^\circ\text{N}$ und aus dem Horizontprofil von St. Gallen (im Süden die Gebirgskette mit dem Säntis bis nahe 5° Höhe) ergibt sich eine untere Grenze in der Deklination von $-38,5^\circ$. Der Stern kann keine wesentlich nördlichere Deklination als ca. $-33,5^\circ$ gehabt haben, da sonst die Beschreibung nicht paßt.

Lit. 1 diskutiert diese und alle weiteren alten Beobachtungen und ermittelt den Ort zu Rekt. $14^{\text{h}}10^{\text{m}} \pm 10^{\text{m}}$ Dekl. $-37,5^\circ \pm 1,0^\circ$ (Epoche 1006).

Die Helligkeit des Sterns wird sehr unterschiedlich beschrieben. In Japan wurde er mit Mars verglichen. Im Irak "ähnlich der Venus in Größe und Helligkeit", sowie "seine Strahlen auf der Erde waren wie die Strahlen des Mondes". In China und Europa wurde der Stern als außerordentlich hell beschrieben. Es gibt Berichte aus China, daß der Stern nach der Entdeckung um den 1. Mai 1006 heller wurde und erst am 30. Mai (?) seine größte Helligkeit erreichte.

Aus den Vergleichen des Sterns mit Mond, Venus usw., der atmosphärischen Extinktion durch den tiefen Stand an vielen Beobachtungsorten sowie der an einigen Orten beschriebenen Aufhellung des Himmels durch den Stern schließen Clark und Stephenson (Lit. 1) auf eine scheinbare maximale Helligkeit von $-9,5^{\text{mag}}$.

Am Ort des Sterns gibt es zwei Supernova-Überreste. Das einzige durch sein geringes Alter in Frage kommende Objekt ist die Radioquelle PKS 1459-41 (G327.6+14.5) mit einem Durchmesser von 34'. Die Quelle ist am Ort $14^{\text{h}}59^{\text{m}}30^{\text{s}} -41^\circ 45'$ (1950.0), das entspricht $14^{\text{h}}00,6^{\text{m}}$

10. Fortsetzung Referat: Die historischen Novae und Supernovae ...

-37°35' (1006), in Übereinstimmung mit den direkten Beobachtungen. Aus verschiedenen Abschätzungen folgt die Entfernung zu diesem Überrest zu 3.500 Lichtjahren. Das ist konsistent mit der angegebenen scheinbaren Helligkeit.

Im sichtbaren Licht fand S. van den Bergh 1976 dort schwache nebel-förmige Filamente mit 9' Länge und wenigen Bogensekunden Dicke. Aus der Ausdehnung der Gasfilamente von 0,3" pro Jahr und der spektroskopisch gemessenen von 2.800 bis 3.900 km/s wurde 1989 die Entfernung zu 5.500 bis 10.000 Lichtjahren abgeschätzt. Eine Supernova Typ Ia erreicht in dieser Entfernung -5 bis -8^{mag}.

A.5.4 Supernova 1054 im Stier (Crabnebel-Supernova)

Diese Supernova wird im GCVS (Lit.9) auch als CM Tauri bezeichnet.

Auch hier finden wir mehrere Berichte aus dem Fernen Osten, allerdings keine aus Europa. Einige Autoren vermuten auf Höhlenzeichnungen amerikanischer Indianer eines Sterns mit Mondsichel die Konjunktion des Mondes mit der Supernova am 5.Jul.1054.

Der neue Stern erschien am 4.Jul.1054 nahe Zeta Tauri und erreichte um den 27.Jul.1054 die maximale Helligkeit von -4^{mag}. Er wurde bis 17.Apr.1056 mit freiem Auge beobachtet. Ein weiterer Bericht sagt, daß der Stern "so hell wie Venus" war und während 23 Tagen bei Tageslicht gesehen werden konnte. Die Supernova war mit freiem Auge 22 Monate sichtbar.

As den alten Beobachtungen folgt ein Ort "nahe Zeta Tauri", in einigen Quellen auch "südöstlich Zeta Tauri". Der Typ der Supernova ist etwas kontrovers; derzeit wird Typ II bevorzugt.

Als Überrest der Supernova gilt der Crabnebel M 1. Aufgrund der Geschwindigkeit der Ausdehnung der Gasfilamente des Nebels kann auf ein Entstehungsjahr 1140 ± 10 geschlossen werden. Die Entfernung des Crabnebels von 6.500 Lichtjahren entspricht auch der Entfernungsabschätzung der Supernova aus der scheinbaren Maximalhelligkeit (6.500 bis 8.000 Lichtjahre).

An der Identifikation der Supernova mit M 1 wurden auch Zweifel aus den alten Positionsangaben und anderen Überlegungen geäußert. In der fraglichen Gegend sind allerdings keine anderen SNR außer M 1 bekannt, der noch dazu das richtige Alter aufweist.

Der Crabnebel ist das am besten studierte Objekt am Himmel. Das schon im kleinen Fernrohr sichtbare weiße Licht entsteht durch Synchrotron-Strahlung sehr rasch spiralerender Elektronen im Magnetfeld. Der Pulsar im Inneren (Periode 0,0331^s) liefert die Energie für die Strahlung und wurde in allen Wellenlängen beobachtet, im sichtbaren Licht als Stern +16^{mag}. Im Nebel leuchtet auch Gas in Emission - die Überreste der Hülle des Vorgängersterns.

A.5.5 Supernova 1181

Dieser Stern wurde in unabhängigen Berichten aus Nord- und Südchina sowie Japan von mehreren Personen beobachtet und beschrieben.

Der Stern wurde erstmals am 6.Aug.1181 in der Helligkeit wie Saturn gesehen, erreichte wenige Tage später eine Helligkeit um 0^{mag} und blieb etwa 6 Monate sichtbar. Aus der Lichtkurve ist der Typ I abschätzbar.

Der Ort des neuen Sterns aus den alten Berichten deutet auf den östlichen Teil des "W" der Kassiopeia hin. In der fraglichen Gegend gibt es zwar mehrere Supernova-Überreste, jedoch nur einen, der altersmäßig paßt: die Radioquelle 3C 58 (G130.7+3.1) am Ort $2^{\text{h}}01^{\text{m}}43^{\text{s}}$ $+64^{\circ}36,5'$ (1950.0), das entspricht $1^{\text{h}}09,0^{\text{m}}$ $+60^{\circ}41'$ (1181). Der Ort dieser Quelle ist konsistent mit den Beschreibungen der fernöstlichen Beobachter.

Am Ort von 3C 58 wurden schwache Nebelfilamente im sichtbaren Licht beobachtet. Im Infraroten ähnelt das Objekt dem Crabnebel, allerdings wurde noch kein Pulsar gefunden. Die Supernova mußte dann vom Typ II sein, da Typ Ia Ereignisse keine stellaren Überreste hinterlassen. Die Entfernungsschätzungen zu diesem Objekt schwanken zwischen 9.000 und 26.000 Lichtjahren.

A.5.6 Supernova 1572: Tycho's Supernova

Diese Supernova wird im GCVS auch als B Cassiopeiae bezeichnet.

Obwohl auch dieses Objekt in China und Korea beobachtet wurde, stammen die bei weitem besten Beobachtungen aus Europa. Die Entwicklung der Astronomie Europas hatte nun die im fernen Osten überflügelt.

Die Supernova wurde am 6.Nov.1572 von W.Schüler in Wittenberg entdeckt (möglicherweise von F.Maurolyco bereits früher) und von vielen anderen Beobachtern in den nächsten Tagen genau beschrieben. Tycho Brahe entdeckte die Supernova unabhängig davon am 11.Nov.1572, als sie bereits heller als Jupiter war und bald die Helligkeit der Venus erreichte. Das Maximum wurde am 15.Nov.1572 mit $-4,0^{\text{mag}}$ erreicht. Für etwa zwei Wochen war die Supernova heller als jeder andere Stern am Himmel und konnte selbst bei hellem Tageslicht gesehen werden.

Ende Nov.1572 begann die Supernova langsam schwächer zu werden und die Farbe zu verändern: von strahlend weiß zu gelb, orange und danach rötlich. Für das freie Auge wurde die Supernova im März 1574 unsichtbar, 16 Monate nach der Entdeckung.

Die Lichtkurve zeigt den Supernova-Typ I:

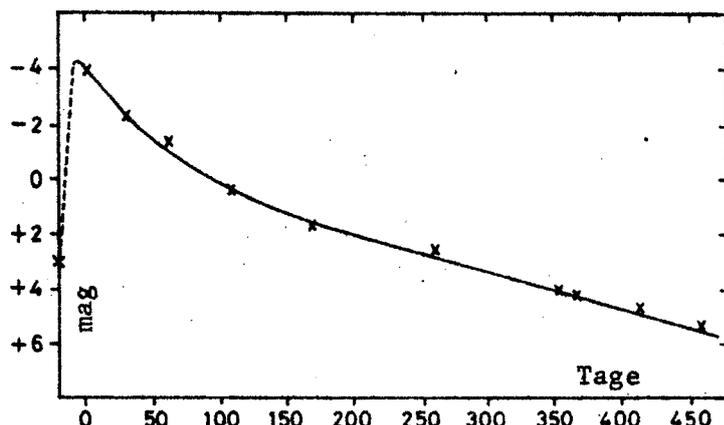


Abb.3
Lichtkurve der Supernova 1572. Auf der Abszisse sind Tage nach 1572 11 15 (geschätztes Maximum) aufgetragen (Lit.1).

Tycho Brahe, zu dieser Zeit erst 26jährig, war von dieser Erscheinung am angeblich unveränderlichen Himmel fasziniert. Er bestimmte (ohne Fernrohr) die Position auf eine Bogenminute genau und machte genaue Helligkeitsschätzungen. Daher ist die Supernova ihm zu Ehren als "Tycho's Stern" bekannt.

Die Supernova leuchtete $1\frac{1}{2}^\circ$ nordwestlich von Kappa Cas auf. Tycho bestimmte den Ort zu $0^h22^m32^s +63^\circ51,3'$ (umgerechnet auf 1950.0), das entspricht $0^h02,3^m +61^\circ45'$ (1572). Sehr nahe diesem Ort sind schwache Nebelfetzen sichtbar, die auch als Radioquelle (G120.1+1.4; Ort 1950.0 ist $0^h22^m37^s +63^\circ52'$) und im Röntgenbereich festgestellt wurden. Die Entfernung kann zu 11.000 Lichtjahren abgeschätzt werden. Der Überrest von Tycho's Supernova hat heute 13 Lichtjahre Durchmesser.

A.5.7 Supernova 1604: Kepler's Supernova

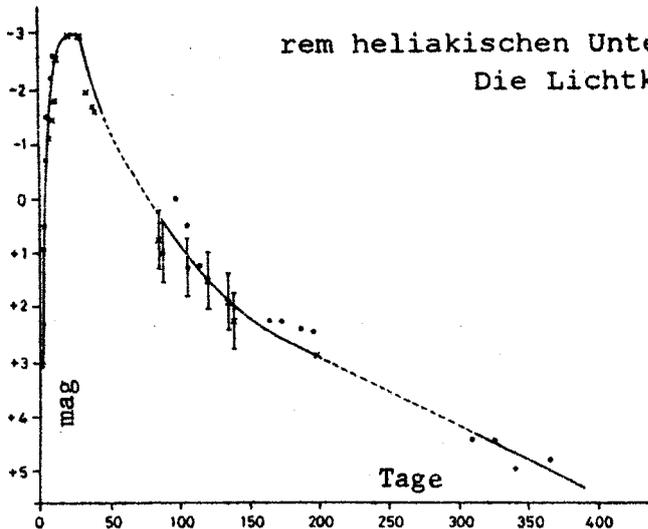
Diese Supernova wird im GCVS auch als V843 Ophiuchi bezeichnet.

Trotz der südlichen Deklination (-21°) und der Nähe zur Sonne (nur 58° östliche Elongation zur Entdeckungszeit) wurde die Supernova fast gleichzeitig in Europa und China entdeckt. Die Supernova erschien im Schlangenträger (4° NNÖ von Theta Oph) nur 3° nordwestlich von Mars und Jupiter (in Konjunktion) und 4° östlich von Saturn. Dieser Umstand trug sicher zur genauen Beobachtung bei.

Am 8.Okt.1604 war sie noch nicht sichtbar (Fabricius und andere haben an diesem Tag Mars und Jupiter beobachtet und nichts Besonderes bemerkt). Die ersten Berichte stammen aus Italien vom 9.Okt.1604, Kepler sah den Stern erstmals am 17.Okt.1604. Die Supernova erreichte das Maximum um den 1.Nov.1604. Kepler sah den Stern letztmals am 16.Nov. vor der Konjunktion mit der Sonne am 9.Dez.1604. Nach dem heliakischen Aufgang wurde die Supernova in Europa und im Fernen Osten wieder aufgefunden. Kepler hat die Supernova bis zum 8.Okt.1605 beobachtet.

Die ersten Beobachtungen vergleichen die Supernova mit Mars. Innerhalb weniger Tage wurde sie heller als Jupiter und blieb bis zu ih-

13. Fortsetzung Referat: Die historischen Novae und Supernovae ...



rem heliakischen Untergang mit Jupiter vergleichbar.
Die Lichtkurve zeigt den Supernova-Typ I:

Abb.4:
Lichtkurve der Supernova
1604 aus koreanischen (*)
und europäischen (•) Beob-
achtungen. Auf der Abszisse
sind Tage nach 1604 10 08
aufgetragen (Lit.1)

Sehr wertvoll bei der Erstellung waren die koreanischen Beobachtungen, da es aus Europa zwischen Mitte Okt.1604 und Anfang Jan.1605 keine Helligkeitsschätzungen zu geben scheint.

Am 20.Jan.1605 war Venus nur $1/2^\circ$ von der Supernova entfernt zu sehen (durch koreanische Beobachtungen festgehalten).

Kepler beschrieb das Objekt genau in seinem Werk "De Stella Nova in Pede Serpentarii". Der Ort wird zu $17^h27^m39^s -21^\circ26,6'$ (1950.0), das entspricht $17^h07,0^m -21^\circ05'$ (1604) gefunden.

An diesem Ort suchte Baade 1943 nach dem Überrest der Supernova und fand schwache Nebelfetzen mit 40" Durchmesser und $+19^{mag}$ am Ort $17^h27^m41^s -21^\circ27'$ (1950.0). Das Objekt ist auch als Radioquelle 3C 358 (G4.5+6.8) mit einem Durchmesser von 3' bekannt. 1979 wurde der Überrest von Kepler's Supernova als schwache Röntgenquelle erkannt.

Die Entfernung der Supernova wird zu 15.000 bis 20.000 Lichtjahre abgeschätzt. Der Überrest ist heute 6 Lichtjahre groß.

A.6 Verteilung der historischen Supernovae in der Milchstraße

Aus Lit.13 stammt folgendes Diagramm, das die Ebene der Milchstraße mit der Sonne und die Verteilung der historischen Supernovae zeigt:

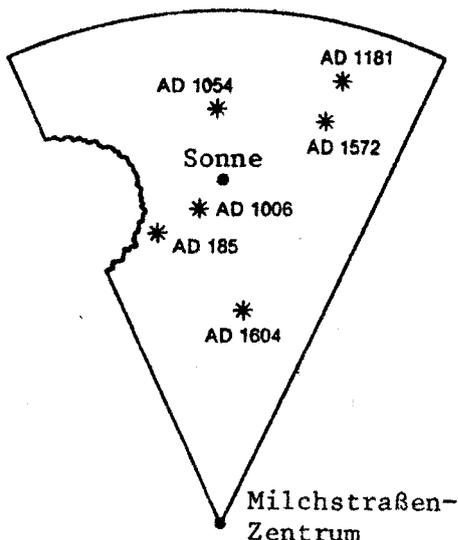


Abb.5
Verteilung der historischen Supernovae
mit Bezug auf die Sonne und das Milch-
straßenzentrum. Der ausgebrochene Be-
reich lag für nördliche Zivilisationen
zu weit südlich, um beobachtbar zu
sein (Lit.13).

A.7 Supernovae nach 1604

A.7.1 Die Radioquelle Cassiopeia A - eine unbeobachtete Supernova

Am Ort $23^{\text{h}}21^{\text{m}}11^{\text{s}} + 58^{\circ}32,3'$ (1950.0) in der Cassiopeia gibt es eine sehr starke Radioquelle namens Cassiopeia A. Dort wurden auch im sichtbaren Licht Nebelfilamente mit einer Ausdehnungsgeschwindigkeit von mehr als 5.000 km/s festgestellt: ein Supernova-Überrest. Wenn aus der Ausdehnungsgeschwindigkeit die Ausbruchszeit berechnet wird, kommt man auf die Jahre von 1653 bis 1680. Der Überrest dürfte von einer Typ II Supernova stammen. Die Entfernung wird zu 9.000 Lichtjahren abgeschätzt.

Es erscheint merkwürdig, daß eine Supernova in dieser Entfernung damals von niemandem bemerkt wurde. Möglicherweise war die Supernova durch interstellare Absorption so geschwächt, daß sie niemand bemerkte. Es könnte sich auch um eine ungewöhnliche Supernova gehandelt haben, die nicht sehr hell wurde.

Eine Ausnahme könnte John Flamsteed gewesen sein, der in seinem Sternkatalog nahe diesem Ort den Stern 3 Cas verzeichnet. Die Beobachtung stammt vom 3. Aug. 1680 mit $+6^{\text{mag}}$ (Lit.6). Dieser Stern wurde von niemandem wieder gesehen und gilt als Fehler im Katalog. Die Abweichung im Ort von Flamsteed's 3 Cas und Cas A beträgt $9,7'$. Flamsteed's Beobachtungen sind normalerweise viel genauer. Allerdings gibt es in seinem Katalog fallweise Fehler ähnlicher Größe. Es ist ungewiß, ob 3 Cas die Supernova von Cas A war.

A.7.2 Supernova S Andromedae 1885 in M 31

Die Supernova wurde am 17. Aug. 1885 von L. Gully in Frankreich erstmals gesehen, der sich allerdings nicht sicher genug für eine Meldung war. Die offizielle Entdeckung kam am 20. Aug. durch E. Hartwig in Dorpat, Estland. Der Stern erreichte sein Maximum am 21. Aug. 1885 mit einer scheinbaren Helligkeit von $+5,9^{\text{mag}}$. Die Supernova-Lichtkurve ähnelte dem Typ I, die Lichtabschwächung war allerdings zu Beginn zwei bis drei Mal schneller (Lit.12).

Die Supernova war der zweite entdeckte Veränderliche Stern in der Andromeda und erhielt daher die Bezeichnung S Andromedae. Sie erschien $15,4''$ westlich und $4,0''$ südlich des optischen Zentrums von M 31, am Ort $0^{\text{h}}39^{\text{m}}59^{\text{s}} + 40^{\circ}59,6'$ (1950.0).

Erst in den 1920er Jahren wurde M 31 als Galaxie ähnlich unserer Milchstraße erkannt. Die "Nova" des Jahres 1885 mußte also außerordentlich leuchtkräftig gewesen sein: die absolute Helligkeit der Supernova betrug etwa $-19,2^{\text{mag}}$ im visuellen Licht.

Der Überrest der Supernova wurde 1989 als dunkler Fleck vor der hellen Kernregion von M 31 entdeckt. Die Gaswolke dehnt sich mit 4.000 bis 5.000 km/s aus und ist derzeit ein Lichtjahr groß.

A.7.3 Supernova 1987A in der Großen Magellanschen Wolke (LMC)

Diese Supernova war die erste mit freiem Auge sichtbare seit der von 1604 und der Erfindung des Fernrohrs. Sie dürfte auch der am weitesten entfernte Einzelstern gewesen sein, der jemals mit freiem Auge gesehen wurde (LMC in 160 bis 170.000 Lichtjahren Entfernung).

Supernova 1987A ist am Ort $5^{\text{h}}35^{\text{m}}50^{\text{s}}$ $-69^{\circ}18,0'$ (1950.0) aufgeleuchtet. Die Supernova wurde nach der Entdeckung am 24.Feb.1987 mit 5^{mag} immer heller und erreichte ihr Maximum erst am 20.Mai 1987 mit $2,9^{\text{mag}}$. Zu Beginn war sie weiß und nahm im März die Farbe eines M-Sterns an, die sie dann beibehielt (B-V um $+1,8^{\text{mag}}$). Die Supernova war bis Ende Nov.1987 ($6,0^{\text{mag}}$) mit freiem Auge sichtbar (9 Monate).

Im März 1988 wurden sogar die Lichtechos des Supernova-Explosionsblitzes an der umgebenden interstellaren Materie als Ringe fotografiert (Lit.14). Ein ähnliches Phänomen wurde bei Nova GK Per 1901 beobachtet.

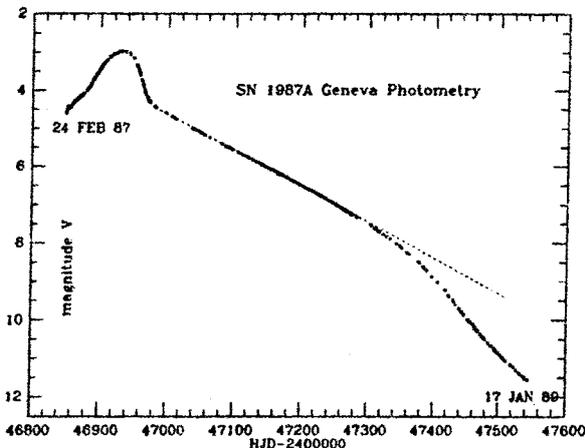


Abb.6
Lichtkurve der Supernova 1987A in V, unkorrigiert bezüglich des Einflusses der beiden Begleitsterne von Sk $-69^{\circ}202$. (ESO Messenger No.55, März 1989).

Der Vorläufer der Supernova konnte auf alten Fotos aufgefunden werden: es war der Stern Sanduleak $-69^{\circ}202$, ein blauer Überriese vom Spektraltyp B3 mit etwa 20 Sonnenmassen. Die Supernova war vom Typ II. Der als Überrest erwartete Neutronenstern konnte bis heute nicht gefunden werden. Man erklärt sich die ungewöhnliche Lichtkurve der Supernova durch die relativ geringe Größe des Vorläufersterns.

Bei der Supernova 1987A konnten auch die beim Kernkollaps entstandenen Neutrinos mit Neutrino-Detektoren beobachtet werden.

A.8 Supernovae und das Sonnensystem

A.8.1 Supernovae bildeten die Bausteine des Planetensystems

Supernovae sind eine der Hauptquellen schwerer Elemente. So zeigten Modellrechnungen für die Supernova 1987A, daß bei der Explosion etwa 0,07 Sonnenmassen (20.000 Erdmassen!) radioaktives Nickel-56 erzeugt wurden. Der weitere Zerfall zu Kobalt-56 und danach zu stabilem Eisen-56 produziert große Mengen dieser schweren Elemente (jeweils viele Erdmassen!). Der Gasnebel, aus dem sich vor etwa 5 Milliarden Jahren das Sonnensystem bildete, scheint durch vorange-

gangene Supernovae mit schweren Elementen angereichert worden zu sein. Supernovae sind daher nicht nur das Ende eines massereichen Sterns, sondern auch eine der Grundlagen für die Entstehung unseres Planeten Erde gewesen.

A.8.2 Nahe Supernovae und ihr Einfluß auf die Erde

Es gibt Abschätzungen über die Auswirkungen einer in der Nähe der Sonne (30 Lichtjahre oder weniger) explodierenden Supernova auf die Erde. Der Strahlungsblitz könnte die Ozonschicht der Erdatmosphäre auf längere Zeit (hundert Jahre) zerstören. Dadurch wird die Erdoberfläche der tödlichen UV-Strahlung der Sonne ausgesetzt.

Die sich ausdehnende Gashülle einer nahen Supernova würde nach grob 2.000 Jahren die Erde erreichen, was einen mehrfachen Anstieg der Intensität der kosmischen Strahlung und der Radioaktivität an der Erdoberfläche zur Folge hätte. Die biologischen Auswirkungen dieses Vorgangs sind nicht vorhersagbar.

Aus Überlegungen der Supernovadichte und -häufigkeit gelangen Clark und Stephenson (Lit.1) zur Vorstellung, daß sich bei jedem Durchgang der Sonne durch einen Spiralarm der Milchstraße (etwa alle 100 Mio. Jahre) eine nahe Supernova-Explosion (näher als 30 Lichtjahre) ereignet haben könnte. Sie schlagen eine Suche danach mit geologischen Mitteln vor.

So wurde 1992 aus der großen Häufigkeit des Beryllium 10 in Eisschichten in Grönland und der Antarktis wird auf eine Supernova vor 35.000 Jahren geschlossen. Der Stern wäre etwa in Halbmondhelligkeit sichtbar gewesen. Es gibt einige SNR dieses Alters etwa 150 Lichtjahre entfernt.

B Novae

B.1 Die Lichtkurve einer Nova

Novae dauern nicht so lange an wie Supernovae. Als Maß für die Geschwindigkeit einer Nova dient die Zeit, in der nach dem Maximum die Helligkeit im sichtbaren Licht um 3 Größenklassen absinkt. Schnelle Novae brauchen dazu nur Tage (z.B. Nova Cygni 1975 vier Tage). Eine langsame Nova kann mehrere Monate dazu brauchen.

Der GCVS (Lit.9) unterscheidet daher folgende Nova-Typen:

N	Novae
NA	Schnelle Novae mit raschem Anstieg und die nach dem Maximum in 100 Tagen oder weniger um 3 mag schwächer werden (z.B. GK Per)
NAB	Novae mittlerer Geschwindigkeit, die nach dem Maximum in mehr als 100 aber weniger als 150 Tagen um 3 mag schwächer werden (z.B. V400 Per)
NB	Langsame Novae die nach dem Maximum in 150 oder mehr Tagen um 3 mag schwächer werden (z.B. RR Pic)

17. Fortsetzung Referat: Die historischen Novae und Supernovae ...

NC	Novae mit sehr langsamer Entwicklung, die mehr als ein Jahrzehnt im Maximum bleiben können und danach sehr langsam schwächer werden.
NR	Wiederkehrende Novae (z.B. T CrB)

B.2 Katalog heller Novae

Durch die meist kurze Sichtbarkeitsdauer für das freie Auge sind Novae in den alten Texten nur sehr schwer zu identifizieren. Es gibt keinen sicheren Nova-Kandidaten vor CK Vul 1670.

Gesicherte oder wahrscheinliche Novae bzw. als Novae angesehene Objekte, die $+3,5^{\text{mag}}$ oder heller wurden (die Liste ist aus Lit.5 und 9 zusammengestellt):

Name	Jahr	Rekt			Dekl		Maximum	Helligkeit	Anmerkung
		1950.0	1950.0	1950.0	1950.0	1950.0			
		h	m	s	°	'			
P Cyg	1600	20	15	57	+37	52,6	Aug.1600?	+3	*
Leo	1612	09	34	15	+15	28,6	Apr.1612	+4	*
V529 Ori	1667	05	55	24	+20	15,2	28.Mär.1678	+6	*
CK Vul	1670	19	45	35	+27	11,2	Jun.1670	+2,6	*
Pup	1673	07	57	23	-43	40,9	12.Jan.1673	+3	*
Eta Car	1843	10	43	07	-59°	25,3'	Apr.1843	-0,8	*
T CrB	1866	15	57	25	+26	03,6	12.Mai 1866	+2,0	*
Q Cyg	1876	21	39	45	+42	36,8	24.Nov.1876	+3,0	
GK Per	1901	03	27	47	+43	44,1	23.Feb.1901	+0,2	
DN Gem	1912	06	51	40	+32	12,3	14.Mär.1912	+3,5	
V603 Aql	1918	18	46	21	+00	31,6	9.Jun.1918	-1,1	
V476 Cyg	1920	19	57	10	+53	28,9	24.Aug.1920	+1,6	
RR Pic	1925	06	35	10	-62	35,8	9.Jun.1925	+1,0	
DQ Her	1934	18	06	05	+45	51,0	23.Dez.1934	+1,3	
CP Lac	1936	22	13	50	+55	22,0	20.Jun.1936	+2,1	
CP Pup	1942	08	09	52	-35	12,1	11.Nov.1942	+0,5	
V446 Her	1960	18	55	03	+13	10,4	3.Mär.1960	+3,0	
V533 Her	1963	18	12	46	+41	50,4	30.Jan.1963	+3,0	
HR Del	1967	20	40	04	+18	58,9	13.Dez.1967	+3,5	
V1500 Cyg	1975	21	09	53	+47	56,7	30.Aug.1975	+1,7	

Anmerkungen:

P Cyg: W. Blaeuw aus Amsterdam entdeckte den Stern im Aug.1600 mit $+3^{\text{mag}}$ (vorher war dort kein Stern bekannt). Der Stern erschien 6 Jahre lang hell und wurde 1626 für das freie Auge unsichtbar. Er wurde 1655 wieder gesehen und erreichte 1659 $+3,5^{\text{mag}}$. Seit dem 18. Jahrhundert schwankte die Helligkeit zwischen 4,6 und $5,6^{\text{mag}}$; heute ist der Stern praktisch konstant bei $+5^{\text{mag}}$. Obwohl das Objekt manchmal als "Nova Cygni No. 1" bezeichnet wird, klassifiziert man es heute als Veränderlichen Stern vom Typ "S Doradus" (wie Eta Car).

18. Fortsetzung Referat: Die historischen Novae und Supernovae ...

- Leo 1612: Ch. Scheiner beobachtete vom 30. März bis 12. Apr. einen Stern nahe Jupiter mit 4^{mag} . War das der Stern BD+15°2083 oder eine Nova? Position nach Scheiner. Realität unsicher.
- V529 Ori 1667: J. Hevelius beobachtet einen Stern am 28. März 1678 während einer Sternbedeckung. Dieses Objekt erhielt die Bezeichnung Nova Ori 1667 (!) Mögliche Nova.
- CK Vul 1670: D. Anthelme in Dijon entdeckte diese Nova am 20. Jun. 1670 mit $+3^{\text{mag}}$. Der Stern wurde von Hevelius und anderen beobachtet und wurde im Sommer und Herbst schwächer. Im nächsten Frühjahr erreichte die Nova $+2,6^{\text{mag}}$. Das ist die am besten dokumentierte Nova vor dem 19. Jahrhundert. Es war eine langsame Nova mit besonderer Lichtkurve und einem Überrest ähnlich einem planetarischen Nebel, der 1982 aufgefunden wurde. Die Entfernung zur Nova wird zu 1.300 bis 2.300 Lichtjahren geschätzt. Die Leuchtkraft der Postnova ist sehr gering und kann durch einen M-Zwergstern und einen weißen Zwerg erzeugt werden.
- Pup 1673: J. Richer beobachtete diesen Stern am 12. und 21. Jan. mit $+3^{\text{mag}}$ und vermaß die Position mit einem Mauerquadranten. Die Nova scheint gesichert.
- Eta Car 1843: Entdeckt 1677 von E. Halley mit $+4^{\text{mag}}$. Danach zeigte Eta Car bis zum Maximum 1843 irregulären Lichtwechsel. Nach dem Maximum schwächer geworden bis $+8^{\text{mag}}$, seit 1850 schwankt die Helligkeit zwischen 5,9 und $7,9^{\text{mag}}$; heute um $+7^{\text{mag}}$. Einzigartiges Objekt hoher Leuchtkraft, das heute als Veränderlicher Stern vom Typ "S Doradus" klassifiziert wird (siehe P Cyg).
- T CrB 1866: wiederkehrende Nova: zweites Maximum am 8. Feb. 1946 mit $+3^{\text{mag}}$.

Auffallend ist auch die Abwesenheit von Nova-Beobachtungen im 18. Jahrhundert. Gab es wirklich keine Novae? An schwächeren Erscheinungen in diesem Zeitraum wurde nur WY Sge 1783 mit $+6^{\text{mag}}$ beobachtet.

B.3 Was bewirkt eine Nova?

Auch die jetzt allgemein angenommene Erklärung solcher Novae: daß die Bewohner zuviel Atomversuche angestellt hätten, und es sich also um ein ganz natürliches Stadium der Sternentwicklung dabei handele.

Arno Schmidt, Die Gelehrtenrepublik (1957)

Den Schlüssel für die moderne Erklärung des Nova-Phänomens lieferten Beobachtungen der Nova Herculis 1934 in den 50er Jahren (Lit.3). Diese alte Nova zeigte einen Lichtwechsel durch Bedeckung mit einer Periode von $4\frac{1}{2}$ Stunden und verriet dadurch ihre enge Doppelsternnatur. Kurz danach wurde entdeckt, daß der U Geminorum-Veränderliche SS Cygni (eine "Zwergnova" mit Ausbrüchen von 4^{mag} etwa alle 50 Tage) ebenfalls ein enger Doppelstern ist.

19. Fortsetzung Referat: Die historischen Novae und Supernovae ...

Heute wissen wir durch weitere Beobachtungen und theoretische Überlegungen, daß Novae in Doppelsternsystemen entstehen, in denen ein weißer Zwerg und ein größerer, kühlerer Stern sich sehr eng umkreisen. Der größere Stern dürfte ähnlich unserer Sonne oder etwas geringerer Masse sein. Durch seine Nähe bewirkt der weiße Zwerg starke Gezeitenkräfte am größeren Stern. Dadurch wird Materie in eine Scheibe um den weißen Zwerg gezogen, die sich langsam auf der Oberfläche des weißen Zwergs absetzt. Nach 10.000 oder 100.000 Jahren hat der weiße Zwerg soviel Materie aufgesammelt (etwa 100 Erdmassen) und Temperatur und Druck sind so weit angestiegen, daß es zu einer nuklearen Kettenreaktion ähnlich dem Vorgang in einer Wasserstoffbombe kommt. Das aufgesammelte Gas wird durch eine Explosion mit einer Geschwindigkeit vom mehreren tausend Kilometer pro Sekunde abgestoßen. Diese Gashülle dehnt sich aus und wird nach einiger Zeit sichtbar.

Es wird erwartet, daß der Nova-Prozeß mehrmals ablaufen kann. Wiederkehrende Novae wie z.B. T CrB (die im Abstand von Jahren oder Jahrzehnten mehrfach beobachtet wurden) und Zwergnovae (Ausbrüche im Abstand von Wochen oder Monaten) scheinen dem Nova-Ereignis sehr verwandt zu sein. Vielleicht wird einfach weniger Materie vom weißen Zwerg aufgesammelt und es kommt dadurch zu kleinen Explosionen in kürzeren Abständen.

C Die mit freiem Auge sichtbaren Veränderlichen Sterne

C.1 Typen von Veränderlichen Sternen

Zur Kennzeichnung der Arten von Veränderlichen werden Typkürzel verwendet, die aus dem GCVS Lit.9 stammen. Hier sind die wichtigsten übersetzt:

Type	Beschreibung
GCAS	Eruptive irreguläre Veränderliche vom Typ Gamma Cas
RCB	Veränderliche vom Typ R Coronae Borealis
SDOR	Veränderliche vom Typ S Doradus
CEP	Cepheiden
DCEP	Die klassischen Cepheiden, oder Delta Cep Sterne
L	Langsame irreguläre Veränderliche
LB	Langsame irreguläre Veränderliche späten Spektraltyps (K, M, C, S).
LC	Irregulär veränderliche Überriesen späten Spektraltyps mit Amplituden von 1 mag in V (TZ Cas)
M	Mira (Omikron) Ceti Sterne
RV	Veränderliche vom Typ RV Tauri
RVA	RV Tauri Sterne mit konstanter mittlerer Helligkeit (AC Her)
RVB	RV Tauri Sterne mit periodisch veränderlicher mittlerer Helligkeit

20. Fortsetzung Referat: Die historischen Novae und Supernovae ...

SR	Halbregelmäßige Veränderliche
SRA	Halbregelmäßige Riesen späten Spektraltyps (M, C, S oder Me, Ce, Se) mit dauerhafter Periodizität und normalerweise kleinen Amplituden (Z Aqr)
SRB	Halbregelmäßige Riesen späten Spektraltyps (wie oben) mit schlecht definierter Periodizität
SRC	Halbregelmäßige Überriesen späten Spektraltyps (wie oben) (My Cep)
E	Bedeckungsveränderliche Doppelsternsysteme
EA	Bedeckungsveränderliche vom Typ Algol (Beta Persei)
EB	Bedeckungsveränderliche vom Typ Beta Lyrae
EW	Bedeckungsveränderliche vom Typ W Ursae Majoris
*	Einzigartige Veränderliche, die nicht in das Klassifikationsschema passen

C.2 Entdeckungen von Veränderlichen Sternen bis 1800

Die Entdeckungsgeschichte der Veränderlichen beginnt erst mit dem Aufblühen der europäischen Astronomie Ende des 16. Jahrhunderts. Es sind wahrscheinlich vor allem in chinesischen Berichten Beobachtungen von Mira usw. enthalten, die sich jedoch bisher nicht sichern lassen. Neben den historischen Novae und Supernovae beginnt die Entdeckungsgeschichte der Veränderlichen 1596 mit Mira.

Jahr	Stern	Typ	Entdecker	Anmerkung
1572	B Cas	SNI?	Maurolyko? Schüler	Tycho's Supernova
1596	Omikron Cet	M	Fabricius	Mira
1600	P Cyg	SDOR	Blaeuw	
1604	V843 Oph	SNI	-	Kepler's Supernova
1667	Beta Per	EA	Montanari	Algol
1670	CK Vul	NB	Anthelme	
1678	V529 Ori	NR?	Hevelius	Zweifelhaftes Objekt
1686	Chi Cyg	M	Kirch	
1704	R Hya	M	Maraldi	
1782	R Leo	M	Koch	
1783	WY Sge	N	D'Agelet	Nova Sge 1783
1784	Eta Aql	DCEP	Pigott	
1784	Beta Lyr	EB	Goodricke	
1784	Delta Cep	DCEP	Goodricke	
1787	44 i Boo	EW	W. Herschel	
1795	Alpha Her	SRC	W. Herschel	
1795	R CrB	RCB	Pigott	
1795	R Sct	RVA	Pigott	

C.3 Katalog der freisichtigen Veränderlichen

Die folgende Tabelle listet alle einigermaßen auffälligen freisichtigen Veränderlichen (Lit.4): Amplitude des Lichtwechsels mindestens $0,5^{\text{mag}}$, maximale Helligkeit zumindest $4,0^{\text{mag}}$ und minimale Helligkeit zumindest $5,1^{\text{mag}}$.

Name	Rekt		Dekl		Typ	Amplitude	Periode Tage	
	1950.0		1950.0					
	h	m	°	'				
Gamma Cas	0	53,7	+60	27	GCAS	1,6 - 3,0	-	*
Zeta Phe	1	06,3	-55	31	EA	3,9 - 4,4	1,67	*
Omikron Cet	2	16,8	- 3	12	M	2,0 -10,1	331,96	+
Rho Per	3	02,0	+38	39	SRB	3,3 - 4,0	50?	*
Beta Per	3	04,9	+40	46	EA	2,1 - 3,4	2,87	*
Lambda Tau	3	57,9	+12	21	EA	3,4 - 3,9	3,95	*
Epsilon Aur	4	58,4	+43	45	EA	2,9 - 3,8	9892	*
Beta Dor	5	33,2	-62	31	DCEP	3,5 - 4,1	9,84	*
Alpha Ori	5	52,5	+ 7	24	SRC	0,0 - 1,3	2335	*
Eta Gem	6	11,9	+22	31	SRA+EA	3,2 - 3,9	232,9	*
Zeta Gem	7	01,1	+20	39	DCEP	3,6 - 4,2	10,15	*
L2 Pup	7	12,0	-44	33	SRB	2,6 - 6,2	140,6	+
Omega CMA	7	12,8	-26	41	GCAS	3,6 - 4,2	-	*
R Car	9	31,0	-62	34	M	3,9 -10,5	308,71	+
l Car	9	43,9	-62	17	DCEP	3,3 - 4,2	35,54	*
Eta Car	10	43,1	-59	25	SDOR	-0,8- 7,9	-	+
R Hya	13	27,0	-23	01	M	3,5 -10,9	388,87	+
My Cen	13	46,6	-42	14	GCAS	2,9 - 3,5	-	*
T CrB	15	57,4	+26	04	NR	2,0 -10,8	-	+
Kappa Oph	16	55,3	+ 9	27	LB?	2,8 - 3,6	-	*
Alpha Her	17	12,4	+14	27	SRC	2,7 - 4,0	-	*
V862 Sco	17	36,8	-32	10	GCAS?	2 - 8,5	-	+
Beta Lyr	18	48,2	+33	18	EB	3,3 - 4,4	12,94	*
Kappa Pav	18	51,8	-67	18	CEP	3,9 - 4,8	9,09	*
R Lyr	18	53,8	+43	53	SRB	3,9 - 5,0	46?	*
Chi Cyg	19	48,6	+32	47	M	3,3 -14,2	408,05	+
Eta Aql	19	49,9	+ 0	53	DCEP	3,5 - 4,4	7,18	*
P Cyg	20	15,9	+37	53	SDOR	3 - 6	-	+
Epsilon Peg	21	41,7	+ 9	39	LC	0,7 - 3,5	-	*
My Cep	21	42,0	+58	33	SRC	3,4 - 5,1	730	*
Delta Cep	22	27,3	+58	10	DCEP	3,5 - 4,4	5,37	*
KY Cep	22	30,4	+57	24	*	4? -13?	-	+

* Stern ist ständig mit freiem Auge sichtbar

+ Stern kann im Maximum mit freiem Auge sichtbar werden

C.4 Anmerkungen zu besonderen Veränderlichen Sternen

Die Elemente des Lichtwechsels sind Lit.17, die Maxima der Mirasterne Lit.18 entnommen.

Gamma Cas

Gamma Cas ist ein rasch rotierender instabiler Stern, der in den 1930er Jahren eine Gashülle ausstieß und die Helligkeit $+1,6^{\text{mag}}$ erreichte. Nachdem der Stern bis 1940 auf $+3^{\text{mag}}$ schwächer wurde, stieg seine Helligkeit bis heute wieder langsam auf $+2,2^{\text{mag}}$ an.

Zeta Phe

Sekundärminimum $4,2^{\text{mag}}$.

Elemente des Lichtwechsels: Min = JD 2441957,6058 + 1,66977225^d.
Dauer des Minimums $5,6^{\text{h}}$.

Omikron Cet (Mira)

Entdeckt von Fabricius 1596. Mittlere Amplitude 3,5 bis $9,1^{\text{mag}}$.
Nächste Maxima 1994 Mai 17, 1995 Apr.13, 1996 März 10, 1997 Feb.5.

Mira erreicht etwa alle 11 Monate ein Maximum, zeigt aber viele Unregelmäßigkeiten. Die maximale Helligkeit kann unvorhersehbar $+2$ oder nur $+5^{\text{mag}}$ erreichen. Auch die Periode wird nicht sehr genau eingehalten.

Die große mittlere Amplitude im visuellen Licht ist ein wenig irreführend, da Mira im Minimum kühler und röter wird, somit mehr längerwelliges Infrarotlicht aussendet, das mit dem Auge nicht wahrgenommen werden kann. Es bilden sich in der Sternatmosphäre auch Moleküle, die Licht in bestimmten Banden des Spektrums absorbieren. Im Infrarotlicht ist die Lichtschwankung daher viel weniger ausgeprägt, nur etwa eine Größenklasse.

Wir wissen nicht genau, warum Mira pulsiert. Der Vorgang scheint aber ähnlich dem der Cepheiden zu sein (siehe Delta Cephei und Lit.16). Das die Pulsationen aufrecht erhaltende "Strahlungsventil" scheint allerdings eine Wasserstoffschicht (nicht Helium wie bei den Cepheiden) zu sein. Die längere Periode von Mira erklärt sich auch durch die enorme Größe des Sterns: an der Stelle der Sonne würde Mira die Marsbahn ausfüllen.

Rho Per

Mittlere Helligkeit veränderlich?

Beta Per (Algol)

Entdeckt von Montanari 1667. Siehe Lit.15.

Elemente des Lichtwechsels: Min = JD 2441598,608 + 2,867315^d
Dauer des Minimums $9,6^{\text{h}}$.

Lambda Tau

Entdeckt von Baxendell 1848.

23. Fortsetzung Referat: Die historischen Novae und Supernovae ...

Elemente des Lichtwechsels: $\text{Min} = \text{JD } 2447185,265 + 3,952952^d$
Dauer des Minimums $14,2^h$.

Epsilon Aur

Entdeckt von Fritsch 1821. Fluktuationen um $0,2^{\text{mag}}$ in einem Zyklus mit 110 Tagen?

Epsilon Aurigae zeigte das letzte Minimum vom Jul.1982 bis Jun.1984. Das nächste Minimum wird im Aug.2010 eintreten.

Die helle Komponente ist ein F Überriesenstern. Die dunkle Komponente dieses Doppelsternsystems konnte im Infrarotlicht mit IRAS beobachtet werden. Man vermutet eine dunkle Staubwolke, in deren Inneren sich ein oder mehrere junge Sterne befinden.

Alpha Ori (Beteigeuze)

Entdeckt von J. Herschel 1836. Neben der Hauptperiode von 6,4 Jahren sind auch Wellen mit einer Periode von 7 bis 13 Monaten sichtbar. Beteigeuze ist der einzige Stern 1.Größe, der für das freie Auge wahrnehmbare Lichtschwankungen zeigt. Er ist durch seine rote Farbe und die weit entfernten Vergleichssterne schwierig zu beobachten.

Eta Gem

Dieser rote Riese zeigt kleinen halbregelmäßigen Lichtwechsel mit einer Periode von etwa 8 Monaten. Alle 8,2 Jahre sind tiefere Minima mit etwa $0,5^{\text{mag}}$ sichtbar. Er ist ein spektroskopischer Doppelstern und die Minima treten ein, wenn der Riese in seiner Bahn am weitesten von uns entfernt ist. Die Minima werden also durch einen unsichtbaren Begleiter hervorgerufen.

Die nächsten Minima werden im Jun.1996 und Jul.2004 stattfinden. Eta Gem ist leider nahe der Sonne.

Zeta Gem

Dieser Cepheide hat eine symmetrische Lichtkurve: der Aufstieg vom Minimum zum Maximum dauert etwa so lange wie der Abstieg vom Maximum zum Minimum.

R Car

Mittlere Amplitude 4,6 bis $9,6^{\text{mag}}$. Nächste Maxima 1994 Nov.24, 1995 Sep.28, 1996 Aug.2, 1997 Jun.7.

l Car

Das ist der hellste langperiodische Cepheide.

Eta Car

Maximale Helligkeit 1843. Siehe Teil B "Novae".

R Hya

Entdeckt von Maraldi 1704. Mittlere Amplitude 4,5 bis $9,5^{\text{mag}}$. Nächste Maxima 1994 Feb.24, 1995 März 19, 1996 Apr.11, 1997 Mai 5.

Die Periode dieses Sterns hat sich seit der Entdeckung (500 Tage) deutlich verkürzt: am Anfang dieses Jahrhunderts auf etwas mehr als 400 Tage, heute dauert eine Pulsation im Mittel nur noch 389 Tage.

24. Fortsetzung Referat: Die historischen Novae und Supernovae ...

T CrB

Ausbrüche 1866 und 1946. Siehe Teil B "Novae".

Alpha Her

Entdeckt von W. Herschel 1795. Langsame Veränderungen mit einer Periode von Jahren und schnellerer Lichtwechsel mit einer Periode von 100 Tagen.

V862 Sco

Im Offenen Sternhaufen M 6. Normalerweise ist der Stern 6,6-6,8^{mag} hell. Am 3. Jul. 1965 wurde ein Lichtausbruch (Flare) von 40 Minuten Dauer beobachtet.

Beta Lyr

Entdeckt von Goodricke 1784.

Das Hauptminimum ist 0,86^{mag} tief, das Nebenminimum mit 0,47^{mag} ist ebenfalls mit freiem Auge beobachtbar.

Elemente des Lichtwechsels: Hauptmin = JD 2449352,80 +12,93804^d
(die Nebenminima jeweils dazwischen)

Chi Cyg

Entdeckt von Kirch 1686. Mittlere Amplitude 5,2 bis 13,4^{mag}. Nächste Maxima 1994 Mai 28, 1995 Jul.10, 1996 Aug.21, 1997 Okt.3.

Eta Aql

Entdeckt von Pigott 1784. Obwohl es der erste entdeckte Cepheide war, wurde er wegen seines südlicheren Standes nicht so gut beobachtet wie Delta Cephei selbst.

P Cyg

"Nova" 1600. Siehe Referat "Novae und Supernovae".

Epsilon Peg

Normalerweise 2,3 bis 2,4^{mag} hell. Unbestätigter Lichtausbruch (Flare) am 26./27. Sep. 1972.

My Cep

Entdeckt von J.R.Hind 1848. Der Stern zeigt auffallend rote Farbe und wurde von W.Herschel als "Granatstern" bezeichnet. Der Stern ist ein roter Überriese ähnlich Beteigeuze mit enormem Durchmesser (9 bis 35 AE, je nach angenommener Entfernung).

Analysen der Lichtkurve zeigten mehrere Perioden von 2,0, 2,4, 3,1 und 12 Jahren Dauer. Der Grund dafür ist nicht vollständig verstanden.

Delta Cep

Entdeckt von J.Goodricke 1784. Das ist der Prototyp der Cepheiden (Lit.16).

Die Strahlungserzeugung der Cepheiden ist wie die anderer Sterne gleichmäßig. Der Strahlungsfluß an die Sternoberfläche erfolgt allerdings in Wellen. Der Grund dafür ist eine Heliumschicht, die periodisch ionisiert wird und dabei Energie aufnimmt und danach un-

ionisiert wird und dabei Energie abgibt. Die äußeren Sternschichten geraten dadurch in Schwingungen. Die Aufrechterhaltung der Pulsationen gelingt nur bei der richtigen Frequenz und der Ausbildung der Heliumschicht in der richtigen Tiefe. Das ist der Grund für die Perioden-Leuchtkraft-Beziehung der Cepheiden und auch der Grund, warum die meisten Sterne nicht pulsieren.

KY Cep

Zeigte einen Lichtausbruch (Flare) von 65 Sekunden.

D Literaturverzeichnis

1. Clark, David H. und Stephenson, F. Richard: The Historical Supernovae. Pergamon Press, Oxford 1977.
2. Stephenson, F. Richard und Clark, David H.: Ancient Astronomical Records from the Orient. Sky & Telescope Feb.1977, p84.
3. Starrfield, S. und Shore, S.: Nova Cygni 1992: Nova of the Century. Sky & Telescope Feb. 1994, p20.
4. Jones, K.G. (ed.): Webb Society Deep-Sky Observer's Handbook. Volume 8, Variable Stars. Enslow, Hillside 1990.
5. Duerbeck, H.W.: A Reference Catalogue and Atlas of Galactic Novae. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht & Boston 1987.
6. Flamsteed's possible Supernova. Sky & Telescope Apr.1980, p295.
7. Burnham, R.: Burnham's Celestial Handbook. Dover Publications, New York 1978.
8. Hoffmeister, C., Richter G., Wenzel W.: Veränderliche Sterne. Springer 1984.
9. Kholopov, P.N. et.al.: General Catalogue of Variable Stars (GCVS). Moskau 1985.
10. Filippenko, A.V.: 1993J: A Supernova with an Identity Crisis. Sky & Telescope Dec.1993, p30.
11. Naeye, R.A.: Supernova 1987A Revisited. Sky & Telescope Feb.1993, p39.
12. de Vaucouleurs, G.: The Supernova of 1885 in Messier 31. Sky & Telescope Aug.1985, p115.
13. Seward, F.D.: Buchbesprechung in Sky & Telescope Okt.1984, p325.
14. Malin, D. und Allen, D.: Echoes of the Supernova. Sky & Telescope Jan.1990, p22.
15. Vollmann, W.: Algol, der Dämonenstern. Sternenbote Feb.1992.
16. Vollmann, W.: Delta Cephei und kosmische Entfernungen. Sternenbote Apr.1994.
17. Rocznik Astronomiczny Nr. 65, Krakau 1994.
18. AAVSO Variable Star Bulletin 57, 1994.

Referat: Geozentrische Zonen der Planeten, Kleinplaneten
und periodischen Kometen

EINLEITUNG

Für Zwecke der astronomischen Phänomenologie kann es wichtig sein, die Grenzen jenes Bereichs der Himmelskugel zu kennen, in dem ein Planet, Kleinplanet oder periodischer Komet von einem irdischen Beobachter gesehen werden kann.

Solche Bereiche, die "geozentrischen Zonen", werden offensichtlich durch die Raumbahnen von Erde und Wandelgestirn bestimmt. Die Bahnelemente verändern sich jedoch mit der Zeit, aber dadurch werden die Grenzlinien nur so gering beeinflußt, daß mit mittleren Elementen für nur wenige Termine das Auslangen über mehrere Jahrtausende gefunden werden kann.

Beispielsweise bewegen sich die hellen Planeten nahe der Ekliptik in einer schmalen, gürtelartigen Himmelszone. Schon C.Ptolemaios gibt in der Syntaxis XIII/3 auf Beobachtungen beruhende äußerste ekliptikale Breiten der hellen Planeten an und nennt schließlich in seinen Handlichen Tafeln die folgenden, um weniger als 30' von der modernen Rückrechnung abweichenden Werte [1].

Merkur	4°18' und -4°18'	Jupiter	2°03' und -2°09'
Venus	8 56 -8 56	Saturn	3°02 -3 06
Mars	4 23 -7 06		

Eingehend hat C.F.Gauß 1804 dieses Problem behandelt [2]. Anlaß dafür war die Aufgabe, entsprechend weitreichende Sternkarten für die damals gerade entdeckten ersten Kleinplaneten zu schaffen und sie des großen Arbeitsaufwandes wegen auf einen möglichst kleinen Himmelsbereich beschränken zu können.

GRENZBEDINGUNG

In [2] wird die Bedingung analytisch abgeleitet, die für die Grenzen der geozentrischen Zone gelten muß und in der bedeuten: k Halbparameter und e Numerische Exzentrizität der Bahn, g Winkel zwischen der Knotenlinie und der Sonnenferne sowie t Parameter, nach dem die Bahn beziffert ist. Ungestrichene Größen gelten für die Bahn

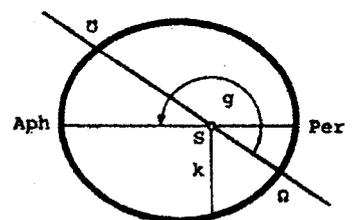


Abb. 1

1. Fortsetzung Referat: Geozentrische Zonen der Planeten, ...

des Planeten und gestrichene für die Bahn der Erde (Abb.1). Diese Grenzbedingung lautet:

$$k' (\cos t - e \cos g) = k (\cos t' - e' \cos g'),$$

worin mit großer Halbachse a

$$k = a (1 - e^2).$$

Geometrisch bedeutet diese Beziehung, daß - soll der Planet von der Erde aus in den Grenzen seiner Zone erscheinen - die Bahntangenten am Ort des Planeten und am Ort der Erde in ein und derselben Ebene liegen müssen. Es bedeuten E die Erdbahn, P die Planetenbahn und Ω den aufsteigenden Knoten der Planetenbahn (Abb.2).

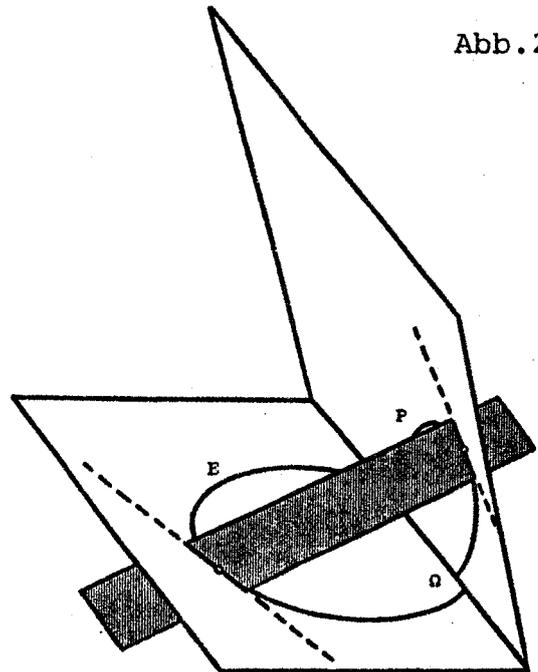


Abb.2

ART DER GEOZENTRISCHEN ZONEN

Je nach der räumlichen Größe und Lage der Planetenbahn zur Erdbahn lassen sich nun drei Fälle unterscheiden:

1. Die Planetenbahn schließt die Erdbahn so ein, daß der Planet in der Knotenlinie beiderseits außerhalb der Erdbahn steht:

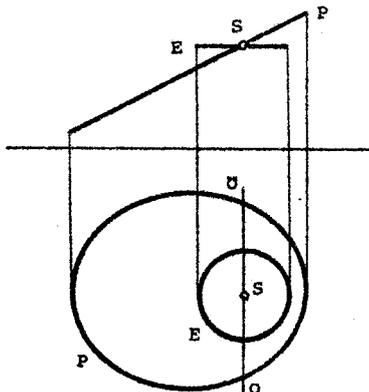


Abb.3

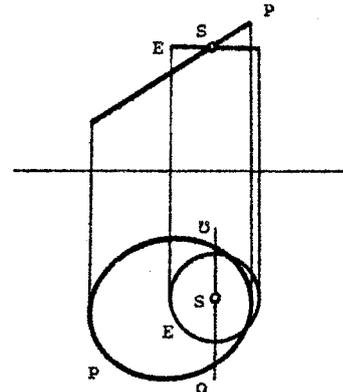


Abb.4

2. Fortsetzung Referat: Geozentrische Zonen der Planeten, ...

Für diese Situation gilt:

$$(k - k') > 0$$

$$|k - k'| > (k' e \cos g - k e' \cos g')$$

Für jedes t gibt es zwei t' , jedem heliozentrischen Planetenort entsprechen für die Grenzstellung zwei heliozentrische Orte der Erde, die in zwei von einander getrennten Stücken der Erdbahn liegen. Liegt der mögliche Bereich für t' zwischen 0° und 180° bzw. zwischen 180° und 360° , so sieht man den Planeten an der Nordgrenze bzw. Südgrenze seiner geozentrischen Zone.

Diese Grenzlinien sind zwei von einander getrennte, jeweils in sich zurücklaufende Linien, zwischen denen der Großkreis liegt, in dem die Planetenbahnenebene die Himmelskugel schneidet. Dieser Fall ist in Abb.3 dargestellt.

In Sonderfällen, wenn die Erdbahn ein- oder zweimal die Planetenbahn unter- oder überläuft, gibt es jedoch nur eine wirkliche Grenzlinie, über die andere erstreckt sich die geozentrische Zone bis zum Nord- oder Südpol der Ekliptik. Um jedoch den Planeten wirklich in einem der beiden Ekliptikpole zu sehen, müssen Erde und Planet gleichzeitig die Normale auf die Ekliptik erreichen. Diesen Fall zeigt Abb.4.

2. Die Erdbahn schließt die Planetenbahn so ein, daß der Planet in der Knotenlinie beiderseits innerhalb der Erdbahn steht:

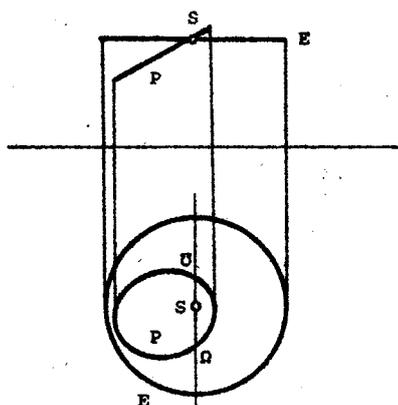


Abb. 5

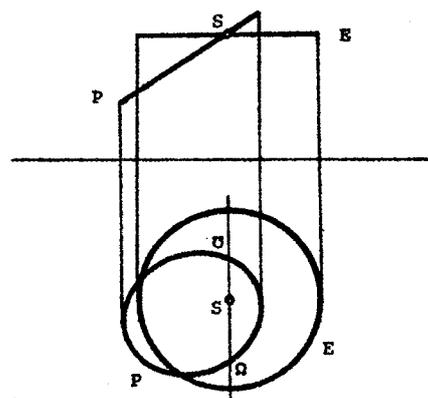


Abb. 6

3. Fortsetzung Referat: Geozentrische Zonen der Planeten, ...

Für diese Situation gilt:

$$(k' - k) > 0$$

$$|k' - k| > (k' e \cos g - k e' \cos g')$$

Für jedes t' gibt es zwei t , jedem heliozentrischen Erdort entsprechen für die Grenzstellung zwei heliozentrische Orte des Planeten, die in zwei von einander getrennten Stücken der Planetenbahn liegen. Liegt der mögliche Bereich für t zwischen 0° und 180° bzw. zwischen 180° und 360° , so sieht man den Planeten an der Nordgrenze bzw. an der Südgrenze seiner geozentrischen Zone. Diese Grenzlinien sind zwei von einander getrennte, jeweils in sich zurücklaufende Linien, zwischen denen der Großkreis liegt, in welchem die Erdbahnebene die Himmelskugel schneidet - die Ekliptik. Dieser Fall ist in Abb.5 dargestellt.

Auch hier können die unter 1. erwähnten Sonderfälle eintreten, und diesen Fall zeigt Abb.6.

3. Die Erdbahn und die Planetenbahn bilden "Kettenringe", so daß der Planet in der Knotenlinie einerseits innerhalb, andererseits außerhalb der Erdbahn steht:

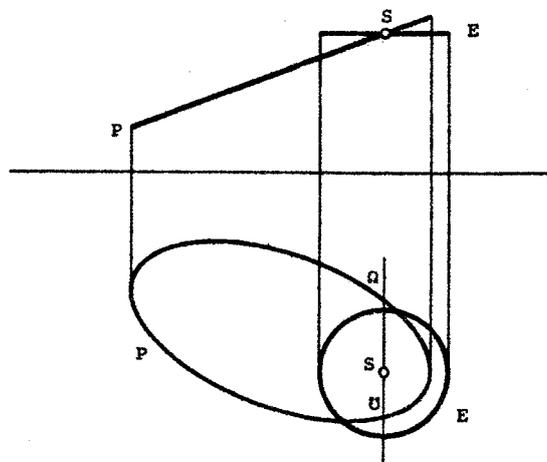


Abb.7

Für diese Situation gilt:

$$|k' - k| \text{ oder } |k - k'| < (k' e \cos g - k e' \cos g)$$

Die Erfüllung der Grenzbedingung verlangt hier die Beschränkung

4. Fortsetzung Referat: Geozentrische Zonen der Planeten, ...

von t auf bestimmte Stücke der Planetenbahn und jene von t' auf bestimmte Stücke der Erdbahn. Es ergibt sich nur eine, in sich zurücklaufende "virtuelle" Grenzlinie; die geozentrische Zone ist die gesamte Himmelskugel, denn die Planetenbahn überläuft die Erdbahn an einer und unterläuft sie an einer anderen Stelle. Auch hier ist aber der Planet tatsächlich nur dann in dem einen oder anderen Ekliptikpol zu sehen, wenn Erde und Planet gleichzeitig die eine oder andere Normale auf die Ekliptik erreichen. Diesen Fall zeigt Abb.7.

Die "großen" Planeten des Sonnensystems haben jedoch alle geozentrische Zonen zwischen zwei Grenzlinien; die anderen Fälle kommen jedoch bei gewissen Kleinplaneten und Kometen vor - siehe die Beispiele.

BERECHNUNG DER GRENZLINIEN

Wieder beziehen sich die ungestrichenen Größen auf den Planeten, die gestrichenen auf die Erde und es bedeuten:

a, a' Große Halbachse, e, e' Numerische Exzentrizität und k, k' Halbparameter der Bahn $= a(1 - e^2)$; v, v' Wahre Anomalie; t, t' Parameter, nach dem die Bahn beziffert ist - entspricht dem heliozentrischen Winkel zwischen Planet und Knotenlinie bzw. Erde und Knotenlinie; π' Heliozentrische ekliptikale Länge des Aphels der Erdbahn; ω Argument des Perihels und Ω Heliozentrische Länge des aufsteigenden Knotens der Planetenbahn. \odot Geozentrische ekliptikale Länge der Sonne; λ, β Geozentrische ekliptikale Länge, Breite der Punkte der nördlichen Grenzlinie N und der südlichen Grenzlinie S, letztere drei in den Tafeln in dezimal geteilten Altgraden gegeben.

1. Untere Planeten (Merkur, Venus)

Hier lautet die Grenzbedingung:

$$\cos t = \frac{k}{k'} \cos t' - \frac{k}{k'} e' \cos(\pi' - \Omega) - e \cos \omega$$

t' wird in passenden Schritten vorgegeben und dazu aus obiger Grenzbedingung t ermittelt. Für die Nordgrenze gilt:

$$\odot = t' + \Omega + 180^\circ; \quad v' = \odot - \pi'; \quad v = t - \omega$$

5. Fortsetzung Referat: Geozentrische Zonen der Planeten, ...

Die Radiusvektoren r und R von Planet und Erde ergeben sich aus:

$$r = k / (1 + e \cos v); \quad R = k' / (1 + e' \cos v')$$

und weiter

$$Z = r \sin t \cos i + R \sin (\odot - \Omega)$$

$$N = r \cos t + R \cos (\odot - \Omega)$$

und mit der Koordinatentransformation $x, y \rightarrow r, \varphi$ quadrantrichtig

$$\tan (\lambda - \Omega) = Z / N; \quad \lambda = (\lambda - \Omega) + \Omega$$

$$\tan \beta = (r \sin t \sin i \sin (\lambda - \Omega) / Z$$

Für die Südgrenze wird t durch $360^\circ - t$ ersetzt.

2. Obere Planeten (Mars - Pluto; solche Kleinplaneten, Kometen)

Hier lautet die Grenzbedingung:

$$\cos t' = \frac{k'}{k} \cos t + \frac{k'}{k} e \cos \omega + e' \cos (\pi' - \Omega)$$

t wird in passenden Schritten vorgegeben und dazu aus obiger Grenzbedingung t' ermittelt. Die weitere Rechnung verläuft analog jener für Merkur und Venus.

3. Bahnelemente und Tafeln der geozentrischen Grenzlinien der hellen Planeten im Bereich von -3000 bis +3000.

Die mittleren Bahnelemente der hellen Planeten und der Erde wurden nach P. Bretagnon, VSOP 82 [3] für -3000,0, -2000,0 ... +3000,0 berechnet und hier zusammengestellt. Die aus ihnen abgeleiteten geozentrischen ekliptikalischen Grenzlinien sind samt den zugehörigen ekliptikalischen Sonnenlängen - aus denen sich der Termin der Grenzstellung mit einfacher Rechnung oder passender Ephemeride leicht ermitteln läßt - anschließend gegeben. Sie stammen aus einer 1982 vom Autor veröffentlichten Arbeit [4] und dürfen dankenswerterweise hier wiedergegeben werden.

MITTLERE BAHNELEMENTE NACH P. BRETAGNON (VSOP 82)

	Merkur	Venus	Mars	Jupiter	Saturn	Erde
-3000,0	Ω a 349.55561840 10.72963430 6.84429156 0.20485102 0.38709835	33.34287456 26.58139613 3.35873902 0.00944354 0.72332986	11.84000437 231.74506020 1.91857234 0.08914427 1.52367939	50.78861507 245.70419950 1.60651199 0.03962672 5.20259411	69.97465091 286.77582200 2.64406596 0.07139551 9.55501950	π e a 197.75766920 0.01865341 1.00000106
-2000,0	1.21461807 14.42551622 6.88715440 0.20485090 0.38709835	41.66323787 32.68927151 3.35960901 0.00885488 0.72332986	19.16356141 243.10949630 1.89597324 0.08973862 1.52367939	60.49615097 251.20796350 1.53830357 0.04139795 5.20259600	78.64170091 296.97119250 2.61713038 0.06826379 9.55499823	214.72072910 0.01825700 1.00000106
-1000,0	12.92264897 18.09646519 6.92539995 0.20501956 0.38709835	50.17534895 38.62350104 3.36569743 0.00829897 0.72332986	26.61005831 254.20027660 1.87930082 0.09061200 1.52367939	70.30738919 256.69079250 1.47534003 0.04323947 5.20259789	87.35585328 307.42071930 2.58854935 0.06526088 9.55497696	231.70361580 0.01788558 1.00000106
0,0	24.68132592 21.76137120 6.95775821 0.20522190 0.38709835	58.86925841 44.31094020 3.37450641 0.00776850 0.72332986	34.18052585 265.07452270 1.86665578 0.09154919 1.52367939	80.24287741 262.28499450 1.41589195 0.04505652 5.20259978	96.10936369 317.96417530 2.55787330 0.06216374 9.55495570	248.71814710 0.01750957 1.00000106
1000,0	36.48629761 25.43432033 6.98418253 0.20542771 0.38709835	67.71650227 49.73252594 3.38445728 0.00725991 0.72332986	41.84450100 275.81471700 1.85695707 0.09248463 1.52367939	90.30640186 268.01258840 1.35880996 0.04681528 5.20260167	104.88631540 328.60744380 2.52474484 0.05891067 9.55493443	265.78846880 0.01711866 1.00000106
2000,0	48.33057784 29.12534149 7.00499007 0.20563288 0.38709835	76.68114098 54.88033774 3.39462194 0.00677203 0.72332986	49.55724864 286.50290020 1.84974594 0.09340065 1.52367939	100.46266600 273.86873520 1.30325352 0.04849511 5.20260356	113.66493160 339.39197380 2.48885931 0.05550096 9.55491316	282.93690780 0.01670874 1.00000106
3000,0	60.20677073 32.84322715 7.02061502 0.20583674 0.38709835	85.72526672 59.74009308 3.40466267 0.00630452 0.72332986	57.27007912 297.21969070 1.84516000 0.09429541 1.52367939	110.70214720 279.85354300 1.24860076 0.05008137 5.20260545	122.41820150 350.37057640 2.44998085 0.05197821 9.55489189	300.18739720 0.01627733 1.00000106

7. Fortsetzung Referat: Geozentrische Zonen der Planeten, ...

MERKUR

-3000					-2000						
⊙	N	β	λ	β S	⊙	⊙	N	β	λ	β S	⊙
338.8		2.91	* 0 *	-3.67	18.2	341.2		3.11	* 0 *	-3.50	21.3
347.4		2.71	* 10 *	-3.87	25.5	349.3		2.92	* 10 *	-3.73	28.9
356.8		2.51	* 20 *	-4.05	32.6	357.9		2.72	* 20 *	-3.94	36.2
7.0		2.33	* 30 *	-4.19	39.5	7.1		2.52	* 30 *	-4.12	43.3
18.3		2.17	* 40 *	-4.30	46.5	17.2		2.34	* 40 *	-4.28	50.2
			* 50 *						* 50 *		
30.9		2.03	* 50 *	-4.37	53.4	28.4		2.18	* 50 *	-4.40	57.1
44.8		1.93	* 60 *	-4.41	60.4	40.7		2.04	* 60 *	-4.48	64.0
59.8		1.85	* 70 *	-4.40	67.4	54.3		1.93	* 70 *	-4.52	71.0
75.5		1.82	* 80 *	-4.36	74.6	69.1		1.85	* 80 *	-4.52	78.0
91.3		1.81	* 90 *	-4.29	81.9	84.6		1.81	* 90 *	-4.49	85.1
			* 100 *						* 100 *		
106.6		1.84	* 100 *	-4.18	89.4	100.4		1.80	* 100 *	-4.41	92.3
121.2		1.90	* 110 *	-4.04	97.0	115.8		1.83	* 110 *	-4.30	99.7
134.8		1.98	* 120 *	-3.88	104.9	130.4		1.88	* 120 *	-4.17	107.3
147.4		2.09	* 130 *	-3.71	113.0	144.1		1.96	* 130 *	-4.01	115.1
159.2		2.22	* 140 *	-3.51	121.3	156.8		2.06	* 140 *	-3.82	123.1
			* 150 *						* 150 *		
170.1		2.37	* 150 *	-3.32	129.9	168.7		2.19	* 150 *	-3.63	131.4
180.5		2.53	* 160 *	-3.12	138.8	179.8		2.33	* 160 *	-3.43	139.9
190.3		2.71	* 170 *	-2.92	148.2	190.2		2.49	* 170 *	-3.22	148.8
199.6		2.88	* 180 *	-2.73	158.0	200.1		2.65	* 180 *	-3.01	158.0
208.6		3.06	* 190 *	-2.55	168.3	209.5		2.83	* 190 *	-2.81	167.7
			* 200 *						* 200 *		
217.3		3.24	* 200 *	-2.38	179.4	218.6		3.00	* 200 *	-2.63	178.0
225.7		3.40	* 210 *	-2.24	191.3	227.3		3.18	* 210 *	-2.46	188.9
233.9		3.56	* 220 *	-2.12	204.1	235.8		3.34	* 220 *	-2.31	200.6
241.9		3.70	* 230 *	-2.03	218.1	244.0		3.50	* 230 *	-2.18	213.3
249.7		3.81	* 240 *	-1.97	233.1	252.0		3.63	* 240 *	-2.08	227.1
			* 250 *						* 250 *		
257.3		3.90	* 250 *	-1.94	249.1	259.9		3.75	* 250 *	-2.01	242.0
264.8		3.96	* 260 *	-1.95	265.7	267.5		3.84	* 260 *	-1.98	258.0
272.1		3.99	* 270 *	-2.00	282.0	275.1		3.91	* 270 *	-1.98	274.6
279.4		3.99	* 280 *	-2.08	297.4	282.5		3.94	* 280 *	-2.02	291.1
286.6		3.95	* 290 *	-2.21	311.4	289.8		3.94	* 290 *	-2.10	306.8
			* 300 *						* 300 *		
293.7		3.88	* 300 *	-2.37	323.9	297.0		3.91	* 300 *	-2.23	321.1
300.8		3.78	* 310 *	-2.56	335.0	304.2		3.85	* 310 *	-2.39	333.8
308.0		3.65	* 320 *	-2.77	345.1	311.4		3.75	* 320 *	-2.58	345.2
315.3		3.49	* 330 *	-2.99	354.2	318.6		3.62	* 330 *	-2.79	355.4
322.8		3.31	* 340 *	-3.23	2.7	325.9		3.47	* 340 *	-3.02	4.7
			* 350 *						* 350 *		
330.6		3.11	* 350 *	-3.45	10.6	333.4		3.30	* 350 *	-3.26	13.3
338.8		2.91	* 360 *	-3.67	18.2	341.2		3.11	* 360 *	-3.50	21.3

-1000					0						
⊙	N	β	λ	β S	⊙	⊙	N	β	λ	β S	⊙
344.0		3.29	* 0 *	-3.29	23.9	347.0		3.44	* 0 *	-3.06	25.6
351.7		3.11	* 10 *	-3.54	31.9	354.5		3.28	* 10 *	-3.31	34.4
359.8		2.92	* 20 *	-3.77	39.6	2.3		3.10	* 20 *	-3.56	42.6
8.4		2.72	* 30 *	-3.99	46.9	10.3		2.92	* 30 *	-3.81	50.3
17.5		2.53	* 40 *	-4.19	54.0	18.8		2.72	* 40 *	-4.04	57.7
			* 50 *						* 50 *		
27.5		2.35	* 50 *	-4.36	61.0	27.9		2.54	* 50 *	-4.25	64.8
38.4		2.18	* 60 *	-4.49	67.9	37.8		2.36	* 60 *	-4.43	71.8
50.6		2.05	* 70 *	-4.58	74.7	48.5		2.19	* 70 *	-4.57	78.6
63.9		1.93	* 80 *	-4.63	81.6	60.5		2.05	* 80 *	-4.68	85.4
78.5		1.85	* 90 *	-4.64	88.5	73.6		1.94	* 90 *	-4.74	92.3
			* 100 *						* 100 *		
93.8		1.81	* 100 *	-4.61	95.6	87.9		1.85	* 100 *	-4.75	99.2
109.5		1.79	* 110 *	-4.54	102.8	103.1		1.80	* 110 *	-4.73	106.2
124.9		1.81	* 120 *	-4.43	110.1	118.6		1.78	* 120 *	-4.66	113.3
139.6		1.86	* 130 *	-4.29	117.6	134.0		1.80	* 130 *	-4.56	120.5
153.4		1.93	* 140 *	-4.13	125.3	148.7		1.84	* 140 *	-4.42	128.0
			* 150 *						* 150 *		
166.2		2.03	* 150 *	-3.95	133.3	162.7		1.91	* 150 *	-4.26	135.6
178.2		2.15	* 160 *	-3.75	141.4	175.6		2.00	* 160 *	-4.07	143.5
189.4		2.29	* 170 *	-3.54	149.9	187.7		2.11	* 170 *	-3.86	151.6
199.9		2.44	* 180 *	-3.32	158.7	199.0		2.24	* 180 *	-3.65	160.0
209.9		2.60	* 190 *	-3.11	167.9	209.6		2.39	* 190 *	-3.43	168.7
			* 200 *						* 200 *		
219.3		2.77	* 200 *	-2.90	177.5	219.6		2.55	* 200 *	-3.21	177.7
228.5		2.94	* 210 *	-2.71	187.6	229.2		2.72	* 210 *	-2.99	187.2
237.3		3.11	* 220 *	-2.53	198.4	238.4		2.89	* 220 *	-2.79	197.3
245.8		3.28	* 230 *	-2.37	210.0	247.2		3.05	* 230 *	-2.60	207.9
254.1		3.43	* 240 *	-2.23	222.5	255.8		3.21	* 240 *	-2.44	219.3
			* 250 *						* 250 *		
262.1		3.57	* 250 *	-2.13	236.1	264.1		3.36	* 250 *	-2.29	231.7
270.0		3.68	* 260 *	-2.05	250.9	272.2		3.50	* 260 *	-2.18	245.1
277.8		3.78	* 270 *	-2.01	266.8	280.2		3.62	* 270 *	-2.09	259.7
285.4		3.85	* 280 *	-2.01	283.4	288.0		3.71	* 280 *	-2.04	275.5
292.8		3.88	* 290 *	-2.04	300.1	295.6		3.78	* 290 *	-2.03	292.1
			* 300 *						* 300 *		
300.2		3.89	* 300 *	-2.12	316.0	303.1		3.83	* 300 *	-2.06	309.0
307.5		3.87	* 310 *	-2.24	330.7	310.5		3.84	* 310 *	-2.14	325.2
314.7		3.81	* 320 *	-2.40	343.7	317.9		3.82	* 320 *	-2.25	340.1
321.9		3.72	* 330 *	-2.59	355.4	325.1		3.77	* 330 *	-2.41	353.5
329.1		3.60	* 340 *	-2.81	5.8	332.4		3.69	* 340 *	-2.60	5.4
			* 350 *						* 350 *		
336.5		3.46	* 350 *	-3.04	15.2	339.7		3.57	* 350 *	-2.82	16.0
344.0		3.29	* 360 *	-3.29	23.9	347.0		3.44	* 360 *	-3.06	25.6

8. Fortsetzung Referat: Geozentrische Zonen der Planeten, ...

0						1000							
MERKUR						MERKUR							
⊙	N	β	λ	β	⊙	⊙	N	β	λ	β	⊙		
347.0	3.44	**	0	**	-3.06	25.6	350.2	3.54	**	0	**	-2.82	26.3
354.5	3.28	**	10	**	-3.31	34.4	357.6	3.41	**	10	**	-3.07	36.1
2.3	3.10	**	20	**	-3.56	42.6	5.1	3.26	**	20	**	-3.32	45.0
10.3	2.92	**	30	**	-3.81	50.3	12.8	3.09	**	30	**	-3.59	53.3
18.8	2.72	**	40	**	-4.04	57.7	20.9	2.91	**	40	**	-3.84	61.1
		**	50	**	-4.25	64.8			**	50	**	-4.09	68.5
27.9	2.54	**	60	**	-4.43	71.8	29.3	2.73	**	60	**	-4.31	75.6
37.8	2.36	**	70	**	-4.57	78.6	38.3	2.54	**	70	**	-4.50	82.6
48.5	2.19	**	80	**	-4.68	85.4	48.0	2.36	**	80	**	-4.65	89.4
60.5	2.05	**	90	**	-4.74	92.3	58.7	2.20	**	90	**	-4.77	96.2
73.6	1.94	**	100	**	-4.75	99.2	70.4	2.06	**	100	**	-4.84	103.0
87.9	1.85	**	110	**	-4.73	106.2	83.3	1.94	**	110	**	-4.86	109.9
103.1	1.80	**	120	**	-4.66	113.3	97.3	1.85	**	120	**	-4.85	116.8
118.6	1.78	**	130	**	-4.56	120.5	112.3	1.80	**	130	**	-4.79	123.8
134.0	1.80	**	140	**	-4.42	128.0	127.8	1.77	**	140	**	-4.69	131.0
148.7	1.84	**	150	**	-4.26	135.6	143.1	1.78	**	150	**	-4.55	138.4
162.7	1.91	**	160	**	-4.07	143.5	157.9	1.82	**	160	**	-4.38	145.9
175.6	2.00	**	170	**	-3.86	151.6	171.9	1.88	**	170	**	-4.19	153.7
187.7	2.11	**	180	**	-3.65	160.0	185.0	1.97	**	180	**	-3.99	161.8
199.0	2.24	**	190	**	-3.43	168.7	197.2	2.07	**	190	**	-3.76	170.1
209.6	2.39	**	200	**	-3.21	177.7	208.6	2.20	**	200	**	-3.54	178.7
219.6	2.55	**	210	**	-2.99	187.2	219.3	2.34	**	210	**	-3.31	187.6
229.2	2.72	**	220	**	-2.79	197.3	229.4	2.50	**	220	**	-3.09	197.0
238.4	2.89	**	230	**	-2.60	207.9	239.0	2.66	**	230	**	-2.88	206.9
247.2	3.05	**	240	**	-2.44	219.3	248.3	2.82	**	240	**	-2.68	217.5
255.8	3.21	**	250	**	-2.29	231.7	257.2	2.99	**	250	**	-2.50	228.7
264.1	3.36	**	260	**	-2.18	245.1	265.8	3.15	**	260	**	-2.35	240.9
272.2	3.50	**	270	**	-2.09	259.7	274.2	3.30	**	270	**	-2.23	254.1
280.2	3.62	**	280	**	-2.04	275.5	282.3	3.43	**	280	**	-2.13	268.6
288.0	3.71	**	290	**	-2.03	292.1	290.3	3.55	**	290	**	-2.08	284.2
295.6	3.78	**	300	**	-2.06	309.0	298.2	3.65	**	300	**	-2.06	300.8
303.1	3.83	**	310	**	-2.14	325.2	305.9	3.72	**	310	**	-2.08	317.8
310.5	3.84	**	320	**	-2.25	340.1	313.4	3.77	**	320	**	-2.15	334.2
317.9	3.82	**	330	**	-2.41	353.5	320.9	3.78	**	330	**	-2.26	349.5
325.1	3.77	**	340	**	-2.60	5.4	328.3	3.77	**	340	**	-2.41	3.2
332.4	3.69	**	350	**	-2.82	16.0	335.6	3.72	**	350	**	-2.60	15.4
339.7	3.57	**	360	**	-3.06	25.6	342.9	3.65	**	360	**	-2.82	26.3
347.0	3.44	**		**			350.2	3.54	**		**		

2000						3000							
⊙	N	β	λ	β	⊙	⊙	N	β	λ	β	⊙		
353.4	3.61	**	0	**	-2.60	25.3	356.4	3.63	**	0	**	-2.41	22.3
0.7	3.51	**	10	**	-2.82	36.4	3.8	3.57	**	10	**	-2.59	35.1
8.1	3.39	**	20	**	-3.07	46.4	11.2	3.48	**	20	**	-2.81	46.5
15.6	3.24	**	30	**	-3.33	55.5	18.6	3.36	**	30	**	-3.06	56.7
23.4	3.08	**	40	**	-3.60	63.9	26.2	3.22	**	40	**	-3.33	66.0
		**	50	**	-3.86	71.8			**	50	**	-3.60	74.6
31.4	2.91	**	60	**	-4.12	79.3	33.9	3.07	**	60	**	-3.88	82.5
39.8	2.72	**	70	**	-4.35	86.5	41.9	2.90	**	70	**	-4.14	90.1
48.7	2.54	**	80	**	-4.56	93.4	50.3	2.72	**	80	**	-4.39	97.3
58.3	2.37	**	90	**	-4.72	100.3	59.1	2.54	**	90	**	-4.61	104.3
68.8	2.21	**	100	**	-4.85	107.1	68.6	2.37	**	100	**	-4.79	111.2
		**	110	**	-4.93	113.8			**	110	**	-4.93	117.9
80.3	2.06	**	120	**	-4.97	120.6	79.0	2.21	**	120	**	-5.02	124.7
93.0	1.94	**	130	**	-4.96	127.5	90.3	2.07	**	130	**	-5.07	131.4
106.8	1.85	**	140	**	-4.91	134.4	102.8	1.95	**	140	**	-5.07	138.2
121.6	1.79	**	150	**	-4.81	141.6	114.4	1.85	**	150	**	-5.03	145.1
136.9	1.77	**	160	**	-4.68	148.8	130.9	1.79	**	160	**	-4.94	152.2
		**	170	**	-4.51	156.3	146.1	1.76	**	170	**	-4.81	159.4
152.2	1.77	**	180	**	-4.32	164.0	161.4	1.75	**	180	**	-4.64	166.8
167.1	1.80	**	190	**	-4.11	172.0	176.3	1.78	**	190	**	-4.45	174.4
181.2	1.85	**	200	**	-3.88	180.2	190.4	1.83	**	200	**	-4.23	182.2
194.4	1.93	**	210	**	-3.65	188.7	203.8	1.90	**	210	**	-4.00	190.4
206.7	2.04	**	220	**	-3.41	197.6			**	220	**	-3.76	198.8
		**	230	**	-3.18	206.9	216.2	2.00	**	230	**	-3.52	207.6
218.2	2.16	**	240	**	-2.96	216.7	227.8	2.12	**	240	**	-3.28	216.7
229.0	2.30	**	250	**	-2.76	227.0	238.7	2.25	**	250	**	-3.05	226.4
239.2	2.45	**	260	**	-2.57	238.1	249.0	2.39	**	260	**	-2.84	236.6
248.9	2.60	**	270	**	-2.41	250.1	258.7	2.55	**	270	**	-2.64	247.6
258.2	2.76	**	280	**	-2.28	263.1			**	280	**	-2.47	259.4
		**	290	**	-2.18	277.4	268.1	2.71	**	290	**	-2.33	272.2
267.1	2.93	**	300	**	-2.11	292.8	277.1	2.86	**	300	**	-2.22	286.2
275.8	3.08	**	310	**	-2.08	309.4	285.8	3.02	**	310	**	-2.14	301.5
284.2	3.23	**	320	**	-2.10	326.4	294.2	3.16	**	320	**	-2.11	317.9
292.4	3.37	**	330	**	-2.16	343.1	302.5	3.30	**	330	**	-2.11	339.0
300.5	3.48	**	340	**	-2.26	358.8			**	340	**	-2.17	351.9
		**	350	**	-2.41	12.8	310.6	3.42	**	350	**	-2.26	7.9
308.3	3.58	**	360	**	-2.60	25.3	318.5	3.51	**	360	**	-2.41	22.3
316.1	3.66	**		**			326.3	3.59	**		**		
323.7	3.71	**		**			334.0	3.64	**		**		
331.2	3.73	**		**			341.5	3.67	**		**		
338.6	3.72	**		**					**		**		
		**		**			349.0	3.66	**		**		
346.0	3.68	**		**			356.4	3.63	**		**		
353.4	3.61	**		**					**		**		

9. Fortsetzung Referat: Geozentrische Zonen der Planeten, ...

VENUS

-3000						-2000								
☉	N	β	λ	β	S	☉	☉	N	β	λ	β	S	☉	
337.0		6.72	*	0	*	-3.01	44.7	340.1	7.16	*	0	*	-2.59	45.6
343.2		6.19	*	10	*	-3.56	52.6	346.2	6.67	*	10	*	-3.09	54.3
349.6		5.62	*	20	*	-4.17	60.0	352.5	6.12	*	20	*	-3.65	62.2
356.0		5.02	*	30	*	-4.80	66.9	358.8	5.53	*	30	*	-4.25	69.4
2.7		4.43	*	40	*	-5.45	73.6	5.4	4.93	*	40	*	-4.89	76.3
			*		*					*		*		
9.7		3.85	*	50	*	-6.10	80.0	12.1	4.33	*	50	*	-5.53	82.9
17.1		3.29	*	60	*	-6.71	86.3	19.2	3.75	*	60	*	-6.16	89.3
25.3		2.79	*	70	*	-7.29	92.4	26.8	3.20	*	70	*	-6.76	95.6
34.6		2.34	*	80	*	-7.80	98.4	35.1	2.70	*	80	*	-7.32	101.7
45.8		1.97	*	90	*	-8.23	104.4	44.7	2.27	*	90	*	-7.81	107.7
			*		*					*		*		
60.4		1.69	*	100	*	-8.58	110.2	56.4	1.91	*	100	*	-8.23	113.7
81.3		1.50	*	110	*	-8.82	116.1	71.9	1.64	*	110	*	-8.55	119.6
111.8		1.41	*	120	*	-8.95	121.8	94.2	1.47	*	120	*	-8.78	125.4
147.1		1.44	*	130	*	-8.97	127.6	126.2	1.41	*	130	*	-8.89	131.2
174.8		1.58	*	140	*	-8.87	133.3	160.8	1.45	*	140	*	-8.90	137.0
			*		*					*		*		
193.3		1.83	*	150	*	-8.67	139.0	186.7	1.61	*	150	*	-8.79	142.7
206.4		2.17	*	160	*	-8.35	144.8	204.1	1.88	*	160	*	-8.56	148.4
216.7		2.61	*	170	*	-7.93	150.6	216.6	2.24	*	170	*	-8.24	154.2
225.4		3.12	*	180	*	-7.43	156.4	226.6	2.70	*	180	*	-7.81	160.0
233.1		3.69	*	190	*	-6.86	162.4	235.1	3.23	*	190	*	-7.31	165.9
			*		*					*		*		
240.2		4.30	*	200	*	-6.23	168.5	242.7	3.81	*	200	*	-6.73	171.8
246.9		4.92	*	210	*	-5.56	174.7	249.8	4.42	*	210	*	-6.10	177.9
253.3		5.54	*	220	*	-4.89	181.3	256.4	5.05	*	220	*	-5.44	184.2
259.5		6.13	*	230	*	-4.22	188.1	262.7	5.68	*	230	*	-4.77	190.8
265.6		6.69	*	240	*	-3.59	195.5	268.9	6.28	*	240	*	-4.12	197.7
			*		*					*		*		
271.5		7.19	*	250	*	-3.00	203.6	274.9	6.83	*	250	*	-3.49	205.1
277.5		7.61	*	260	*	-2.49	212.8	280.9	7.32	*	260	*	-2.92	213.3
283.3		7.96	*	270	*	-2.06	224.0	286.8	7.74	*	270	*	-2.42	222.8
289.2		8.21	*	280	*	-1.74	238.7	292.6	8.07	*	280	*	-2.01	234.3
295.1		8.36	*	290	*	-1.52	259.9	298.5	8.31	*	290	*	-1.70	249.8
			*		*					*		*		
301.0		8.41	*	300	*	-1.42	290.9	304.3	8.44	*	300	*	-1.50	272.5
306.9		8.36	*	310	*	-1.43	326.1	310.2	8.48	*	310	*	-1.42	305.1
312.8		8.20	*	320	*	-1.55	353.3	316.1	8.40	*	320	*	-1.45	339.7
318.8		7.95	*	330	*	-1.78	11.8	322.0	8.23	*	330	*	-1.59	5.2
324.8		7.62	*	340	*	-2.10	25.2	328.0	7.96	*	340	*	-1.83	22.6
			*		*					*		*		
330.9		7.20	*	350	*	-2.51	35.7	334.0	7.60	*	350	*	-2.16	35.4
337.0		6.72	*	360	*	-3.01	44.7	340.1	7.16	*	360	*	-2.59	45.6

-1000						0								
☉	N	β	λ	β	S	☉	☉	N	β	λ	β	S	☉	
343.3		7.60	*	0	*	-2.23	45.5	346.7	8.02	*	0	*	-1.92	43.8
349.4		7.15	*	10	*	-2.66	55.5	352.7	7.62	*	10	*	-2.29	55.6
355.6		6.63	*	20	*	-3.17	64.0	358.8	7.15	*	20	*	-2.73	65.3
1.8		6.07	*	30	*	-3.73	71.8	4.9	6.62	*	30	*	-3.24	73.7
8.2		5.47	*	40	*	-4.34	79.0	11.2	6.04	*	40	*	-3.81	81.4
			*		*					*		*		
14.8		4.87	*	50	*	-4.96	85.8	17.6	5.43	*	50	*	-4.41	88.5
21.6		4.26	*	60	*	-5.60	92.4	24.3	4.82	*	60	*	-5.04	95.3
28.8		3.67	*	70	*	-6.22	98.7	31.1	4.20	*	70	*	-5.67	101.8
36.5		3.13	*	80	*	-6.81	105.0	38.4	3.62	*	80	*	-6.28	108.2
45.0		2.63	*	90	*	-7.35	111.1	46.2	3.07	*	90	*	-6.86	114.4
			*		*					*		*		
54.9		2.21	*	100	*	-7.83	117.1	54.9	2.58	*	100	*	-7.39	120.5
67.0		1.87	*	110	*	-8.23	123.1	65.0	2.16	*	110	*	-7.85	126.6
83.3		1.61	*	120	*	-8.54	129.0	77.6	1.83	*	120	*	-8.23	132.5
107.1		1.46	*	130	*	-8.74	134.8	94.8	1.59	*	130	*	-8.52	138.4
140.1		1.41	*	140	*	-8.84	140.6	119.7	1.45	*	140	*	-8.71	144.3
			*		*					*		*		
173.8		1.47	*	150	*	-8.83	146.4	153.5	1.41	*	150	*	-8.80	150.1
198.2		1.64	*	160	*	-8.71	152.2	186.2	1.49	*	160	*	-8.77	155.9
214.7		1.93	*	170	*	-8.48	157.9	209.3	1.68	*	170	*	-8.64	161.7
226.8		2.31	*	180	*	-8.14	163.7	225.1	1.97	*	180	*	-8.39	167.5
236.5		2.78	*	190	*	-7.71	169.5	236.8	2.37	*	190	*	-8.05	173.3
			*		*					*		*		
244.8		3.32	*	200	*	-7.20	175.4	246.3	2.86	*	200	*	-7.62	179.1
252.4		3.92	*	210	*	-6.62	181.4	254.6	3.41	*	210	*	-7.10	185.0
259.3		4.54	*	220	*	-5.99	187.5	262.0	4.02	*	220	*	-6.52	191.0
265.9		5.18	*	230	*	-5.34	193.8	268.9	4.66	*	230	*	-5.90	197.1
272.2		5.81	*	240	*	-4.67	200.3	275.5	5.30	*	240	*	-5.24	203.4
			*		*					*		*		
278.4		6.41	*	250	*	-4.02	207.3	281.8	5.94	*	250	*	-4.59	210.0
284.4		6.97	*	260	*	-3.41	214.8	287.9	6.54	*	260	*	-3.94	217.0
290.3		7.46	*	270	*	-2.85	223.1	293.9	7.10	*	270	*	-3.34	224.6
296.2		7.87	*	280	*	-2.36	232.8	299.8	7.59	*	280	*	-2.79	233.0
302.0		8.19	*	290	*	-1.96	244.7	305.6	8.00	*	290	*	-2.31	242.8
			*		*					*		*		
307.8		8.42	*	300	*	-1.67	260.9	311.5	8.31	*	300	*	-1.93	255.2
313.7		8.54	*	310	*	-1.48	285.0	317.3	8.53	*	310	*	-1.64	272.1
319.5		8.55	*	320	*	-1.42	319.0	323.1	8.64	*	320	*	-1.48	297.5
325.4		8.46	*	330	*	-1.46	352.7	328.9	8.64	*	330	*	-1.42	332.4
331.3		8.27	*	340	*	-1.62	16.8	334.8	8.53	*	340	*	-1.49	5.2
			*		*					*		*		
337.3		7.98	*	350	*	-1.88	33.3	340.7	8.32	*	350	*	-1.65	28.1
343.3		7.60	*	360	*	-2.23	45.5	346.7	8.02	*	360	*	-1.92	43.8

10.Fortsetzung Referat: Geozentrische Zonen der Planeten, ...

VENUS

0					1000								
⊙	N	β	λ	β S ⊙	⊙	N	β	λ	β S ⊙				
346.7	8.02	**	0	**	-1.92	43.8	350.2	8.38	**	0	**	-1.69	39.1
352.7	7.62	**	10	**	-2.29	55.6	356.1	8.06	**	10	**	-1.97	54.2
358.8	7.15	**	20	**	-2.73	65.3	2.1	7.65	**	20	**	-2.34	65.7
4.9	6.62	**	30	**	-3.24	73.7	8.2	7.16	**	30	**	-2.79	75.2
11.2	6.04	**	40	**	-3.81	81.4	14.4	6.62	**	40	**	-3.31	83.5
17.6	5.43	**	50	**	-4.41	88.5	20.7	6.03	**	50	**	-3.88	91.0
24.3	4.82	**	60	**	-5.04	95.3	27.1	5.41	**	60	**	-4.49	98.1
31.1	4.20	**	70	**	-5.67	101.8	33.8	4.78	**	70	**	-5.11	104.9
38.4	3.62	**	80	**	-6.28	108.2	40.7	4.16	**	80	**	-5.73	111.4
46.2	3.07	**	90	**	-6.86	114.4	48.0	3.57	**	90	**	-6.34	117.7
54.9	2.58	**	100	**	-7.39	120.5	55.9	3.03	**	100	**	-6.90	123.9
65.0	2.16	**	110	**	-7.85	126.6	64.8	2.54	**	110	**	-7.42	130.0
77.6	1.83	**	120	**	-8.23	132.5	75.2	2.13	**	120	**	-7.87	136.1
94.8	1.59	**	130	**	-8.52	138.4	88.2	1.80	**	130	**	-8.24	142.0
119.7	1.45	**	140	**	-8.71	144.3	106.1	1.57	**	140	**	-8.51	148.0
153.5	1.41	**	150	**	-8.80	150.1	132.2	1.44	**	150	**	-8.69	153.8
186.2	1.49	**	160	**	-8.77	155.9	166.4	1.42	**	160	**	-8.76	159.7
209.3	1.68	**	170	**	-8.64	161.7	198.1	1.50	**	170	**	-8.72	165.5
225.1	1.97	**	180	**	-8.39	167.5	220.2	1.71	**	180	**	-8.57	171.3
236.8	2.37	**	190	**	-8.05	173.3	235.4	2.02	**	190	**	-8.32	177.1
246.3	2.86	**	200	**	-7.62	179.1	246.8	2.43	**	200	**	-7.97	182.9
254.6	3.41	**	210	**	-7.10	185.0	256.2	2.93	**	210	**	-7.53	188.7
262.0	4.02	**	220	**	-6.52	191.0	264.3	3.49	**	220	**	-7.01	194.6
268.9	4.66	**	230	**	-5.90	197.1	271.7	4.11	**	230	**	-6.43	200.6
275.5	5.30	**	240	**	-5.24	203.4	278.6	4.76	**	240	**	-5.81	206.8
281.8	5.94	**	250	**	-4.59	210.0	285.1	5.41	**	250	**	-5.16	213.1
287.9	6.54	**	260	**	-3.94	217.0	291.4	6.05	**	260	**	-4.51	219.7
293.9	7.10	**	270	**	-3.34	224.6	297.5	6.66	**	270	**	-3.87	226.7
299.8	7.59	**	280	**	-2.79	233.0	303.5	7.22	**	280	**	-3.27	234.4
305.6	8.00	**	290	**	-2.31	242.8	309.4	7.71	**	290	**	-2.73	242.9
311.5	8.31	**	300	**	-1.93	255.2	315.2	8.12	**	300	**	-2.27	253.0
317.3	8.53	**	310	**	-1.64	272.1	321.0	8.43	**	310	**	-1.89	265.6
323.1	8.64	**	320	**	-1.48	297.5	326.8	8.64	**	320	**	-1.63	283.3
328.9	8.64	**	330	**	-1.42	332.4	332.6	8.74	**	330	**	-1.47	309.9
334.8	8.53	**	340	**	-1.49	5.2	338.4	8.72	**	340	**	-1.43	345.4
340.7	8.32	**	350	**	-1.65	28.1	344.3	8.61	**	350	**	-1.51	17.3
346.7	8.02	**	360	**	-1.92	43.8	350.2	8.38	**	360	**	-1.69	39.1

2000					3000								
⊙	N	β	λ	β S ⊙	⊙	N	β	λ	β S ⊙				
353.8	8.68	**	0	**	-1.53	29.0	357.6	8.89	**	0	**	-1.45	10.6
359.7	8.44	**	10	**	-1.72	50.0	3.5	8.75	**	10	**	-1.55	40.6
5.7	8.11	**	20	**	-2.01	64.6	9.3	8.50	**	20	**	-1.75	60.7
11.7	7.68	**	30	**	-2.40	75.8	15.3	8.15	**	30	**	-2.06	74.9
17.8	7.18	**	40	**	-2.86	85.1	21.2	7.72	**	40	**	-2.45	85.8
23.9	6.62	**	50	**	-3.38	93.3	27.3	7.21	**	50	**	-2.92	95.0
30.2	6.02	**	60	**	-3.95	100.7	33.5	6.64	**	60	**	-3.45	103.1
36.7	5.39	**	70	**	-4.56	107.8	39.8	6.02	**	70	**	-4.02	110.5
43.4	4.76	**	80	**	-5.18	114.5	46.3	5.38	**	80	**	-4.63	117.4
50.3	4.13	**	90	**	-5.79	120.9	53.0	4.74	**	90	**	-5.25	124.1
57.7	3.54	**	100	**	-6.39	127.2	60.0	4.11	**	100	**	-5.86	130.5
65.7	2.99	**	110	**	-6.95	133.4	67.4	3.51	**	110	**	-6.45	136.8
74.7	2.50	**	120	**	-7.45	139.5	75.5	2.96	**	120	**	-6.99	143.0
85.3	2.10	**	130	**	-7.89	145.6	84.6	2.48	**	130	**	-7.49	149.1
98.7	1.78	**	140	**	-8.24	151.6	95.4	2.07	**	140	**	-7.91	155.1
117.4	1.55	**	150	**	-8.50	157.5	109.3	1.76	**	150	**	-8.25	161.1
144.4	1.43	**	160	**	-8.66	163.4	128.6	1.54	**	160	**	-8.49	167.0
179.0	1.42	**	170	**	-8.72	169.2	156.6	1.43	**	170	**	-8.64	172.9
209.7	1.52	**	180	**	-8.67	175.0	191.2	1.43	**	180	**	-8.68	178.8
230.9	1.74	**	190	**	-8.51	180.9	221.0	1.54	**	190	**	-8.62	184.6
245.6	2.06	**	200	**	-8.25	186.7	241.5	1.76	**	200	**	-8.45	190.5
256.8	2.48	**	210	**	-7.89	192.5	255.8	2.10	**	210	**	-8.18	196.3
266.0	2.99	**	220	**	-7.44	198.4	266.7	2.53	**	220	**	-7.81	202.1
274.1	3.56	**	230	**	-6.92	204.3	275.8	3.04	**	230	**	-7.36	208.0
281.4	4.19	**	240	**	-6.34	210.3	283.9	3.63	**	240	**	-6.84	214.0
288.3	4.84	**	250	**	-5.72	216.5	291.2	4.26	**	250	**	-6.26	220.0
294.8	5.51	**	260	**	-5.08	222.8	298.0	4.92	**	260	**	-5.64	226.2
301.1	6.16	**	270	**	-4.43	229.5	304.5	5.59	**	270	**	-5.00	232.6
307.1	6.77	**	280	**	-3.80	236.6	310.7	6.25	**	280	**	-4.36	239.3
313.1	7.33	**	290	**	-3.21	244.2	316.8	6.86	**	290	**	-3.74	246.4
319.0	7.82	**	300	**	-2.68	252.9	322.8	7.43	**	300	**	-3.16	254.1
324.8	8.22	**	310	**	-2.23	263.1	328.7	7.92	**	310	**	-2.64	262.9
330.6	8.53	**	320	**	-1.87	276.2	334.5	8.32	**	320	**	-2.19	273.3
336.4	8.73	**	330	**	-1.61	294.5	340.3	8.63	**	330	**	-1.84	286.7
342.2	8.83	**	340	**	-1.47	322.2	346.1	8.83	**	340	**	-1.60	305.7
348.0	8.81	**	350	**	-1.44	358.1	351.8	8.91	**	350	**	-1.46	334.5
353.8	8.68	**	360	**	-1.53	29.0	357.6	8.89	**	360	**	-1.45	10.6

11. Fortsetzung Referat: Geozentrische Zonen der Planeten, ...

-3000					MARS					-2000				
☉	N	β	λ	β	S	☉	☉	N	β	λ	β	S	☉	
248.0		1.20	*	0	*	-2.96	126.7	253.1	0.66	*	0	*	-3.57	131.6
250.5		1.70	*	10	*	-2.29	130.4	255.2	1.34	*	10	*	-2.89	135.4
253.6		2.21	*	20	*	-1.65	133.7	257.9	1.64	*	20	*	-2.21	139.1
257.0		2.71	*	30	*	-1.05	136.5	261.0	2.33	*	30	*	-1.56	142.3
260.7		3.19	*	40	*	-0.49	138.4	264.4	2.81	*	40	*	-0.95	145.0
264.7		3.63	*	50	*	-0.00	139.2	268.2	3.26	*	50	*	-0.40	146.7
268.9		4.03	*	60	*	0.41	138.2	272.1	3.68	*	60	*	0.08	147.2
273.2		4.37	*	70	*	0.74	134.8	276.3	4.04	*	70	*	0.48	145.8
277.6		4.65	*	80	*	0.98	127.8	280.6	4.34	*	80	*	0.80	141.7
282.0		4.85	*	90	*	1.13	116.2	285.0	4.58	*	90	*	1.02	133.5
286.4		4.97	*	100	*	1.19	99.8	289.4	4.74	*	100	*	1.14	120.5
290.7		5.01	*	110	*	1.14	81.8	293.8	4.82	*	110	*	1.17	103.4
294.9		4.96	*	120	*	0.98	67.6	298.1	4.82	*	120	*	1.10	86.1
298.9		4.82	*	130	*	0.71	59.7	302.3	4.73	*	130	*	0.92	73.6
302.8		4.60	*	140	*	0.32	56.6	306.4	4.56	*	140	*	0.63	67.0
306.5		4.30	*	150	*	-0.17	56.2	310.3	4.32	*	150	*	0.23	64.5
310.0		3.92	*	160	*	-0.75	57.4	314.0	4.00	*	160	*	-0.27	64.5
313.3		3.48	*	170	*	-1.40	59.5	317.6	3.61	*	170	*	-0.86	65.9
316.4		2.99	*	180	*	-2.10	62.1	320.9	3.17	*	180	*	-1.52	68.3
319.3		2.46	*	190	*	-2.83	65.1	324.0	2.69	*	190	*	-2.23	71.1
321.9		1.91	*	200	*	-3.55	68.2	326.8	2.17	*	200	*	-2.95	74.2
324.2		1.36	*	210	*	-4.24	71.4	329.3	1.64	*	210	*	-3.68	77.4
326.1		0.82	*	220	*	-4.88	74.7	331.5	1.11	*	220	*	-4.37	80.7
327.3		0.31	*	230	*	-5.45	78.0	333.1	0.61	*	230	*	-5.01	84.1
327.5		-0.14	*	240	*	-5.92	81.3	334.0	0.14	*	240	*	-5.58	87.4
326.0		-0.53	*	250	*	-6.29	84.7	333.7	-0.28	*	250	*	-6.05	90.8
321.2		-0.82	*	260	*	-6.53	88.1	331.3	-0.63	*	260	*	-6.41	94.2
310.5		-1.03	*	270	*	-6.65	91.6	329.2	-0.89	*	270	*	-6.64	97.6
291.8		-1.12	*	280	*	-6.64	95.2	312.4	-1.05	*	280	*	-6.75	101.1
271.5		-1.10	*	290	*	-6.50	98.9	292.2	-1.11	*	290	*	-6.73	104.6
257.7		-0.99	*	300	*	-6.24	102.7	273.2	-1.06	*	300	*	-6.57	108.2
249.9		-0.78	*	310	*	-5.87	106.6	261.2	-0.92	*	310	*	-6.30	111.9
246.0		-0.50	*	320	*	-5.41	110.6	254.8	-0.69	*	320	*	-5.91	115.7
244.6		-0.15	*	330	*	-4.87	114.6	251.9	-0.39	*	330	*	-5.42	119.6
244.8		0.26	*	340	*	-4.26	118.7	251.1	-0.02	*	340	*	-4.86	123.6
246.0		0.71	*	350	*	-3.62	122.8	251.6	0.40	*	350	*	-4.23	127.6
248.0		1.20	*	360	*	-2.96	126.7	253.1	0.86	*	360	*	-3.57	131.6

-1000					0									
☉	N	β	λ	β	S	☉	☉	N	β	λ	β	S	☉	
258.5		0.54	*	0	*	-4.21	136.7	264.5	0.25	*	0	*	-4.84	142.2
260.2		1.01	*	10	*	-3.53	140.6	265.6	0.69	*	10	*	-4.19	146.0
262.5		1.49	*	20	*	-2.83	144.4	267.5	1.16	*	20	*	-3.49	149.8
265.3		1.98	*	30	*	-2.15	147.9	269.9	1.65	*	30	*	-2.78	153.4
268.4		2.47	*	40	*	-1.49	151.1	272.7	2.13	*	40	*	-2.09	156.9
271.9		2.93	*	50	*	-0.87	153.6	275.9	2.61	*	50	*	-1.42	160.0
275.6		3.36	*	60	*	-0.32	155.2	279.3	3.05	*	60	*	-0.80	162.4
279.6		3.74	*	70	*	0.15	155.5	283.1	3.46	*	70	*	-0.25	163.9
283.7		4.07	*	80	*	0.54	153.6	287.0	3.82	*	80	*	0.22	163.9
288.0		4.33	*	90	*	0.84	148.7	291.1	4.12	*	90	*	0.60	161.6
292.4		4.53	*	100	*	1.05	139.3	295.4	4.35	*	100	*	0.88	155.6
294.8		4.65	*	110	*	1.15	125.0	299.8	4.51	*	110	*	1.07	145.2
301.2		4.70	*	120	*	1.16	107.4	304.2	4.60	*	120	*	1.15	129.7
305.5		4.66	*	130	*	1.07	91.2	308.6	4.61	*	130	*	1.14	112.1
309.8		4.54	*	140	*	0.87	80.3	313.0	4.54	*	140	*	1.03	97.1
313.9		4.35	*	150	*	0.56	74.7	317.2	4.39	*	150	*	0.81	87.5
317.8		4.08	*	160	*	0.15	72.7	321.4	4.16	*	160	*	0.49	82.7
321.6		3.74	*	170	*	-0.37	73.1	325.3	3.87	*	170	*	0.07	81.3
325.1		3.35	*	180	*	-0.96	74.7	329.1	3.52	*	180	*	-0.45	81.8
328.4		2.90	*	190	*	-1.62	77.2	332.6	3.11	*	190	*	-1.04	83.7
331.5		2.42	*	200	*	-2.33	80.1	335.9	2.67	*	200	*	-1.70	86.3
334.2		1.92	*	210	*	-3.06	83.4	339.0	2.19	*	210	*	-2.41	89.4
336.6		1.40	*	220	*	-3.78	86.7	341.6	1.69	*	220	*	-3.13	92.7
338.6		0.90	*	230	*	-4.48	90.2	344.0	1.20	*	230	*	-3.85	96.2
340.0		0.42	*	240	*	-5.12	93.6	345.8	0.71	*	240	*	-4.54	99.7
340.6		-0.02	*	250	*	-5.68	97.0	346.9	0.26	*	250	*	-5.18	103.3
339.7		-0.40	*	260	*	-6.15	100.4	347.0	-0.15	*	260	*	-5.74	106.8
336.4		-0.71	*	270	*	-6.50	103.9	345.5	-0.50	*	270	*	-6.21	110.2
328.8		-0.94	*	280	*	-6.73	107.3	341.2	-0.78	*	280	*	-6.56	113.7
313.9		-1.07	*	290	*	-6.83	110.7	332.0	-0.98	*	290	*	-6.78	117.1
292.9		-1.09	*	300	*	-6.80	114.2	315.2	-1.08	*	300	*	-6.88	120.6
275.5		-1.02	*	310	*	-6.63	117.8	294.2	-1.07	*	310	*	-6.84	124.0
265.3		-0.85	*	320	*	-6.34	121.4	278.6	-0.97	*	320	*	-6.67	127.5
260.2		-0.59	*	330	*	-5.94	125.1	270.0	-0.77	*	330	*	-6.37	131.1
258.0		-0.27	*	340	*	-5.44	128.9	265.8	-0.50	*	340	*	-5.96	134.7
257.7		0.11	*	350	*	-4.85	132.8	264.3	-0.15	*	350	*	-5.44	138.4
258.5		0.54	*	360	*	-4.21	136.7	264.5	0.25	*	360	*	-4.84	142.2

12.Fortsetzung Referat: Geozentrische Zonen der Planeten, ...

MARS

0					1000									
⊙	N	β	λ	β ^S ⊙	⊙	N	β	λ	β ^S ⊙					
264.5		0.25	*	0	*	-4.04	142.2	270.9	-0.03	*	0	*	-5.43	146.1
265.6		0.69	*	10	*	-4.19	146.0	271.4	0.39	*	10	*	-4.82	151.8
267.5		1.16	*	20	*	-3.49	149.6	272.8	0.84	*	20	*	-4.16	155.4
269.9		1.65	*	30	*	-2.78	153.4	274.8	1.32	*	30	*	-3.45	159.1
272.7		2.13	*	40	*	-2.09	156.9	277.3	1.81	*	40	*	-2.73	162.7
			*	50	*	-1.42	160.0	280.2	2.30	*	50	*	-2.03	166.0
275.9		2.61	*	60	*	-0.80	162.4	283.4	2.76	*	60	*	-1.35	169.0
279.3		3.05	*	70	*	-0.25	163.9	286.8	3.19	*	70	*	-0.73	171.4
283.1		3.46	*	80	*	0.22	163.9	290.6	3.56	*	80	*	-0.19	172.7
287.0		3.82	*	90	*	0.60	161.6	294.5	3.91	*	90	*	0.28	172.4
291.1		4.12	*		*					*		*		
			*	100	*	0.88	155.8	298.6	4.18	*	100	*	0.65	169.6
295.4		4.35	*	110	*	1.07	145.2	302.8	4.39	*	110	*	0.92	162.9
299.8		4.51	*	120	*	1.15	129.7	307.2	4.51	*	120	*	1.08	151.0
304.2		4.60	*	130	*	1.14	112.1	311.6	4.57	*	130	*	1.15	134.5
308.6		4.61	*	140	*	1.03	97.1	316.0	4.54	*	140	*	1.12	117.2
313.0		4.54	*		*					*		*		
			*	150	*	0.81	87.5	320.4	4.44	*	150	*	0.99	103.5
317.2		4.39	*	160	*	0.49	82.7	324.7	4.26	*	160	*	0.76	95.1
321.4		4.16	*	170	*	0.07	81.3	328.9	4.01	*	170	*	0.43	91.0
325.3		3.87	*	180	*	-0.45	81.8	332.8	3.70	*	180	*	0.00	89.9
329.1		3.52	*	190	*	-1.04	83.7	336.6	3.33	*	190	*	-0.52	90.7
332.6		3.11	*		*					*		*		
			*	200	*	-1.70	86.3	340.2	2.91	*	200	*	-1.11	92.7
335.9		2.67	*	210	*	-2.41	89.4	343.5	2.46	*	210	*	-1.77	95.4
339.0		2.19	*	220	*	-3.13	92.7	346.4	1.98	*	220	*	-2.46	98.6
341.6		1.69	*	230	*	-3.85	96.2	349.1	1.49	*	230	*	-3.18	102.1
344.0		1.20	*	240	*	-4.54	99.7	351.2	1.01	*	240	*	-3.89	105.7
345.8		0.71	*		*					*		*		
			*	250	*	-5.18	103.3	352.9	0.54	*	250	*	-4.58	109.3
346.9		0.26	*	260	*	-5.74	106.8	353.7	0.11	*	260	*	-5.21	113.0
347.0		-0.15	*	270	*	-6.21	110.2	353.4	-0.27	*	270	*	-5.76	116.6
345.5		-0.50	*	280	*	-6.56	113.7	351.2	-0.60	*	280	*	-6.22	120.1
341.2		-0.78	*	290	*	-6.78	117.1	345.8	-0.85	*	290	*	-6.57	123.6
332.0		-0.98	*		*					*		*		
			*	300	*	-6.88	120.6	334.8	-1.01	*	300	*	-6.80	127.1
315.2		-1.08	*	310	*	-6.84	124.0	316.5	-1.08	*	310	*	-6.89	130.5
294.2		-1.07	*	320	*	-6.67	127.5	296.0	-1.05	*	320	*	-6.85	134.0
278.6		-0.97	*	330	*	-6.37	131.1	282.2	-0.92	*	330	*	-6.67	137.4
270.0		-0.77	*	340	*	-5.96	134.7	275.0	-0.70	*	340	*	-6.37	140.9
265.8		-0.50	*		*					*		*		
			*	350	*	-5.44	138.4	271.8	-0.40	*	350	*	-5.95	144.5
264.3		-0.15	*	360	*	-4.84	142.2	270.9	-0.03	*	360	*	-5.43	148.1
264.5		0.25	*		*					*		*		

2000					3000									
⊙	N	β	λ	β ^S ⊙	⊙	N	β	λ	β ^S ⊙					
278.0		-0.29	*	0	*	-5.91	154.3	286.0	-0.53	*	0	*	-6.26	160.8
277.6		0.10	*	10	*	-5.39	157.9	284.3	-0.18	*	10	*	-5.84	164.2
278.4		0.53	*	20	*	-4.78	161.4	284.4	0.24	*	20	*	-5.32	167.7
280.0		1.01	*	30	*	-4.11	165.0	285.5	0.69	*	30	*	-4.71	171.1
282.2		1.50	*	40	*	-3.40	168.5	287.3	1.18	*	40	*	-4.04	174.6
			*	50	*	-2.68	172.0			*	50	*	-3.33	178.0
284.8		1.99	*	60	*	-1.97	175.3	289.6	1.68	*	60	*	-2.61	181.4
287.7		2.47	*	70	*	-1.29	178.1	292.3	2.18	*	70	*	-1.89	184.5
290.9		2.93	*	80	*	-0.67	180.4	295.2	2.67	*	80	*	-1.22	187.3
294.4		3.35	*	90	*	-0.12	181.5	298.5	3.12	*	90	*	-0.60	189.4
298.1		3.72	*		*			301.9	3.52	*		*		
			*	100	*	0.33	181.0			*	100	*	-0.06	190.3
302.0		4.03	*	110	*	0.69	177.7	305.6	3.88	*	110	*	0.39	189.5
306.1		4.27	*	120	*	0.95	170.0	309.5	4.17	*	120	*	0.74	185.6
310.3		4.44	*	130	*	1.10	156.8	313.5	4.38	*	130	*	0.98	176.9
314.6		4.54	*	140	*	1.15	139.5	317.8	4.53	*	140	*	1.11	162.3
319.0		4.56	*		*			322.1	4.59	*		*		
			*	150	*	1.10	122.7			*	150	*	1.14	144.4
323.5		4.50	*	160	*	0.95	110.3	326.5	4.57	*	160	*	1.07	128.4
327.9		4.36	*	170	*	0.71	102.9	330.9	4.48	*	170	*	0.91	117.2
332.2		4.15	*	180	*	0.37	99.5	335.3	4.31	*	180	*	0.65	110.8
336.4		3.88	*	190	*	-0.07	98.7	339.4	4.07	*	190	*	0.31	107.9
340.4		3.54	*		*			343.8	3.77	*		*		
			*	200	*	-0.58	99.7			*	200	*	-0.13	107.5
344.2		3.16	*	210	*	-1.17	101.8	347.9	3.41	*	210	*	-0.64	108.6
347.7		2.73	*	220	*	-1.82	104.6	351.7	3.01	*	220	*	-1.23	110.9
351.0		2.27	*	230	*	-2.50	107.9	355.3	2.57	*	230	*	-1.86	113.8
353.9		1.79	*	240	*	-3.21	111.5	358.5	2.10	*	240	*	-2.54	117.2
356.5		1.31	*		*			1.4	1.62	*		*		
			*	250	*	-3.91	115.2			*	250	*	-3.22	120.8
358.5		0.84	*	260	*	-4.58	119.0	3.8	1.15	*	260	*	-3.91	124.7
359.9		0.39	*	270	*	-5.20	122.7	5.7	0.69	*	270	*	-4.56	128.5
0.4		-0.02	*	280	*	-5.75	126.4	6.9	0.25	*	280	*	-5.17	132.4
359.6		-0.38	*	290	*	-6.20	130.0	7.0	-0.14	*	290	*	-5.70	136.2
356.6		-0.68	*		*			5.6	-0.48	*		*		
			*	300	*	-6.55	133.6			*	300	*	-6.15	139.9
350.0		-0.90	*	310	*	-6.77	137.1	1.8	-0.75	*	310	*	-6.48	143.5
337.4		-1.04	*	320	*	-6.86	140.6	353.9	-0.95	*	320	*	-6.70	147.1
317.8		-1.08	*	330	*	-6.81	144.0	339.6	-1.06	*	330	*	-6.78	150.6
298.4		-1.02	*	340	*	-6.64	147.4	319.2	-1.07	*	340	*	-6.74	154.0
286.3		-0.86	*		*			301.2	-0.99	*		*		
			*	350	*	-6.33	150.9			*	350	*	-6.56	157.4
280.4		-0.61	*	360	*	-5.91	154.3	290.9	-0.80	*	360	*	-6.26	160.8
278.0		-0.29	*		*			286.0	-0.53	*		*		

14. Fortsetzung Referat: Geozentrische Zonen der Planeten, ...

JUPITER

0				1000									
⊙	N	β	λ	β	S	⊙	⊙	N	β	λ	β	S	⊙
349.0	-1.16	**	0	-1.75	170.7	1.4	-1.13	**	0	-1.70	179.2		
346.8	-1.09	**	10	-1.68	172.3	359.0	-1.11	**	10	-1.68	180.8		
344.7	-0.99	**	20	-1.57	173.8	356.8	-1.05	**	20	-1.62	182.4		
343.1	-0.84	**	30	-1.42	175.3	354.8	-0.95	**	30	-1.51	183.9		
341.8	-0.66	**	40	-1.24	176.6	353.1	-0.81	**	40	-1.37	185.4		
340.9	-0.46	**	50	-1.03	177.8	351.8	-0.64	**	50	-1.20	186.7		
340.4	-0.23	**	60	-0.80	178.8	350.9	-0.44	**	60	-0.99	187.9		
340.2	0.02	**	70	-0.55	179.6	350.4	-0.22	**	70	-0.77	188.9		
340.4	0.27	**	80	-0.29	180.1	350.2	0.02	**	80	-0.53	189.7		
340.9	0.53	**	90	-0.03	180.3	350.4	0.26	**	90	-0.28	190.2		
341.6	0.77	**	100	0.22	180.1	350.9	0.50	**	100	-0.03	190.4		
342.6	1.00	**	110	0.45	179.6	351.6	0.74	**	110	0.21	190.3		
343.6	1.21	**	120	0.67	178.7	352.6	0.96	**	120	0.43	189.7		
345.1	1.39	**	130	0.85	177.4	353.8	1.16	**	130	0.64	188.8		
346.5	1.54	**	140	1.00	175.7	355.1	1.33	**	140	0.81	187.5		
348.1	1.65	**	150	1.11	173.8	356.5	1.47	**	150	0.95	185.9		
349.7	1.71	**	160	1.17	171.6	358.1	1.58	**	160	1.06	183.9		
351.3	1.74	**	170	1.20	169.2	359.7	1.64	**	170	1.13	181.7		
352.9	1.72	**	180	1.17	166.9	1.3	1.66	**	180	1.15	179.3		
354.5	1.65	**	190	1.11	164.6	2.9	1.65	**	190	1.13	177.0		
356.0	1.55	**	200	1.00	162.7	4.5	1.58	**	200	1.06	174.8		
357.5	1.40	**	210	0.85	161.0	6.0	1.48	**	210	0.96	172.8		
358.8	1.22	**	220	0.67	159.7	7.5	1.34	**	220	0.82	171.1		
360.0	1.02	**	230	0.46	158.7	8.8	1.17	**	230	0.65	169.8		
0.9	0.79	**	240	0.23	158.2	10.0	0.98	**	240	0.44	168.9		
1.7	0.54	**	250	-0.02	158.1	10.9	0.76	**	250	0.22	168.3		
2.2	0.29	**	260	-0.28	158.3	11.7	0.52	**	260	-0.02	168.2		
2.4	0.04	**	270	-0.54	158.8	12.2	0.28	**	270	-0.27	168.4		
2.3	-0.21	**	280	-0.79	159.5	12.4	0.04	**	280	-0.52	168.9		
1.8	-0.44	**	290	-1.02	160.5	12.3	-0.20	**	290	-0.76	169.6		
0.9	-0.65	**	300	-1.24	161.7	11.8	-0.42	**	300	-0.98	170.6		
359.7	-0.83	**	310	-1.42	163.0	10.9	-0.62	**	310	-1.19	171.8		
358.0	-0.98	**	320	-1.57	164.4	9.7	-0.80	**	320	-1.36	173.1		
356.0	-1.09	**	330	-1.68	165.9	8.0	-0.94	**	330	-1.51	174.5		
353.8	-1.15	**	340	-1.75	167.5	6.0	-1.04	**	340	-1.61	176.1		
351.4	-1.18	**	350	-1.77	169.1	3.8	-1.11	**	350	-1.68	177.6		
349.0	-1.16	**	360	-1.75	170.7	1.4	-1.13	**	360	-1.70	179.2		

2000				3000									
⊙	N	β	λ	β	S	⊙	⊙	N	β	λ	β	S	⊙
13.9	-1.06	**	0	-1.61	187.8	26.3	-0.96	**	0	-1.48	196.6		
11.5	-1.08	**	10	-1.63	189.4	24.1	-1.02	**	10	-1.54	198.1		
9.1	-1.07	**	20	-1.61	191.0	21.7	-1.04	**	20	-1.57	199.7		
6.9	-1.01	**	30	-1.55	192.6	19.3	-1.02	**	30	-1.55	201.3		
4.9	-0.91	**	40	-1.46	194.1	17.1	-0.97	**	40	-1.49	202.9		
3.2	-0.78	**	50	-1.32	195.6	15.0	-0.87	**	50	-1.40	204.4		
1.9	-0.61	**	60	-1.15	196.9	13.4	-0.75	**	60	-1.27	205.9		
1.0	-0.42	**	70	-0.96	198.1	12.0	-0.59	**	70	-1.11	207.2		
0.4	-0.21	**	80	-0.74	199.1	11.1	-0.41	**	80	-0.92	208.4		
0.3	0.01	**	90	-0.51	199.9	10.6	-0.21	**	90	-0.72	209.4		
0.5	0.25	**	100	-0.27	200.4	10.4	0.01	**	100	-0.50	210.2		
1.0	0.48	**	110	-0.04	200.6	10.6	0.23	**	110	-0.27	210.7		
1.7	0.71	**	120	0.19	200.5	11.1	0.46	**	120	-0.04	211.0		
2.7	0.92	**	130	0.41	200.0	11.8	0.67	**	130	0.18	210.9		
3.8	1.11	**	140	0.61	199.1	12.8	0.88	**	140	0.39	210.4		
5.1	1.28	**	150	0.78	197.8	13.9	1.06	**	150	0.58	209.5		
6.6	1.41	**	160	0.91	196.2	15.3	1.22	**	160	0.74	208.2		
8.1	1.51	**	170	1.02	194.2	16.7	1.35	**	170	0.87	206.5		
9.7	1.57	**	180	1.08	192.0	18.2	1.45	**	180	0.97	204.6		
11.3	1.60	**	190	1.10	189.6	19.8	1.51	**	190	1.03	202.4		
13.0	1.58	**	200	1.08	187.3	21.4	1.53	**	200	1.05	200.0		
14.6	1.52	**	210	1.02	185.0	23.1	1.51	**	210	1.04	197.7		
16.1	1.42	**	220	0.92	183.0	24.7	1.46	**	220	0.98	195.4		
17.5	1.29	**	230	0.79	181.4	26.2	1.36	**	230	0.89	193.4		
18.9	1.13	**	240	0.62	180.0	27.7	1.24	**	240	0.76	191.7		
20.0	0.94	**	250	0.43	179.1	29.0	1.08	**	250	0.60	190.4		
21.0	0.73	**	260	0.21	178.6	30.2	0.90	**	260	0.42	189.5		
21.8	0.50	**	270	-0.02	178.4	31.2	0.70	**	270	0.21	188.9		
22.3	0.27	**	280	-0.25	178.6	31.9	0.48	**	280	-0.01	188.8		
22.5	0.04	**	290	-0.49	179.1	32.4	0.26	**	290	-0.24	188.9		
22.4	-0.19	**	300	-0.72	179.9	32.6	0.04	**	300	-0.46	189.4		
21.9	-0.40	**	310	-0.94	180.8	32.5	-0.18	**	310	-0.69	190.2		
21.0	-0.60	**	320	-1.14	182.0	32.1	-0.38	**	320	-0.89	191.2		
19.8	-0.76	**	330	-1.31	183.3	31.2	-0.57	**	330	-1.08	192.3		
18.1	-0.90	**	340	-1.44	184.8	29.9	-0.73	**	340	-1.25	193.6		
16.2	-1.00	**	350	-1.55	186.3	28.3	-0.86	**	350	-1.38	195.1		
13.9	-1.06	**	360	-1.61	187.8	26.3	-0.96	**	360	-1.48	196.6		

16.Fortsetzung Referat: Geozentrische Zonen der Planeten, ...

SATURN

0					1000						
⊙	N	β	λ	⊙	⊙	N	β	λ	⊙		
7.4	-2.29	*	0	-2.05	184.9	17.2	-2.19	*	0	-2.74	192.9
6.3	-2.30	*	10	-2.86	185.9	16.1	-2.27	*	10	-2.82	193.8
5.1	-2.23	*	20	-2.80	186.8	14.9	-2.27	*	20	-2.82	194.7
4.0	-2.08	*	30	-2.65	187.7	13.8	-2.19	*	30	-2.74	195.7
3.0	-1.86	*	40	-2.44	188.6	12.7	-2.03	*	40	-2.59	196.6
		*	50	-2.15	189.3	11.7	-1.81	*	50	-2.37	197.4
2.2	-1.58	*	60	-1.81	190.0	10.9	-1.52	*	60	-2.09	198.2
1.5	-1.24	*	70	-1.43	190.6	10.3	-1.18	*	70	-1.74	198.9
1.1	-0.85	*	80	-1.00	191.1	9.8	-0.79	*	80	-1.36	199.5
0.8	-0.43	*	90	-0.56	191.4	9.6	-0.37	*	90	-0.94	199.9
0.7	0.01	*						*			
		*	100	-0.11	191.5	9.5	0.07	*	100	-0.50	200.2
0.6	0.46	*	110	0.34	191.5	9.6	0.51	*	110	-0.05	200.3
1.1	0.90	*	120	0.77	191.2	9.9	0.95	*	120	0.39	200.2
1.5	1.33	*	130	1.17	190.8	10.3	1.36	*	130	0.81	199.9
2.0	1.72	*	140	1.52	190.2	10.9	1.74	*	140	1.20	199.5
2.7	2.07	*						*			
		*	150	1.82	189.4	11.6	2.08	*	150	1.54	198.8
3.5	2.36	*	160	2.06	188.4	12.4	2.36	*	160	1.83	198.0
4.3	2.59	*	170	2.22	187.3	13.2	2.58	*	170	2.05	197.0
5.2	2.75	*	180	2.31	186.2	14.1	2.73	*	180	2.20	196.0
6.1	2.83	*	190	2.32	185.0	15.1	2.80	*	190	2.28	194.8
7.1	2.84	*						*			
		*	200	2.25	183.9	16.0	2.80	*	200	2.28	193.7
8.0	2.77	*	210	2.11	182.8	16.9	2.72	*	210	2.21	192.5
9.0	2.62	*	220	1.89	181.8	17.9	2.57	*	220	2.06	191.5
9.8	2.40	*	230	1.61	181.0	18.7	2.34	*	230	1.83	190.5
10.6	2.12	*	240	1.27	180.3	19.5	2.05	*	240	1.55	189.7
11.3	1.78	*						*			
		*	250	0.88	179.9	20.2	1.71	*	250	1.21	189.0
11.9	1.39	*	260	0.46	179.6	20.7	1.33	*	260	0.82	188.6
12.3	0.98	*	270	0.02	179.5	21.2	0.91	*	270	0.40	188.3
12.6	0.53	*	280	-0.43	179.5	21.4	0.47	*	280	-0.04	188.2
12.8	0.09	*	290	-0.88	179.8	21.5	0.03	*	290	-0.48	188.3
12.7	-0.36	*						*			
		*	300	-1.31	180.2	21.5	-0.41	*	300	-0.92	188.6
12.4	-0.78	*	310	-1.71	180.8	21.2	-0.82	*	310	-1.34	189.0
12.0	-1.17	*	320	-2.06	181.5	20.7	-1.21	*	320	-1.73	189.6
11.4	-1.52	*	330	-2.36	182.2	20.1	-1.54	*	330	-2.07	190.3
10.6	-1.82	*	340	-2.60	183.1	19.3	-1.83	*	340	-2.36	191.1
9.7	-2.05	*						*			
		*	350	-2.76	184.0	18.3	-2.05	*	350	-2.59	191.9
8.6	-2.21	*	360	-2.85	184.9	17.2	-2.19	*	360	-2.74	192.9
7.4	-2.29	*						*			

2000

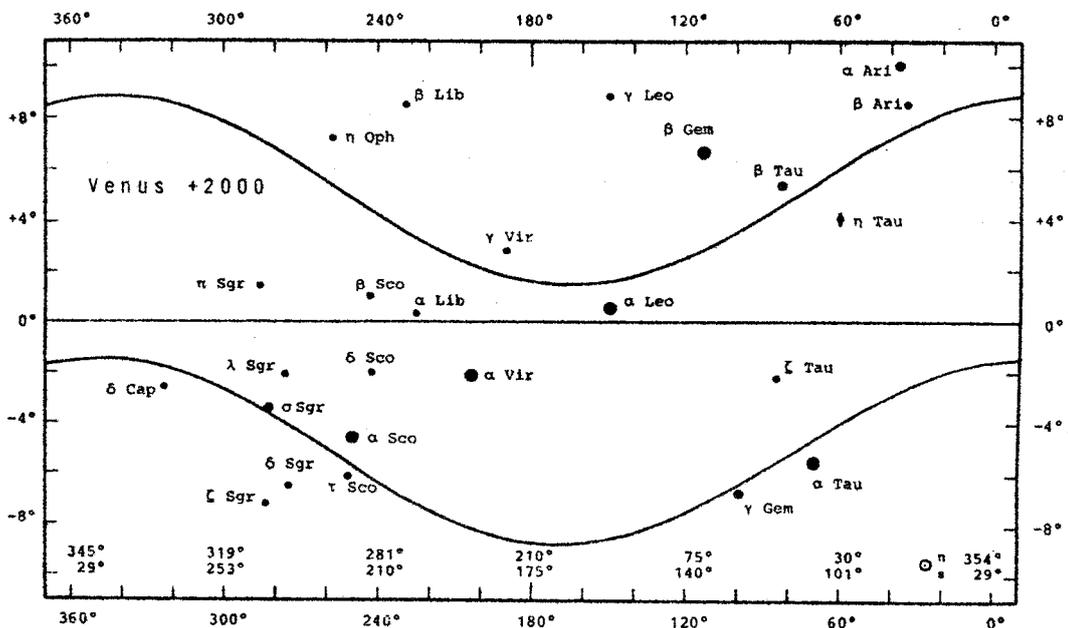
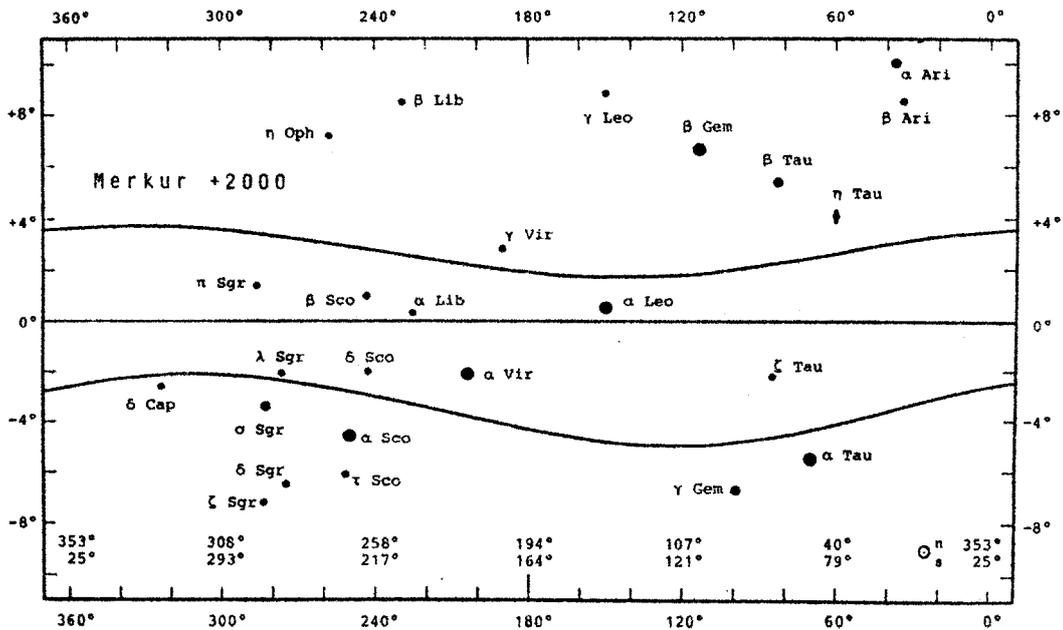
3000

2000					3000						
⊙	N	β	λ	⊙	⊙	N	β	λ	⊙		
27.0	-2.04	*	0	-2.57	200.8	36.6	-1.84	*	0	-2.35	208.8
25.9	-2.18	*	10	-2.71	201.7	35.6	-2.03	*	10	-2.55	209.7
24.7	-2.24	*	20	-2.78	202.7	34.5	-2.16	*	20	-2.68	210.6
23.6	-2.23	*	30	-2.77	203.6	33.3	-2.21	*	30	-2.74	211.6
22.4	-2.14	*	40	-2.69	204.6	32.2	-2.19	*	40	-2.72	212.5
		*	50	-2.53	205.5	31.0	-2.10	*	50	-2.63	213.4
21.3	-1.98	*	60	-2.30	206.3	30.0	-1.93	*	60	-2.46	214.3
20.4	-1.75	*	70	-2.02	207.1	29.0	-1.69	*	70	-2.23	215.2
19.6	-1.46	*	80	-1.67	207.7	28.3	-1.40	*	80	-1.94	215.9
19.0	-1.12	*	90	-1.29	208.3	27.7	-1.06	*	90	-1.60	216.6
18.6	-0.73	*						*			
		*	100	-0.87	208.7	27.3	-0.67	*	100	-1.22	217.1
18.3	-0.32	*	110	-0.44	209.0	27.1	-0.26	*	110	-0.81	217.5
18.3	0.12	*	120	0.00	209.1	27.0	0.17	*	120	-0.38	217.7
18.4	0.56	*	130	0.43	209.0	27.2	0.60	*	130	0.05	217.8
18.7	0.98	*	140	0.84	208.7	27.5	1.02	*	140	0.48	217.7
19.2	1.39	*						*			
		*	150	1.22	208.2	28.0	1.42	*	150	0.88	217.4
19.8	1.76	*	160	1.55	207.5	28.6	1.78	*	160	1.24	216.9
20.5	2.09	*	170	1.83	206.7	29.3	2.10	*	170	1.56	216.2
21.2	2.36	*	180	2.04	205.7	30.1	2.36	*	180	1.83	215.3
22.1	2.57	*	190	2.18	204.6	31.0	2.55	*	190	2.03	214.3
23.0	2.71	*						*			
		*	200	2.25	203.5	31.9	2.68	*	200	2.16	213.2
24.0	2.77	*	210	2.24	202.3	32.8	2.73	*	210	2.22	212.1
24.9	2.76	*	220	2.16	201.2	33.8	2.71	*	220	2.20	210.9
25.8	2.67	*	230	2.00	200.1	34.7	2.61	*	230	2.11	209.8
26.7	2.51	*	240	1.77	199.2	35.6	2.45	*	240	1.94	208.7
27.6	2.28	*						*			
		*	250	1.49	198.4	36.4	2.21	*	250	1.71	207.8
28.4	1.99	*	260	1.14	197.7	37.2	1.92	*	260	1.42	207.0
29.0	1.65	*	270	0.76	197.3	37.9	1.58	*	270	1.08	206.4
29.6	1.26	*	280	0.34	197.1	38.4	1.19	*	280	0.70	206.0
30.0	0.84	*	290	-0.09	197.0	38.8	0.78	*	290	0.29	205.8
30.2	0.41	*						*			
		*	300	-0.53	197.1	39.0	0.35	*	300	-0.14	205.8
30.3	-0.03	*	310	-0.96	197.4	39.1	-0.08	*	310	-0.57	205.9
30.2	-0.45	*	320	-1.37	197.9	38.9	-0.50	*	320	-1.00	206.2
29.9	-0.86	*	330	-1.75	198.5	38.6	-0.90	*	330	-1.40	206.7
29.4	-1.23	*	340	-2.08	199.2	38.1	-1.26	*	340	-1.76	207.3
28.8	-1.56	*						*			
		*	350	-2.36	200.0	37.4	-1.58	*	350	-2.08	208.0
27.9	-1.83	*	360	-2.57	200.8	36.6	-1.84	*	360	-2.35	208.8
27.0	-2.04	*						*			

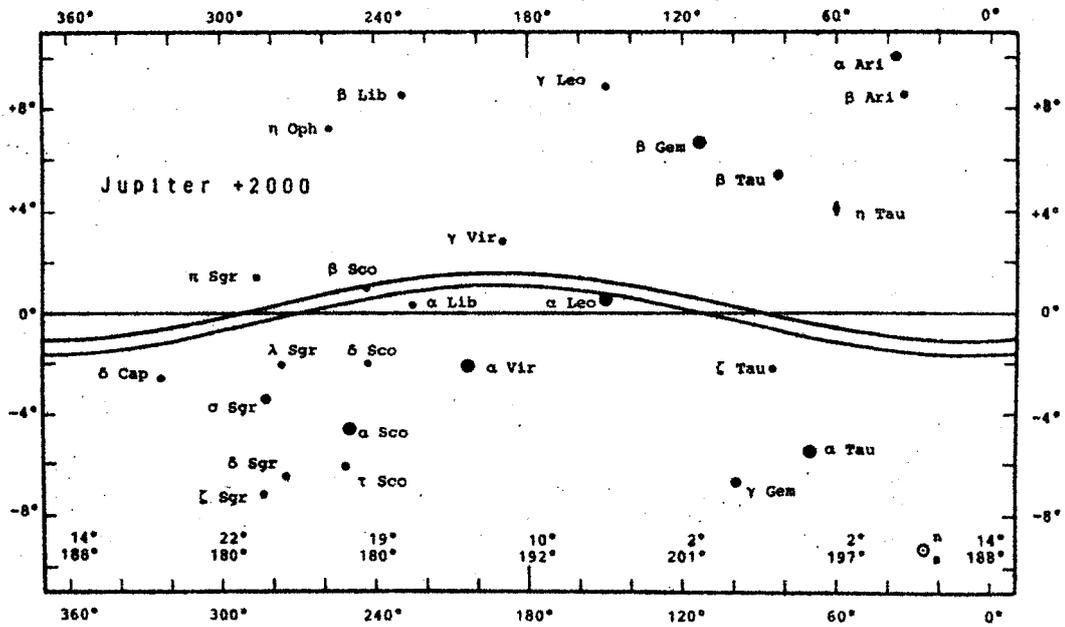
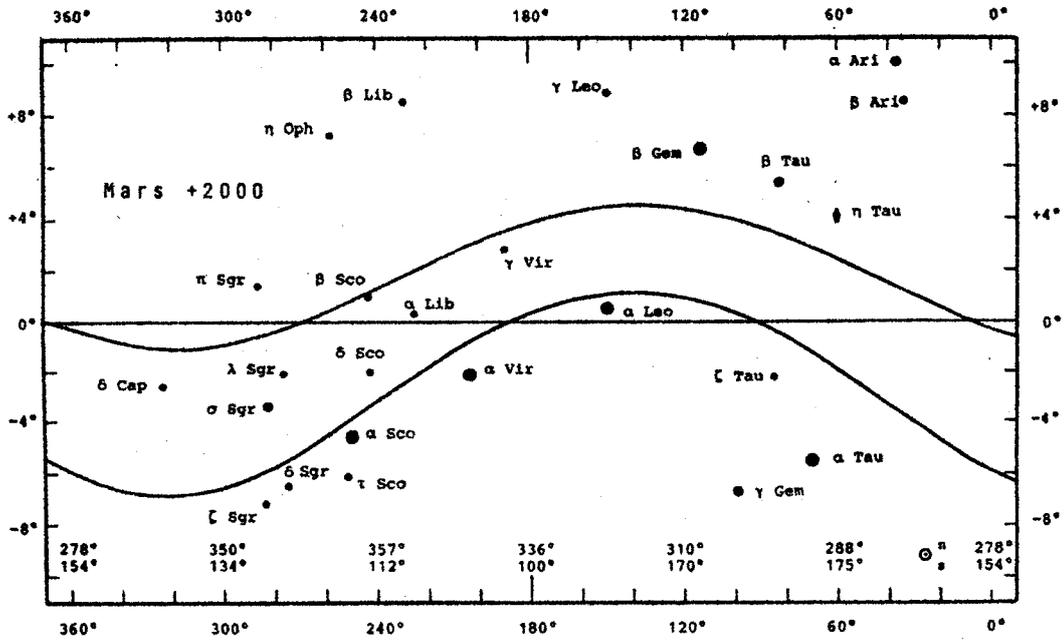
17. Fortsetzung Referat: Geozentrische Zonen der Planeten, ...

KARTEN DER GEOZENTRISCHEN ZONEN DER HELLEN PLANETEN

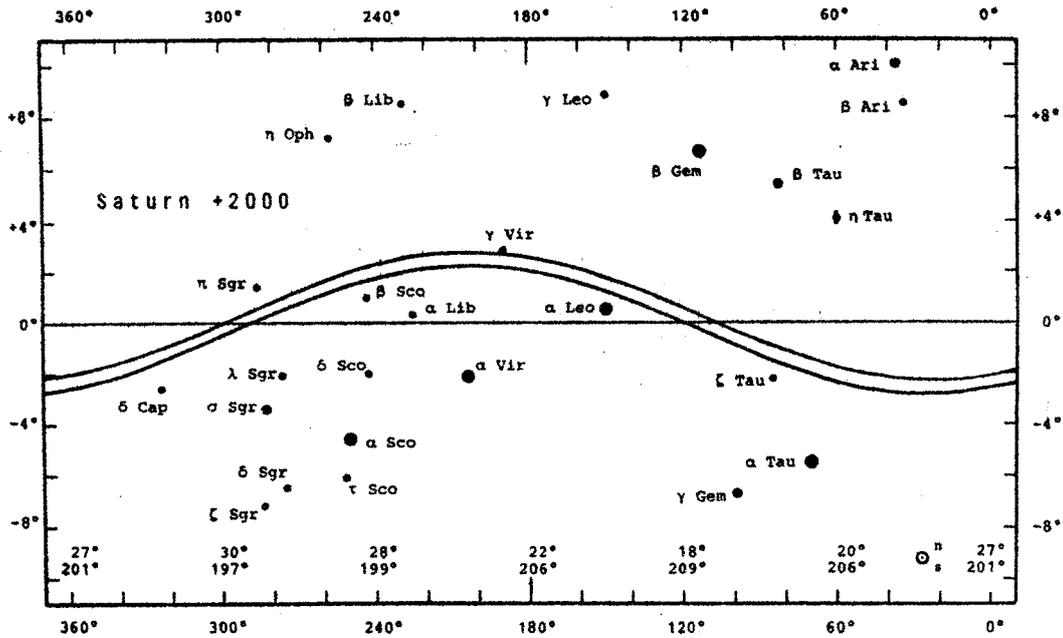
Um diese Zonen wenigstens für Gegenwartsnähe zu zeigen, sind jene für +2000 dargestellt (Ekliptikalzone, Länge 0° bis 360°, Breite zehnfach überhöht -10° bis +10°). Die Sterne bis 3,0^mmag visuell sind nach [5] eingetragen; dort hat M. Pietschnig alle 150 Sterne bis zu dieser Helligkeit mit ihren mittleren äquatorialen und ekliptikalischen Örtern auf 0,01° von hundert zu hundert Jahren im Bereich von -2000 bis +4000 angegeben.



18. Fortsetzung Referat: Geozentrische Zonen der Planeten, ...



19. Fortsetzung Referat: Geozentrische Zonen der Planeten, ...

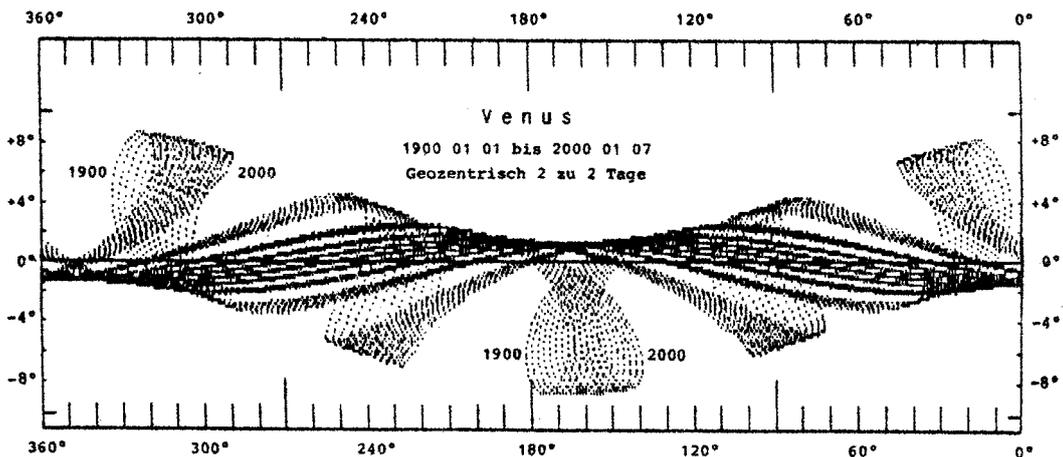


BEWEGUNG DER PLANETEN IN IHREN GEOZENTRISCHEN ZONEN

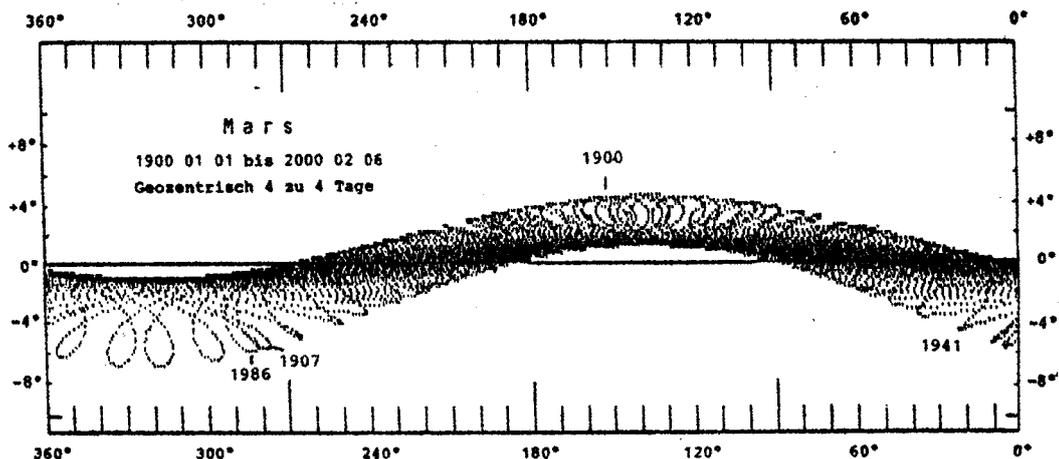
Für Venus und Mars sind die geozentrischen Bahnen von +1900 bis +2000 in je einer Karte mit 5,6 facher Überhöhung in Breite dargestellt (Ausdruck: URANIASTAR).

Der Planet quert die Zone verschieden schräg mehrmals im Jahr und streift dabei abwechselnd die nördliche und südliche Grenzlinie, die deutlich als Hüllkurven hervortreten: Bestehen sie doch aus Punkten der geozentrischen Planetenbahn, zu deren ekliptikalen Längen jeweils zwei extremale Breitenwerte gehören.

Man beachte die 8 jährige Venus- und die 79 jährige Marsperiode!



20.Fortsetzung Referat: Geozentrische Zonen der Planeten, ...



ANWENDUNGEN

Einige Anwendungsmöglichkeiten geozentrischer Zonen in der astronomischen Phänomenologie sollen vorgestellt werden:

1. Welche hellen Sterne können durch welche hellen Planeten in einem bestimmten Zeitraum bedeckt werden?
Für diesen Zeitraum werden die Planetenzonen und die ekliptikalen Sternörter aus [5] verglichen. Um +2000 zeigen das unsere Karten sofort, scharfe Suchrechnung wird stark eingegrenzt.
2. Welche hellen Planeten können einander in einem bestimmten Zeitraum und wo am Himmel bedecken?
Für diesen Zeitraum werden die Planetenzonen untereinander verglichen und es folgt der Bereich nach Länge und Breite, in dem sich zwei Planeten bedecken können. Um +2000 zeigen das unsere Karten sofort (auf Transparentpapier kopieren), scharfe Suchrechnung wird eingeschränkt.
3. Wie groß sind die Unterschiede zwischen den von Ptolemaios [1] genannten äußersten ekliptikalischen Breiten der Planeten und der modernen Rückrechnung?

Die Planetenzonen werden für +160 interpoliert und die Ptolemaios-Angaben formal in Hunderstelgrade umgerechnet:

Maximalbreite N	Merkur	Venus	Mars	Jupiter	Saturn
Ptolemaios	4,30°	8,93°	4,38°	2,05°	3,03°
Rückrechnung	3,83	8,67	4,61	1,73	2,84
Unterschied	0,47	0,26	-0,23	0,32	0,19
Maximalbreite S					
Ptolemaios	-4,30	-8,93	-7,10	-2,15	-3,10
Rückrechnung	-4,77	-8,79	-6,88	-1,76	-2,86
Unterschied	0,47	-0,14	-0,22	-0,39	-0,24

21. Fortsetzung Referat: Geozentrische Zonen der Planeten, ...

4. Wann und wo am Himmel traten die im Vorbeispiel für +160 genann-
äußersten Grenzstellungen der Planeten ein?

Die Winkelangaben sind durch Interpolation aus den Zonentafeln,
die Daten aus den Sonnenlängen der Zonentafeln mit URANIASTAR
[6] oder einem passenden Ephemeridenwerk ermittelt worden.

Für max. Breite N	Merkur	Venus	Mars	Jupiter	Saturn
Länge Planet	301,55°	327,91°	127,12°	173,05°	187,74°
Länge Sonne	304,7	328,3	307,8	353,1	8,2
Datum jul.Kal.	Jan.25	Feb.18	Jan.28	Mär.14	Mär.29

Für max. Breite S					
Länge Planet	99,60	153,87	303,73	351,57	7,78
Länge Sonne	99,5	153,0	122,9	170,7	186,9
Datum jul.Kal.	Jul. 3	Aug.27	Jul.27	Sep.14	Sep.30

Es ist nun klar ersichtlich, daß die äußerste Grenzstellung Mer-
kurs nahe der unteren Konjunktion mit der Sonne eintritt und da-
her unbeobachtbar ist. Dies tritt auch bei Venus ein, die aber
dann meist (manchmal in Doppelsichtbarkeit am Abend- und Morgen-
himmel) beobachtbar bleibt. Bei Mars, Jupiter, Saturn treten die
äußersten Grenzstellungen nahe der Opposition zur Sonne ein.

5. Schließlich sollen noch zur Entartung der Grenzen, wenn Erd- und
Planeten-/Kometen "Kettenringe" bilden, Beispiele folgen.

Osk.Elemente (1566)	Icarus (2100)	Ra-Shalom	P/Halley	P/Halley
Epoche (DT)	1969 01 19,0	1994 09 05,0	T	T
Äquinoktium	2000,0	2000,0	1950,0	1950,0
T (DT)			1378 11	1759 03
			10,687240	13,060750
ω (°)	31,0567	355,94230	105,27670	110,68990
Ω (°)	88,3138	170,96052	50,303500	56,528700
i (°)	22,9446	15,75554	163,108970	162,368930
q (AE)	0,18692949	0,46889669	0,5762013	0,5844660
e	0,82657993	0,4364549	0,96837230	0,9676792
a (AE)	1,0779	0,8320482	18,21824856	18,0832776
n (°/d)	0,88073222	1,29861775		
M (°)	230,846	204,59407		
Max.Breite	66°59'N	89°37'S	79°59'N	51°08'S
am	1968 06 14	1994 10 19	1378 10 03	1759 04 26

Die großen Absolutwerte der Breite zeigen die Situation deutlich.

LITERATUR

- [1] Neugebauer, O.: A History of Ancient Mathematical Astronomy, Vol.II, p.1014. Springer, Berlin 1975.
- [2] Gauß, C.F.: Über die Grenzen der geocentrischen Örter der Planeten. Monatliche Correspondenz zur Beförderung der Erd- und Himmels-Kunde, X, p.173-191., Gotha 1804.
- [3] Bretagnon, P.: Constantes d'intégration et éléments moyens pour l'ensemble des planètes. Astronomy and Astrophysics, 108, p.69-75, 1982.
- [4] Mucke, H.: Geozentrische Zonen der hellen Planeten. Österreichische Akademie der Wissenschaften, Math.Nat.Klasse, Sitzungsberichte Abt.II, Bd.191,10. Springer, Wien 1982. (Herrn emer.O.Univ.-Prof. Dr.K.Ferrari - d'Occhieppo zum 75.Geburtstag gewidmet).
- [5] Pietschnig, M.: Sternörter. In: Moderne Astronomische Phänomenologie, Seminarpapiere 1992/1993. Österreichischer Astronomischer Verein und Planetarium der Stadt Wien, 1993.
- [6] Vollmann, W. und Pietschnig, M.: Uraniastar (Softwarepaket). Gerichtsg.20/23, A-1210 Wien.

Prof.Hermann Mucke, Hasenwartg.32, A-1238 Wien.

Referat: Tagsichtbarkeit von Sternen und Planeten mit freiem Auge

Einleitung:

Mit einem Fernrohr ist es durchaus möglich, helle Sterne bei einwandfreien Sichtbedingungen und voller Tageshelligkeit zu sehen. Mit einem Objektivdurchmesser von 50mm lassen sich noch Sterne der 1. Größenklasse und mit 100mm fast bis zur 3. Größenklasse beobachten.

In diesem Referat möchte ich versuchen, die Problematik der Beobachtung von Sternen am Taghimmel ohne Teleskop zu erläutern.

Vor der Besprechung des eigentlichen Themas soll zunächst die Funktion unseres Auges beschrieben werden. Um sowohl bei großer Helligkeit als auch in der Dunkelheit zu sehen, besitzt die Netzhaut zwei Arten von Rezeptoren, die **Zapfen** und die **Stäbchen**. Die Zapfen mit den Sehfärbstoffen Iodopsin a,b und c ermöglichen das Farbsehen. Die Stäbchen hingegen, mit dem in ihnen enthaltenen Sehfärbstoff "Rhodopsin", sind für das Schwarzweißsehen verantwortlich.

Unsere Sehfärbstoffe bestehen aus zwei Teilen, einem Trägerprotein, dem sogenannten "Opsin", und dem daran gebundenen, lichtabsorbierenden Farbstoffteil, dem "Retinal", das aus Vitamin A entsteht. Das bedeutet, daß das Vitamin A beim Menschen eine wichtige Rolle während des Anpassvorganges an hell und dunkel spielt. Diese Anpassung des Auges an die Umgebung, an verschiedene Leuchtdichte-Verhältnisse durch den Lichtsinn, wird als **Adaptation** bezeichnet.

Sie beruht auf drei Faktoren:

- a) der Pupille als Blende (Regulierung des Lichteinfalls, Veränderung des Durchmessers),
- b) dem Übergang vom Zapfen- zum Stäbchensehen bzw. umgekehrt und
- c) der Empfindlichkeitsveränderung der Zapfen und Stäbchen.

zu a)

Die Pupille schwankt je nach Lichteinfall zwischen 1,5 und 8 mm. In zunehmendem Alter verringert sich der Pupillendurchmesser und die Regulierung der jeweiligen Lichtverhältnisse geht etwas langsamer vor sich. Dadurch dauert die Adaptation bei älteren Menschen länger als bei jüngeren.

zu b)

Den Übergang vom Zapfen- zum Stäbchensehen bzw. umgekehrt kann man am besten in einem Diagramm (Abb.1) darstellen. Das Kurvenbild im Diagramm zeigt uns den Vorgang der Dunkeladaptation des menschlichen Auges. Die Ordinate gibt diejenige Beleuchtungsstärke in Mikrolux an, die gerade noch erkannt werden kann, und die Abszisse die Dauer der Dunkeladaptation in Minuten. (3).

1. Fortsetzung Referat: Sichtbarkeit von Sternen und Planeten bei Tag ...

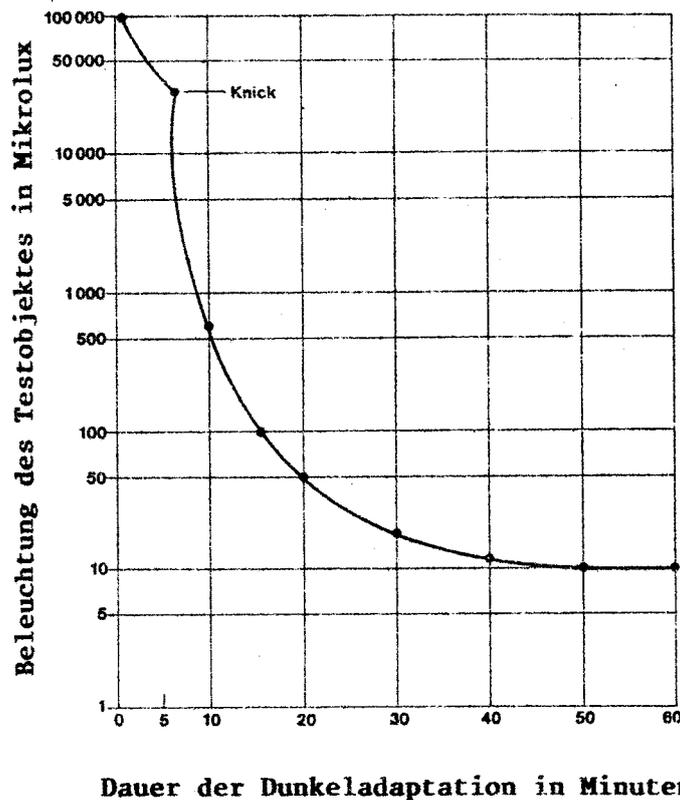


Abb. 1

Man erkennt im oberen Kurventeil in den ersten 5 Minuten eine reine Empfindlichkeitsregulierung der Zapfen, das sogenannte Farbsehen. Diese Zapfenadaptation wird dann durch einen deutlichen Knick gestört, die das Ende des Farbsehens bedeutet. Dieser Knick bedeutet den Übergang von der Sofort- zur Daueradaptation bzw. vom Zapfen- zum Stäbchensehen. Nun tritt eine Phase ein, die unmittelbar in der Gegend des Knicks liegt, das sogenannte Dämmerungssehen. Sozusagen der Übergang vom reinen Farbsehen zum Helligkeitssehen. Der untere Bereich des Kurventeils zeigt das reine Helligkeitssehen, die Dunkeladaptation.

Betrachtet man die ersten 5 Minuten der Dunkeladaptation im unteren Kurventeil, so fällt die Kurve steil ab; das heißt, daß hierbei der weitaus größte Teil der Adaptation erfolgt (Sofortadaptation). Danach fällt die Kurve nur noch allmählich ab. Es schließt sich die Daueradaptation an. Nach ungefähr 25 bis 30 Minuten der Dunkeladaptation ist optimales Nachtsehen erreicht. Max. 60min. zu c)

Die Adaptation des Sehorgans bewirkt vorwiegend die Empfindlichkeitsänderung der Zapfen und der Stäbchen. Dabei geben die Stäbchen Helligkeitseindrücke, die einen 1000mal größeren Adaptionsbereich besitzen als die Zapfen.

Je nachdem, welche Rezeptoren in Tätigkeit sind, unterscheidet man drei Bereiche des Sehens:

2. Fortsetzung Referat: Sichtbarkeit von Sternen und Planeten bei Tag ...

1. Skotopisches Sehen:

Reines Stäbchensehen. Die Adaptationsleuchtdichte liegt unter 0,02 asb.

2. Photopisches Sehen:

Reines Zapfensehen. Die Adaptationsleuchtdichte liegt oberhalb von ca.50 asb.

3. Mesopisches Sehen:

Zwischenbereich, in dem sowohl die Zapfen als auch die Stäbchen in Tätigkeit sind.

Die Leuchtdichten der dunkelsten Nacht zum hellsten Tag verhalten sich wie 1:100 Milliarden. Der mesopische Bereich entspricht dem Sehen in der Dämmerung. Das heißt, wenn die Farben allmählich verschwinden und in Grautöne übergehen.

In der Netzhaut gibt es eine Stelle des schärfsten Sehens, die Fovea centralis, die bei jedem Menschen nachtblind ist. An dieser Stelle befinden sich nur Zapfen. Die Sehschärfe ist daher bei der Dunkeladaptation auf 1/10 herabgesetzt; man spricht dabei von einem physiologischen Zentralskotom. Diese Eigenschaft läßt sich durch einen Blick auf den nächtlichen Sternenhimmel leicht nachweisen. Fixiert man einen Stern, so verschwindet er sofort (foveales Verschwinden). Blickt man jedoch am Stern vorbei (Peripherie), wird er wieder sichtbar.

Die Zapfen geben die Farbwerte, die Stäbchen hingegen nur die Unterschiede von hell und dunkel an. Die Zapfen benötigen dazu eine größere Lichtintensität als die Stäbchen; ihre Reizschwelle liegt dadurch sehr viel höher. Anhand der Kurven der spektralen Empfindlichkeit (Abb.2) läßt sich die unterschiedliche Sensivität der Stäbchen und Zapfen auf Licht verschiedener Wellenlängen vergleichen. Die steile Kurve zeigt, daß Stäbchen wesentlich empfindlicher sind als Zapfen und daß ihre höchste Empfindlichkeit im Blau-Grün-Bereich liegt. Die Zapfen (gestrichelte Linie) sind dagegen relativ unempfindlich gegenüber violetterem Licht; ihr Maximum liegt im Gelb-Grün. Im Rotbereich reagieren sie stärker als die Stäbchen, deren Kurve steil abfällt.

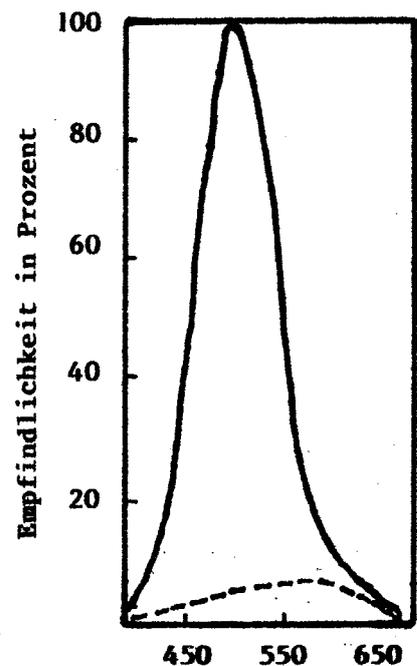


Abb.2 Wellenlänge in Nanometer

Spektrale Empfindlichkeit des Auges

3. Fortsetzung Referat: Sichtbarkeit von Sternen und Planeten bei Tag ...

Die wichtigste Größe zur Kennzeichnung der Sichtbarkeit eines Sternes oder irgend eines anderen Gegenstandes ist der **Kontrast**. Diese Kenngröße faßt die physikalischen Faktoren (optische Eigenschaften der Atmosphäre, Sehleistung des Auges, Beleuchtungsverhältnisse, Eigenschaften des Sichtzieles) in einer empfindungsmäßigen Skala zusammen. Eine Empfindung, also eine psychische Größe quantitativ zu charakterisieren, ist natürlich sehr schwer; man greift dabei auf bekannte Größen zurück. So verwendet man hier die Leuchtdichte (B). Wenn sich die Leuchtdichte einer Fläche immer um denselben Faktor ändert, dann hat man die Empfindung, daß sich die Helligkeit stets um denselben Betrag ändert. Gleiche Helligkeitsunterschiede beruhen also nicht auf gleichen, sondern auf relativen Leuchtdichteunterschieden. Diesen Sachverhalt gibt das Gesetz von Weber und Fechner wieder:

$$C = \frac{BH - BZ}{BH}$$

Der Kontrast (C) (=relativer Leuchtdichteunterschied) ist der Quotient aus der Differenz der Leuchtdichte des Hintergrundes (BH) und der Leuchtdichte des Sichtzieles (BZ), und der Leuchtdichte des Hintergrundes (BH). Der Kontrast C kann Werte zwischen $-\infty$ und $+1$ annehmen. $C = -\infty$, wenn die Hintergrundleuchtdichte gegen 0 strebt und $C = +1$, wenn die Leuchtdichte des Sichtzieles 0 wird. Erst wenn der absolute Betrag des Kontrastes C einen bestimmten Wert annimmt, kann das Auge die beiden Flächen unterscheiden. Dieser Wert $e = 0,02$ wird als Kontrastschwellenwert bezeichnet. Für die Sichtbarkeit eines bestimmten Sichtzieles gilt daher:

$C > e$ Ziel ist sichtbar

$C < e$ Ziel ist unsichtbar

$C = e$ Ziel ist gerade noch sichtbar

Die Kontrastschwelle des Auges ist damit eine Maßgröße für die Sehleistung des Auges. Die Sehtüchtigkeit schwankt natürlich von Mensch zu Mensch und ist außerdem abhängig von der Aufmerksamkeit, dem Ermüdungszustand und weiteren physiologischen und psychologischen Faktoren. Das Sichtziel hat eine bestimmte Ausdehnung; der Winkel, unter dem ein Beobachter diese sieht, heißt Zielwinkel. Ist der Zielwinkel kleiner als der sogenannte "kritische Zielwinkel", dann wirkt die Lichtquelle bzw. das Ziel als punktförmige Lichtquelle. Seine Sichtbarkeit ist dann noch von Lichtstärke und Umfeld abhängig. Wirkt das Ziel als Fläche (Zielwinkel größer als der kritische Zielwinkel), muß man

4. Fortsetzung Referat: Sichtbarkeit von Sternen und Planeten bei Tag ...

zur Prüfung der Sichtbarkeit den Kontrast zum Hintergrund mit der Kontrastschwelle des Auges vergleichen. Der kritische Zielwinkel hängt von der Leuchtdichte ab, auf die das Auge adaptiert ist. Die Abbildung 3 zeigt den kritischen Zielwinkel in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte, gemessen in asb (Apostilb). Dies ist die Leuchtdichte, auf die das Auge adaptiert ist.

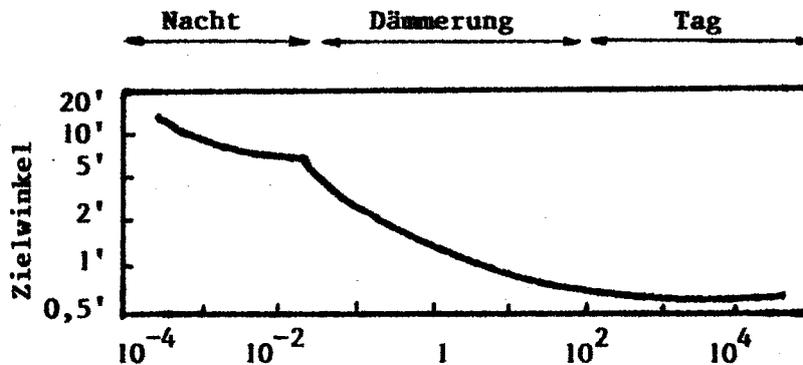


Abb.3 Adaptationsleuchtdichte (asb)

(1)

Kritischer Zielwinkel in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte

Oberhalb der Kurven wirkt das Ziel als Fläche, unterhalb als Punkt. Der kritische Zielwinkel ändert sich fast nicht im Bereich der Tagessicht (0,75 Bogenminuten). Dann erfolgt in der Dämmerung eine rasche Zunahme und in sehr dunkler Nacht werden über 12 Bogenminuten erreicht. Der Knick in der Kurve entsteht durch den Übergang vom Zapfen- zum Stäbchensehen.

Ziele, die in ihrer Winkelausdehnung unter einem bestimmten, von der Leuchtdichte im Gesichtsfeld abhängigem Wert liegen, wirken wie punktförmige Lichtquellen. Sterne sind sozusagen immer Punktziele. Für solche Punktziele ist es angebracht, anstatt der Kontrastschwelle die für ein Sichtbarsein erforderliche Mindestbeleuchtungsstärke anzugeben, die das Ziel am Ort des Beobachters erzeugt.

In beiden Fällen handelt es sich um eine Sichtbarkeitsschranke, nur sind die Einheiten anders gewählt. Dieser Schwellenwert E_t der Beleuchtungsstärke hängt natürlich entscheidend von der Leuchtdichte des Hintergrundes ab. Je größer die Leuchtdichte des Hintergrundes ist, desto größer muß auch der Schwellenwert sein. Dieser Sachverhalt ist in Abbildung 4 dargestellt.

Die linke Ordinate des Diagrammes gibt den Schwellenwert E_t der Beleuchtungsstärke an, rechts ist eine Skala, die die Größenklassen der Sterne an-

5. Fortsetzung Referat: Sichtbarkeit von Sternen und Planeten bei Tag ...

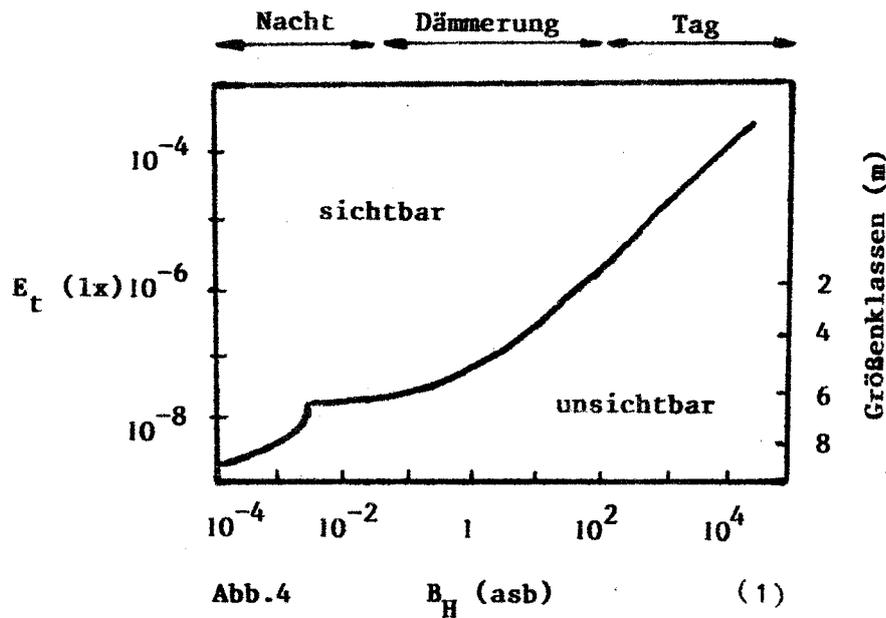


Abb.4 B_H (asb) (1)
 Schwellenwert E_t der Beleuchtungsstärke eines Punktzieles in Abhängigkeit von der Leuchtdichte B_H des Hintergrundes.

zeigt, auf der oberen Abszissenachse ist die Tageszeit angegeben, auf der unteren ist die Leuchtdichte B_H des Hintergrundes aufgetragen. Aus dem Diagramm kann nun die Sichtbarkeit oder Nicht-Sichtbarkeit eines Sternes einer bestimmten Größenklasse zu jeder Tageszeit abgelesen werden. Die Kurve stellt die Sichtbarkeitsschranke dar. Bei Tag ist die Kontrastschwelle fast konstant (ca. 0,02), daher verläuft die Kurve in diesem Bereich geradlinig. Im Übergang zwischen Dämmerung und Nacht nimmt die Sichtbarkeit bzw. die zur Sichtbarkeit erforderliche Zielhelligkeit E_t nicht mehr so rasch ab. Der Knick in der Kurve ist zu erklären durch den Übergang vom Zapfen- zum Stäbchensehen.

Die Sichtbarkeit von Himmelskörpern ist nicht allein von der Leistung des Auges abhängig, sondern hängt auch wesentlich von den Eigenschaften der Atmosphäre und des Sichtzieles ab. Wird die Durchsicht der Luft durch Trübung verändert, so ändert sich die Sichtweite oder Sichtbarkeit eines fernen Zieles. Zunehmende Trübung und damit zunehmender Extinktionskoeffizient verschlechtern die Sichtverhältnisse, weil der Kontrast verringert wird.

Keiji Higuchi (Nagoya City Science Museum) hat Untersuchungen über die Lichtverschmutzung in Städten publiziert. In dem Modell der Erdatmosphäre (Abb.5) wird der Weg des Lichtes eines Sternes durch einen Pfeil dargestellt. Dabei hat der Lichtweg eines Zenitsternes die Einheit 1. Je größer die Zenitdistanz,

6. Fortsetzung Referat: Sichtbarkeit von Sternen und Planeten bei Tag ...

desto größere Strecken durch unsere Atmosphäre muß das Sternenlicht zurücklegen. Desto größer ist dann auch die atmosphärisch bedingte Absorption. Der Wert $F(Z) = 7$, bedeutet, daß der durch die Atmosphäre zurückgelegte Lichtweg 7x so groß ist wie der eines Zenitsternes.

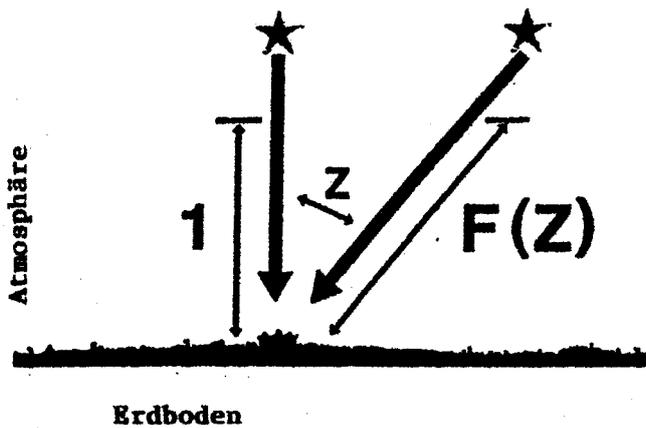
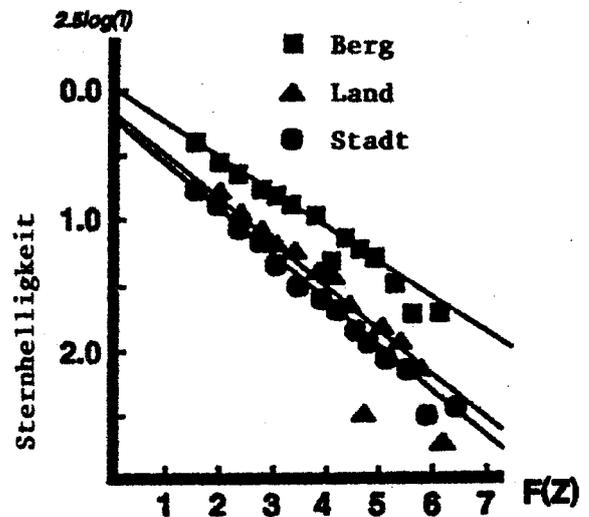


Abb.5 Modell der Absorption durch die Atmosphäre



(8)

Abb.6 Scheinbare Dicke der Atmosphäre

Die Grafik (Abb. 6) zeigt den Zusammenhang der Lichtabsorption in Abhängigkeit von der scheinbaren Dicke der Atmosphäre. Die Messungen wurden an unterschiedlichen Beobachtungsorten durchgeführt, in der Stadt, am Land und in den Bergen (1986). Als Meßstern diente Prokyon. Die größte Absorption konnte im Stadtbereich gemessen werden. Dabei spielt Licht, welches an Staubteilchen und Wassertropfen gestreut oder reflektiert wird, eine besonders störende Rolle. Besser ist es am Land, weil hier weit weniger Licht den Himmel von unten her beleuchtet. Am besten ist es hoch in den Bergen, wo einerseits die Luftverschmutzung noch nicht so stark ist und andererseits die störenden Lichtquellen weit entfernt sind. Es zeigt sich auch, daß die Extinktion in Horizontnähe wesentlich geringer ist als in Städten.

Die Schwächung des Sternenlichtes durch die Erdatmosphäre hat zwei physikalisch ganz verschiedene Ursachen. Zum Teil wird das Licht durch die Luftmoleküle absorbiert, d.h. in Wärme verwandelt und zum Teil wird es aus seiner Richtung abgelenkt d.h. gestreut. Der gesamte Lichtverlust setzt sich demnach aus den Anteilen der Absorption und der Streuung zusammen.

7. Fortsetzung Referat: Sichtbarkeit von Sternen und Planeten bei Tag ...

Farbe und Helligkeit des Taghimmels

Der blaue Himmel ist das Ergebnis des Zusammenwirkens von Sonnenlicht und Atmosphäre. Wenn das weiße Sonnenlicht die Erde erreicht und in die Erdatmosphäre eindringt, wird es von unzähligen winzigen Luftmolekülen in alle Richtungen zerstreut. Die Streuung des blauen Lichtes ist etwa zehnmal so hoch wie die des roten Lichtes. Andere Farben werden stärker als das Rot, aber schwächer als das Blau zerstreut. Weil in der Luft eine so ungeheure Zahl winziger Moleküle schwebt, ist das zerstreute Licht leicht zu sehen, und der Himmel erscheint blau. Gäbe es diese Streuung nicht, wäre ein wolkenloser Himmel mit Ausnahme in Richtung Sonne schwarz.

Bekanntlich ist aber das Blau des Himmels starken Schwankungen unterworfen. Ursache dieser Farbveränderungen sind in der Atmosphäre befindliche Staubteilchen und Wassertropfen. Je mehr in der Luft vorhanden sind, desto blasser wird das Blau. Der Himmel erscheint dann auch bei trockenem, schönem Wetter manchmal sogar mehr weiß und grau als blau. Umgekehrt verstärkt das Fehlen von Staubteilchen und Wassertropfen die Blaufärbung.

Aus meteorologischer Sicht ist der blaue Himmel nicht immer mit einer Hochdrucklage (Schönwetter) gekoppelt. Vorübergehende Aufheiterungen (Zwischen-Hoch) bringen oft ebenso tiefblauen Himmel wie Föh Wetter im Alpenvorland. Bei diesen Wetterlagen ist die Fernsicht oft ausgezeichnet. Manchmal tritt auch vor dem Eintreffen einer Warmfront nach vorangegangener Eintrübung, plötzlich ein kurzfristiges Aufreißen der Wolkendecke ein. Die dabei entstehende kräftige Blaufärbung des Himmels wirkt fast unwirklich. Das Wettergeschehen ist instabil und von einer Tiefdrucklage beherrscht. Umgekehrt ist häufig während einer sommerlichen Hochdrucklage das Himmelsblau auffallend blaß. Dies ist ein Zeichen für zunehmende Anreicherung der Luft mit Staub. Die Fernsicht ist gering, in Horizontnähe ist es ausgesprochen dunstig. Dabei gibt es jahreszeitliche Unterschiede:

Während Hochdrucklagen im Frühjahr und Herbst ist das Himmelsblau intensiver als während der Sommermonate. Obwohl Hochdruck herrscht, ist das Himmelsblau im Winter während einer Inversion (Temperaturumkehr) von Staubteilchen geschwächt. Erst von höheren Beobachtungsorten aus nimmt die Intensität der Blaufärbung zu.

Da der **Dunst** einen wesentlichen Einfluß auf die Farbe und vor allem auf die Durchsicht hat, die ja für die Beobachtung von Sternen am Taghimmel Voraussetzung ist, soll dieser kurz erklärt werden.

Man unterscheidet zwischen dem "trockenen Dunst" und dem "feuchten Dunst". Trockener Dunst besteht aus einer Mischung von Staub, Rauch, Sand und Schmutz-

8. Fortsetzung Referat: Sichtbarkeit von Sternen und Planeten bei Tag ...

teilchen, die von der Erdoberfläche in untere Schichten der Atmosphäre gewirbelt werden. Als Folge von trockenem Dunst kann die Trübung durch bestimmte landschaftstypische Vorgänge wie Sandstürme in der Wüste oder durch Ereignisse, die mit der Zivilisation, der Technik und dem Wirtschaftsleben zusammenhängen: Waldbrände, Rauchgase der Industrie, Abgase des Verkehrs. Meistens mischen sich natürlich und künstlich erzeugte Staubteilchen und bilden den Dunst. (12)

Vom feuchten Dunst spricht man, wenn eine Trübung der Luft und der Sicht durch Wassertropfen hervorgerufen wird, die in entsprechender Dichte in der Atmosphäre auftreten. Dieser feuchte Dunst kann sich schnell zum Nebel auswachsen. Eine geringfügige Abkühlung genügt, um die Dunsttropfen weiter wachsen zu lassen. Solange die Sichtweite einen Kilometer und mehr beträgt, spricht man von Dunst. Von Nebel spricht man, wenn die Sichtweite unter 1000 Meter liegt. Der trockene Dunst, der meist schon mit etwas Wasserdampf angereichert ist, bildet sich häufig während Schönwetterlagen. Relativ geringe Windbewegungen begünstigen die Anlagerung von Staubteilchen verschiedener Herkunft in den untersten Schichten der Luft. Man spricht deshalb auch vom "Schönwetterdunst". Etwas anderes ist es, wenn sich im Gefolge einer Tiefdrucklage wasserdampfreiche Warmluft abkühlt und dabei zunächst einmal einen noch durchsichtigen Schleier von Dunst bildet. Damit ist ein Anfang gemacht für die nachfolgende Nebel- oder Wolkenbildung. (11)

Zwischen Wolken und Nebel besteht kein prinzipieller Unterschied. Während die Wolken jedoch fast ausschließlich durch Hebung der Luft beim Aufgleiten oder bei turbulenten Vorgängen entstehen, ist für das Auftreten von Nebel die Abkühlung der Luft durch Ausstrahlung über einer kälteren Unterlage oder durch Mischung mit einer kälteren Luftmasse verantwortlich.

Zur Taghimmelshelligkeit tragen auch vielfache Reflexionen in der Atmosphäre und am Erdboden bei. Das bewirkt eine Helligkeitsverteilung am Taghimmel, die symmetrisch zum Sonnenvertikal ist. Bei verschiedenen Sonnenhöhen ergibt sich aber nicht eine gleiche Verteilung der Helligkeit. (4)

Martin Uibe hat von 1914-1916 Messungen der Flächenhelligkeit des klaren Himmels durchgeführt. Um bei den Messungen störende Faktoren die in der Nähe von Städten auftreten können auszuschalten, führte er seine Messungen auf dem höchsten Berg der Kanarischen Inseln, dem Pico de Teide auf der Insel Teneriffa durch. Seine Höhe beträgt 3711m und die geographische Breite 28°17' Nord. Aufgrund der geringen geographischen Breite wird im Sommer ein sehr hoher Sonnenstand erreicht. Weitere Messungen wurden in Güimar (2100m), Südostseite der Insel Teneriffa durchgeführt.

9. Fortsetzung Referat: Sichtbarkeit von Sternen und Planeten bei Tag ...

Hellegleichen in flächentreuer Projektion (Uibe)

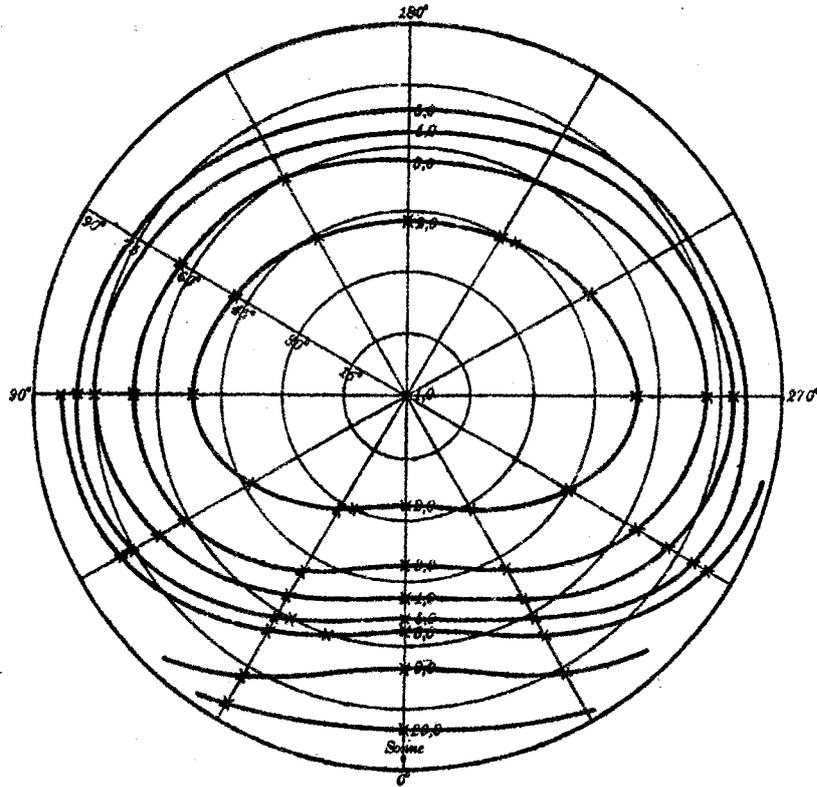


Abb.7 Güfmar. Sonnenhöhe 3,5° vorm.

(9)

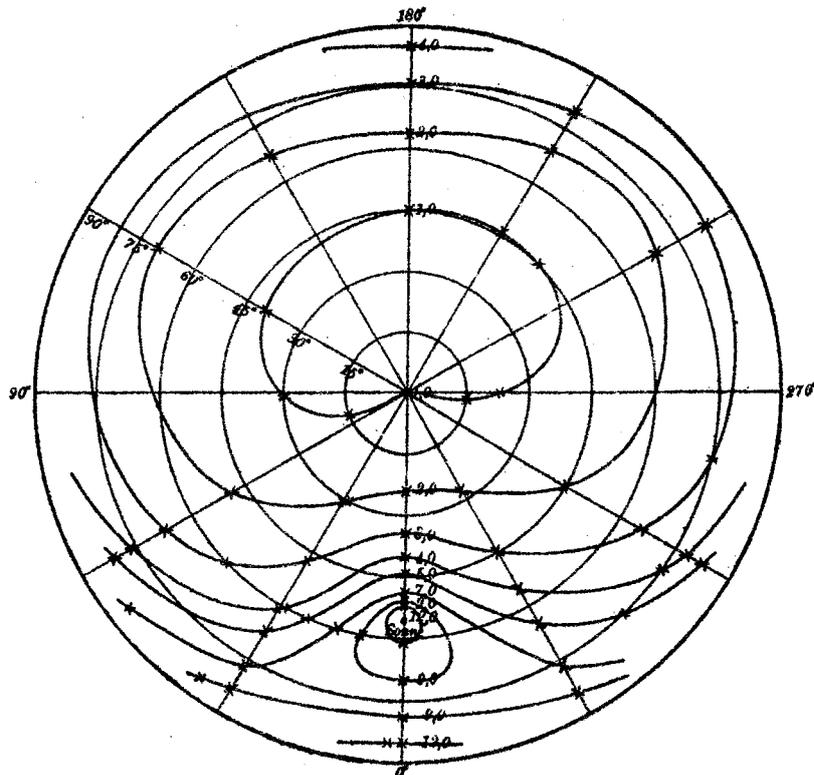


Abb.8 Güfmar. Sonnenhöhe 35° vorm.

10. Fortsetzung Referat: Sichtbarkeit von Sternen und Planeten bei Tag ...

Hellegleichen in flächentreuer Projektion (Uibe)

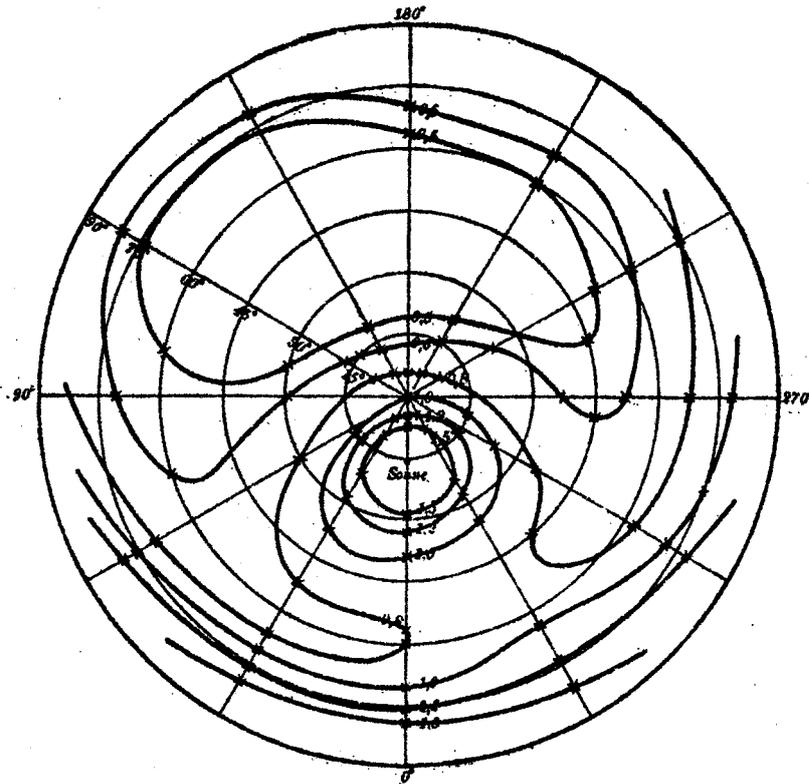


Abb.9 Gūimar. Sonnenhöhe 74,5° vorm.

(9)

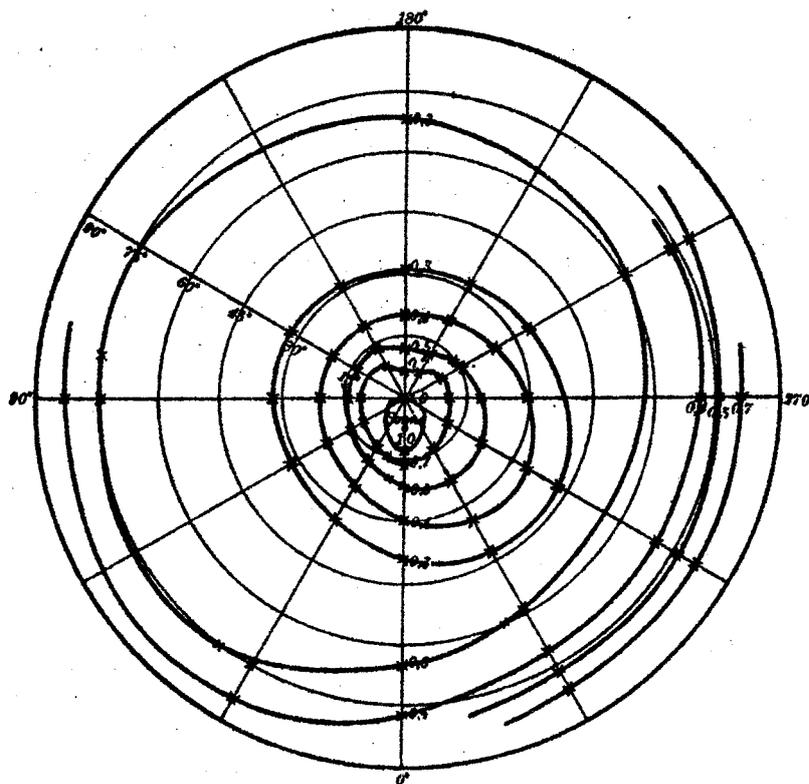


Abb.10 Gūimar. Sonnenhöhe 84°

11. Fortsetzung Referat: Sichtbarkeit von Sternen und Planeten bei Tag ...

Die Ergebnisse der von Martin Uibe gemachten Beobachtungen kurz zusammengefaßt:

> Bei größten Sonnenhöhen (84°) sind die Linien gleicher Helligkeit am Himmel nahezu Kreise. Bewegt man sich auf einem Horizontalkreis, der nicht in Zenitnähe liegt, um den Himmel, so findet man überall dieselbe Helligkeit. Nimmt man seinen Weg auf einem Vertikalkreis, so gelangt man von größten Intensitäten in der Nähe des Zenits zu kleineren bis zu einem Minimum bei 33° bis 65° Zenitabstand, dann findet man wieder ein Anwachsen der Helligkeit nach dem Horizont hin.

> Je klarer der Himmel ist, d.h. je gesättigter, je blauer er dem Auge erscheint, desto größer sind die meßbaren Helligkeitsunterschiede am Himmel.

> Das Minimum der Helligkeit im Sonnenvertikal rückt vom ungefähren Sonnenabstand 90° bei kleinen Sonnenhöhen mit steigender Sonne näher an dieselbe heran und erreicht bei einer Sonnenhöhe von 84° den Sonnenabstand 56° .

> Das Ansteigen der Helligkeit gegen die Sonne hin in ihrer unmittelbaren Nähe findet am klaren Himmel viel rascher statt als am weniger klaren. Je reiner der Himmel ist, desto näher muß man an die Sonne herangehen, um die Zone starken Helligkeitsanstieges zu erreichen. Diese ist daher bei klarstem Himmel sehr viel schmaler als bei trübem.

Sichtbarkeit von Planeten und Sternen bei Tageslicht mit dem freien Auge

Üblicherweise wartet der Astronom oder Sternfreund bis es völlig dunkel ist, um dann mit der Beobachtung der Sterne am Himmel zu beginnen. Beim Blick zum Taghimmel scheint es daher eher als unwahrscheinlich, Sterne mit dem freien Auge zu sehen. Spätestens dann, wenn man den wolkenfreien Himmel mit beiden Augen einer Radarantenne gleich abgesucht hat und danach resignierend feststellt, keinen Stern gefunden zu haben.

Die Tageshelligkeit des Himmels, die die schwachen Lichtpunkte der Sterne verdeckt und sie für uns unsichtbar macht ist mit einem zarten, durchsichtigen Vorhang zu vergleichen, der tagsüber zugezogen ist und von außen betrachtet wird. Solange die Gegenstände hinter dem Vorhang nicht einige Prozent dieser Helligkeit besitzen, sind die relativen Helligkeitsdifferenzen zu gering, um erkannt zu werden. Der Vorhang ist für uns undurchsichtig.

Wenn am Abend die Sonne langsam untergeht und der Vorhang von außen nicht mehr beleuchtet und im Raum dahinter Licht eingeschaltet wird, dann kann man die Gegenstände hinter dem Vorhang mühelos erkennen, bedingt durch die größeren gewordenen Lichtkontraste. Dieses "Nichtdurchsehen können" wird als Gardinen-Effekt bezeichnet.

12. Fortsetzung Referat: Sichtbarkeit von Sternen und Planeten bei Tag ...

Der bekannte Naturforscher Alexander von Humboldt der sich mit der Beobachtung von Sternen am Taghimmel beschäftigte, schrieb bereits 1850 über seine Tätigkeit. Er beobachtete in Cumana, der Hauptstadt des Staates Sucre, NO-Venezuela. Er berichtet, daß er Jupiter in den Morgenstunden mit dem freien Auge deutlich gesehen hat, obwohl die Sonne schon 18° bis 20° über dem Horizont stand. Knoll, Tousey und Hulbert führten Versuche durch, den Jupiter freisichtig am Taghimmel zu beobachten. Sie kamen allerdings zu einem anderen Ergebnis als Humboldt. Für normale Beobachter in Meereshöhe ist es unmöglich, Sterne und Planeten ohne Hilfsmittel freisichtig am Taghimmel zu beobachten, wenn die Sonnenhöhe größer als 15° ist. Nur die hellen Planeten Venus, Mars, Jupiter können bei klarer Atmosphäre gesehen werden. Voraussetzung ist aber, daß man die genaue Position kennt.

L. Wagenaar konnte dies bestätigen. Während der Jahre 1963 bis 1965 führte er Jupiterbeobachtungen durch. Sein Ergebnis: Jupiter wurde 7 Minuten vor Sonnenuntergang erstmals freisichtig am Himmel sichtbar. Leider ist aus diesen Daten nicht ersichtlich, auf welche scheinbare Helligkeit sich diese 7 Minuten beziehen. Seine scheinbare Helligkeit schwankt zwischen $-1,3$ und $-2,5$ Größenklassen.

Ich habe am 31.10.1980 eine Beobachtung gemacht, die ich dem Ergebnis von Wagenaar gegenüberstellen möchte.

Himmel: klar, gute Durchsicht. Halbmond nicht störend.

Wetter: Temp. $+4^\circ\text{C}$, Rel. Luftfeuchtigkeit 59%.

Sonnenaufgang (Wien): 6h38m MEZ

Jupiterhelligkeit: $-1,3^m$

Uhrzeit:	Bemerkung:
6h43m	Jupiter freisichtig noch sichtbar
6 44	Jupiter verschwindet zeitweise beim
6 46	genauen Hinschauen
6 52	Jupiter verschwindet oft bis zu 7 Sek.
6 53	Jupiter zeitweise unsichtbar
6 54	Jupiter nicht mehr freisichtig zu sehen

Sonnenhöhe $+1,6^\circ$ zum Zeitpunkt des Unsichtbarwerdens von Jupiter,
Jupiterhöhe $+33^\circ$.

13. Fortsetzung Referat: Sichtbarkeit von Sternen und Planeten bei Tag ...

Jupiter konnte bis 16 Minuten nach Sonnenaufgang freisichtig am Taghimmel gesehen werden. Dieser Wert ist aber abhängig von seiner scheinbaren Helligkeit, der atmosphärischen Durchsicht, der Erfahrung des Beobachters.

Der Unterschied von 9 Minuten ($16-7=9$) kann zum Teil auch dadurch erklärt werden, daß es einfacher ist einen Stern zu beobachten den man sieht, also dessen Position bekannt ist, als einen noch nicht sichtbaren Stern zu suchen, dessen Position nur ungefähr bekannt ist.

Einen weiteren Einfluß auf die Sichtbarkeit der Sterne vermutete man bezüglich ihrer Farbe. Dieses Argument wurde meist dann gebraucht, wenn unklar blieb, warum ein Stern einer bestimmten Größenklasse besser sichtbar war als ein anderer Stern gleicher Helligkeit, aber anderer Farbe. Tousey und Koomen nahmen bei ihren Untersuchungen des Dämmerungshimmels an, daß die Sichtbarkeit des Sternes Aldebaran vom Kontrast des blauen Nachthimmels und der Orange-Färbung des Sterns. A.G. Smith untersuchte diese Hypothese sorgfältig 1951/52. Dabei stellte er fest, daß der Effekt erstaunlich gering ist. Zur Untersuchung wurden Doppelsterne herangezogen, bei denen die Sterne gleich hell waren. Z.B Eta und Theta Lyrae. Nur war eine Komponente ein B-Stern (blau), der andere Stern war ein K-Stern (Orange). Beide können im Gesichtsfeld eines Fernrohres mit 10 cm Öffnung gleichzeitig gesehen werden. Bei jedem Paar war der blaue Stern ein wenig schwerer zu sehen. Die Beobachtung wurde am Taghimmel gemacht. Die beiden Sterne lagen nahe an der Sichtbarkeitsschranke. Die verbesserte Sichtbarkeit der K-Sterne betrug ca. 0,2 bis 0,3 Größenklassen.

Der Einfluß der verschiedenen Farben der Sterne auf die Sichtbarkeit ist so gering, daß dieser Effekt nicht die Ursache für eine bessere Sichtbarkeit sein kann.

Tagsichtbarkeiten der Venus

Die Venus ist neben Sonne und Mond der hellste Himmelskörper in unserem Sonnensystem. In jeder Elongation ist sie 220 Tage lang photometrisch beobachtbar, etwa 60 Tage nach der Oberen Konjunktion bis 12 Tage vor der Unteren als Abendstern bzw. 12 Tage nach der Unteren bis 60 Tage vor der Oberen Konjunktion als Morgenstern. Während der größten östlichen oder westlichen Elongation ist sie 47° von der Sonne entfernt. Aufgrund der großen Helligkeit kann Venus bei klarem Himmel über mehrere Wochen hindurch auch mit dem freien Auge am Taghimmel gefunden werden. Voraussetzung ist jedoch, daß man ihren augenblicklichen Ort am Himmel genau kennt. Ihre größte Helligkeit von $-4,30^m$ erreicht sie 36 Tage vor und nach der unteren Konjunktion. Aufgrund der unterschiedlichen Entfernungen der Venus von der Erde, die etwa zwischen

14. Fortsetzung Referat: Sichtbarkeit von Sternen und Planeten bei Tag ...

42 Mill. km und 258 Mill. km liegt, kommt es zu Helligkeitsschwanken von mehr als einer Größenklasse. Die folgende Tabelle zeigt den Helligkeitsverlauf während der Sichtbarkeit. (7)

Tage vor oder nach der oberen unteren Konjunktion		Abstand von der Sonne	Phasenwinkel	Helligkeit
60	232	15,4°	21,6°	-3,06 ^m
100	192	25,3	36,3	-3,15
140	152	34,6	51,7	-3,29
180	112	42,3	68,6	-3,48
220	72	46,3	89,3	-3,76
240	52	44,0	103,2	-3,95
250	42	42,1	112,0	-4,07
260	32	37,4	122,9	-4,09
270	22	29,7	136,7	-3,92
280	12	18,2	154,4	-3,56

Am leichtesten gelingt das freisichtige Erkennen der Venus ohne jedes instrumentelle Hilfsmittel, wenn Sie nahe ihrer oberen Kulmination steht. In der folgenden Tabelle sind die Uhrzeiten der Südstände für Wien in MEZ samt den Höhen angegeben.

VENUS ABENDSTERN					VENUS MORGENSTERN				
Datum		mag	Südstand		Datum		mag	Südstand	
1994	09 10	-4,2 ^m	14 ^h 32 ^m 26°		1994	11 23	-4,2 ^m	9 ^h 47 ^m 29°	
	09 27	-4,3	14 08 20			12 08	-4,4	9 06 30	
	10 12	-4,2	13 25 18		1995	01 06	-4,2	8 43 25	
1996	04 20	-4,2	14 51 69		1996	07 09	-4,2	9 32 59	
	05 05	-4,2	14 35 70			07 16	-4,2	9 15 60	
	05 14	-4,2	14 14 69			07 27	-4,2	8 58 60	
1997	11 15	-4,2	15 00 15		1998	02 04	-4,2	10 13 27	
	12 11	-4,4	14 42 20			02 21	-4,3	9 25 26	
	12 28	-4,2	13 50 24			03 16	-4,2	9 05 27	
1999	07 06	-4,2	14 52 55		1999	09 13	-4,2	9 44 51	
	07 14	-4,2	14 37 52			09 25	-4,2	9 13 52	
	07 22	-4,2	14 15 49			10 17	-4,2	8 49 49	
2000	Keine Tagsichtbarkeit der Venus								

(6)

Alle Uhrzeiten MEZ; um Sommerzeit zu erhalten, 1 Stunde addieren. Angegeben ist jeweils die Uhrzeit und Höhe des Südstandes der Venus für den Tag, an dem ihre scheinbare Helligkeit -4,2^m erreicht; für den Tag ihres größten Glanzes;

15. Fortsetzung Referat: Sichtbarkeit von Sternen und Planeten bei Tag ...

den Tag, an dem sie zum letzten Mal die scheinbare Helligkeit $-4,2^m$ besitzt. Werte für Zwischentage abschätzbar. Elongationen bei größtem Glanz $39^\circ \pm 1^\circ$. Für andere Orte in Österreich erhält man die Uhrzeit des Südstandes durch Vermindern um je 4 Minuten pro 1° Längendifferenz gegen Ost. Die Höhe bei Südstand ergibt sich durch Vermehren der Wiener Höhe um die Breitendifferenz gegen Süd bzw. durch Vermindern um die Breitendifferenz gegen Nord.

Ein einfaches Hilfsmittel ist ein Winkelmesser mit Lotfaden aus seinem Zentrum (Zwirnfaden mit angebundener Büroklammer oder Schraube). Die Skala wird so umbeziffert, daß 0° zu 90° und 90° zu 0° gemacht wird. Man visiert zur betreffenden Uhrzeit nach Kompaß-Süd entlang der Durchmesserlinie des Winkelmessers empor. Nun sollte Venus leicht zu sehen sein. (5)

Nach einer anderen einfachen Methode läßt sich die Venus oder ein heller Stern mittels eines azimuthal montierten Fernrohres am Taghimmel finden. Zunächst sucht man mittels eines Sternatlases oder Sternkataloges einen Fixstern aus, der die gleiche Deklination wie das zu suchende Objekt aufweist. Die Differenz in Rektaszension muß aber so groß sein, daß der Stern bereits in der vorhergehenden Nacht eingestellt werden kann. Der Unterschied in Deklination sollte möglichst gering sein. Er sollte nach Möglichkeit kleiner sein, als der halbe Durchmesser des Fernrohrgesichtsfeldes.

In der vorangehenden Nacht wird der Einstellstern in die Mitte des Okulars des Fernrohres eingestellt und was sehr wichtig ist, den Stern exakt scharf stellen. Dann werden die Achsen geklemmt. Das Fernrohr sollte nach Möglichkeit nicht mehr berührt werden. Abschließend wird die Uhrzeit (t_1) notiert.

Der Zeitpunkt (t), zu dem das zu beobachtende Objekt (z.B. Venus) im Gesichtsfeld des Fernrohres sichtbar sein sollte, errechnet sich folgendermaßen:

$$t = t_1 + (\alpha_1 - \alpha)$$

α_1 ist die Rektaszension des Einstellsternes, α die Rektaszension des gesuchten Sternes oder Planeten, t ist der Zeitpunkt zu welchem der Stern im Fernrohr sichtbar ist, in Sternzeit. Für beide Objekte gleiches Äquinoktium verwenden. (z.B. 1950,0 oder 2000,0). Um von Sternzeit in mittlere Zeit umzurechnen muß man t mit 0,9973 multiplizieren.

Nachfolgend möchte ich **eigene Beobachtungen** von Sternen und Planeten die mit dem freien Auge am Taghimmel gemacht wurden ausführlich beschreiben. Sie sollen zugleich als Anregung und Anleitung für interessierte Sternfreunde dienen, die es selber einmal probieren wollen, Sterne am Taghimmel zu sehen.

16. Fortsetzung Referat: Sichtbarkeit von Sternen und Planeten bei Tag ...

Planeten und Sternbeobachtungen am Taghimmel mit dem freien Auge

1.5.1994

Wetterverlauf während des Tages:

Früh: Stark bewölkt, leichter Regen.

Mittag: Wolkendecke reißt stellenweise auf.

Nachmittag: Wolken ziehen nach Osten ab.

Im Westen schon blauer Himmel.

Feiner Dunst, daher starke Lichtstreuung
in Sonnennähe.

Abend: 18 Uhr. Klarer, nahezu wolkenloser Himmel,
gute Fernsicht.

Ort: Uraniasternwarte Wien, 186m Höhe.

Beginn der Beobachtungen: 17^h13^m MEZ

Ende der Beobachtungen: 19^h26^m Sonnenuntergang für Wien : 19^h08^m MEZ

Temperaturverlauf (T), Relative Luftfeuchtigkeit (RF), Luftdruck gemessen in
Kagran (Wien 22.)

	T	RF	Luftdruck
17 ^h 00 ^m	19°C	39%	1021 hPa
17 30	19°	40%	
18 00	19°	41%	
18 30	19°	41%	
19 00	19°	41%	
19 30	19°	41%	
20 00	16°	48%	

Atmosphärische Bedingungen:

17^h10^m gute Fernsicht zu Beginn der Beobachtungen.

Osten: Riesenrad ganz klar und farbenprächtig zu sehen.

Westen: Berge, leichter Dunst gegen die Sonne, zarte Wolken am Horizont.

Zenit: Klar, blau, wolkenlos.

Beobachtungsverlauf:

MEZ	Höhe	Bemerkungen:
	Venus Sonne	
17 ^h 13 ^m	+39,8° +17,6°	VENUS im Sucher 12x80 gut sichtbar, im Refraktor 15/300cm, Vergr. 67x kleines rundes Scheibchen gut sichtbar.
17 36	+36,0 +13,8	Nur teleskopisch sichtbar.
17 40		Venus im Fernglas 8x40 sichtbar, Scharfeinstellung auf Unendlich sehr wichtig!!

17. Fortsetzung Referat: Sichtbarkeit von Sternen und Planeten bei Tag ...

MEZ	Höhe		Bemerkungen:
	Venus	Sonne	
17 ^h 58 ^m	+32,4°	+10,2°	Venus freisichtig nicht sichtbar.
18 15	+29,6	+ 7,4	"
18 24	+28,1	+ 6,0	"
18 32	+26,7	+ 4,7	"
18 37	+25,9	+ 3,9	"
18 41	+25,3	+ 3,3	"
18 41,8	+25,1	+ 3,2!!	VENUS 1. Sichtbarkeit freisichtig Über Fernrohrobjektiv anvisiert. Beim Fixieren verschwindet sie ca. 7x in 40 Sekunden. Helligkeit -3,3 ^m
19 04		- 0,3	PROKYON (+0,38^m) Refraktor 15/300
19 08		- 0,9	" im Feldstecher 8x40
19 19		- 2,5	PROKYON 1. Sichtbarkeit freis.

Beobachtungstechnik:

Venus zunächst im Fernrohr eingestellt (Stundenwinkel und Deklination lt. Uraniastar), als Richtungsweiser. Dann versucht mit dem Fernglas (8x40) durch anvisieren am Fernrohrobjektivrand die Venus zu finden. Dabei ist der Kuppelspalt nur ca. 45 cm geöffnet, um eine zu starke Blendung durch grelles Himmelslicht zu vermeiden.

Beim Beobachtungsvorgang ist folgendes festzustellen:

1. Obwohl die Venus mit dem Fernglas richtig anvisiert wird, ist sie zunächst nicht sichtbar.
2. Plötzlich ist sie zu sehen. (Abb.11)
3. Das Bild wird innerhalb weniger Sekunden klarer, schärfer, heller und scheinbar räumlicher. Ein ähnlicher Effekt ergibt sich bei der Betrachtung eines irdischen Objektes wenn man es zunächst nur mit einem Auge betrachtet und dann mit beiden.

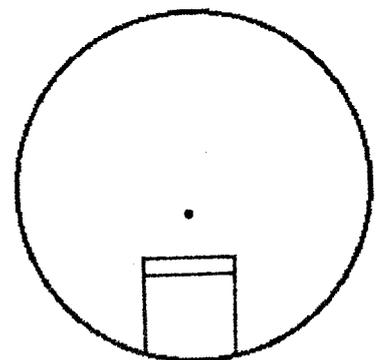


Abb. 11

Während die Venus freisichtig betrachtet wird, verschwindet sie zeitweise, manchmal plötzlich und manchmal langsam wie beim Ausblenden im Videofilm. Bei der Beobachtung des Prokyon im Fernglas ist ein ähnlicher Effekt festzustellen. Vom Anvisieren bis zum Erkennen vergehen beim 1.x 6 Sekunden, beim 2.x 3 Sekunden, beim 3.x 2 Sekunden, beim 4.x 1 Sekunde.

18. Fortsetzung Referat: Sichtbarkeit von Sternen und Planeten bei Tag ...

Das zeitweise Verschwinden soll in den nächsten Abbildungen 12 und 13 dargestellt werden.

Zu diesem Zweck werden die Zeitpunkte des Verschwindens durch langsames Zählen (einundzwanzig, zweiundzwanzig, dreiundzwanzig usw.) also in Sekundenabständen bestimmt. Die Genauigkeit ist für diesen Zweck voll ausreichend. Der Zeitpunkt wird während der Beobachtung mitgeschrieben. Den Blick auf das Himmelsobjekt gerichtet, den Notizzblock in der linken Hand, den Kugelschreiber in der rechten. Sobald der Stern verschwindet wird die eben gezählte Zahl **ohne** auf den Block zu sehen notiert. Nach dem Aufschreiben der Zahl nicht vergessen die folgende etwas versetzt zu notieren, damit sie nicht überschrieben wird.

In der Graphik bedeutet die Zahl "1" rechts der Registrierung, Objekt sichtbar, die Zahl "0", Objekt nicht sichtbar.

V E N U S $-3,3$ mag

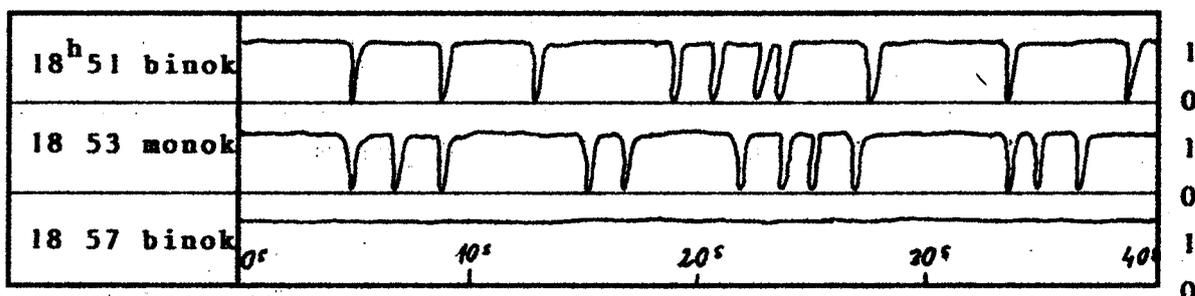


Abb. 12

P R O K Y O N $+0,38$ mag

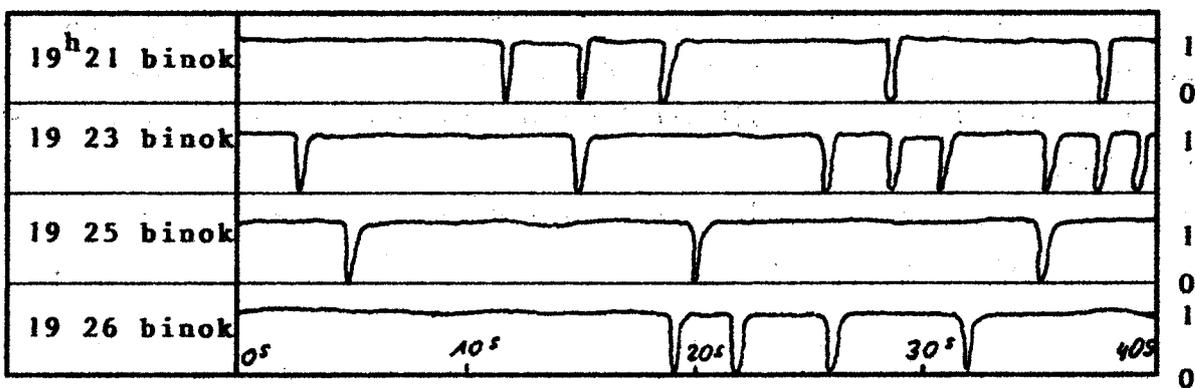


Abb. 13

Das Verschwinden geschieht nicht immer abrupt, sondern das Objekt verblaßt innerhalb von 0,5 bis 2 Sekunden (geschätzt).

19. Fortsetzung Referat: Sichtbarkeit von Sternen und Planeten bei Tag ...

**Freisichtige Beobachtung von Sternen und Planeten am Taghimmel
bei hohem Sonnenstand**

3.5.1994

Wetterverlauf während des Tages:

Wolkenloser Himmel schon in der Früh. Farbe des Himmels: Schönes, kräftiges Blau, gleichmäßig fast bis zum Horizont.

Beobachtungsort:

Urania Sternwarte Wien,

Beginn der Beobachtung: 13^h37^m MEZ Temp. +23°C RF 29%

Ende der Beobachtung: 14^h10^m Luftdruck 1016 hPa

Berge im Osten: zarter Dunst, entfernte Häuser sehr klar und farbenprächtig, Kahlenberg klar sichtbar.

Nur geringe Lichtstreuung in Umgebung der Sonne!!

VENUS:

13^h37^m Höhe +64,4° Sonne Höhe >+48°
 Helligkeit -3,4^m

Position mit Uraniastar berechnet und mittels Teilkreisen eingestellt. Venus im Fernrohr deutlich sichtbar. Freisichtig nicht gesehen.

13^h41^m

Mit kleinem Fernglas Zeiss 8x20 über Fernrohrobjektiv anvisiert und Venus deutlich als hellen Stern gesehen. Danach Versuch, die Venus freisichtig über den Fernrohrobjektivrand anzuvisieren.

Nach einigen Sekunden intensiven Absuchens der betreffenden Stelle, **Venus deutlich** als Stern **sichtbar**. Garantiert keine Einbildung! Sie verschwindet zeitweise, taucht wieder auf, um danach wieder kurzfristig zu verschwinden.

Versuche die Venus ohne Hilfsmittel (Fernrohrobjektivrand) zu finden. Leider kein Erfolg.

Versuch mit Sonnenglas 65% Absorption. Der Himmel ist zwar nicht mehr so hell, aber auch das Gestirn ist dadurch schwächer.

SIRIUS

13^h58^m MEZ Höhe +20,1°, Sonnenhöhe +48,2°
 Helligkeit -1,58^m
 Stundenwinkel 22^h03^m

Im Refraktor 15/300 cm, Vergr. 67x deutlich sichtbar.

14^h00^m im Fernglas Zeiss 8x20 schwach, aber deutlich sichtbar.

Freisichtig **nicht sichtbar**.

20. Fortsetzung Referat: Sichtbarkeit von Sternen und Planeten bei Tag ...

Um Planeten und die hellsten Sterne bei Tag erfolgreich sehen zu können, sollten folgende Kriterien zutreffen:

- > Rechtsichtigkeit oder mit Brille oder Kontaktlinsen korrigierte Fehlsichtigkeit.
- > Farbe des Himmels: Kräftiges, dunkles Blau über den ganzen Himmel gleichmäßig verteilt (z.B. Horizont Ost - Zenit - Horizont West).
- > Himmelselligkeit: Gleichmäßige Verteilung über die gesamte Himmelsfläche.
- > Lichtstreuung in der nahen Umgebung der Sonne sollte gering sein. Deshalb geringe Blendung beim Blick in Richtung Sonne.
- > Kräftige Farben und guter Kontrast (scharf begrenzte Konturen) sollten bei weit entfernten Gebäuden zu sehen sein.
- > Berge und Himmel am Horizont sollten scharf begrenzt sein.

Da die Wetterbedingungen vom 3.5.1994 extrem gut waren, geradezu ideal für die Beobachtung von Sternen und Planeten bei Tag, soll anhand von Wetterkarten (Abb.14-16) die Großwetterlage dargestellt werden.

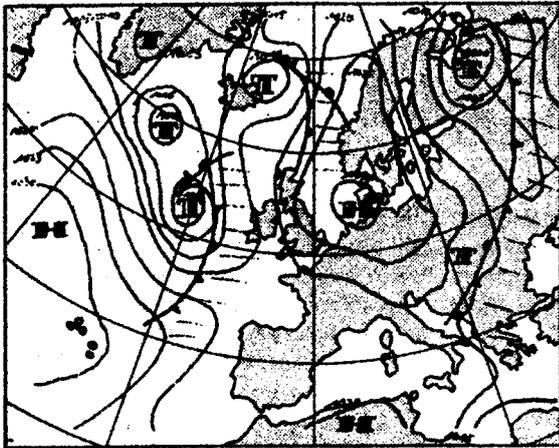


Abb. 14

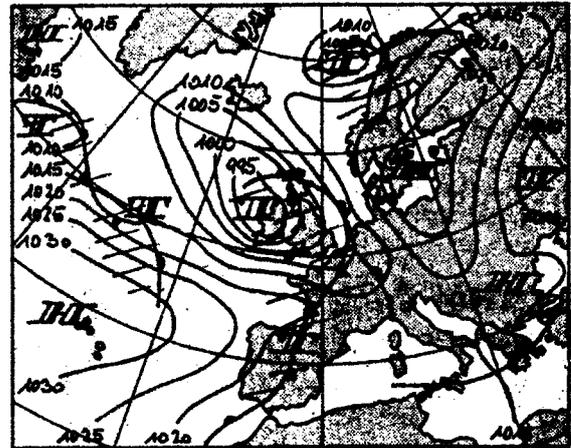


Abb. 15

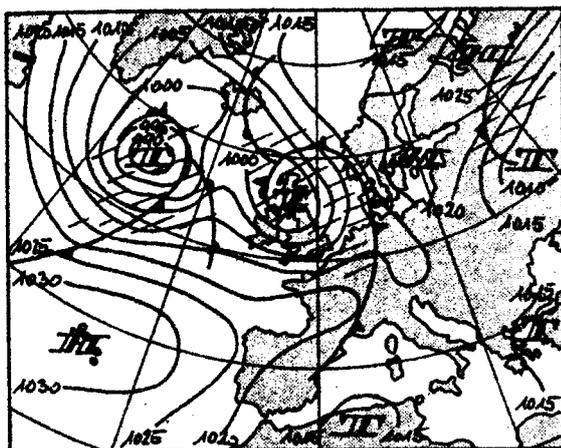


Abb. 16

(13)

- Wärmefront
- Kaltfront
- Oklusion
- Warmer Luftstrom
- Kalter Luftstrom
- Niederschlagsgebiet
- Hochdruckgebiet H
- Tiefdruckgebiet T
- Isobaren
- Luftdruck in hPa

2.3.4. Mai 1994 13^hMEZ

Sichtbarkeit von Sternen und Planeten in der Dämmerung

Der Übergang vom Tag zur Nacht bzw. von der Nacht zum Tag erfolgt nicht plötzlich, sondern es treten eine Reihe von Dämmerungserscheinungen auf. Durch gleichzeitiges Zapfen- und Stäbchensehen in der Dämmerung gibt es einen Punkt, an dem sowohl das Zapfen- als auch das Stäbchensehen relativ schwach und unvollkommen ist. Bei diesem Punkt ist die Leistung sehr viel geringer als bei größerer Dunkelheit oder größerer Helligkeit. Daher ist es besonders schwierig, exakte Aussagen über die Sichtbarkeit von Sternen in der Dämmerung zu machen.

Ausgehend von den bekannten Werten der Himmelshelligkeit in der Dämmerung, der atmosphärischen Durchlässigkeit und der Empfindlichkeit des Auges können Berechnungen für Planeten und Sterne gemacht werden, die die Sichtbarkeit in Abhängigkeit von der Größenklasse angeben können. Ich habe im Jahre 1979 zusammen mit Herrn Grünanger das Sichtbarwerden zenitnaher Sterne in der Abenddämmerung beobachtet und den Zeitpunkt des ersten Erkennens bestimmt. Anhand von 64 Meßwerten wurde eine Formel abgeleitet, die es ermöglicht, das Sichtbarwerden von Sternen in der Dämmerung in Abhängigkeit von ihrer Größenklasse zu berechnen. Um dies an einem Beispiel zu zeigen möchte ich die Beobachtung des Sichtbarwerdens von Prokyon am 1.5.1994 (siehe Seite 17) verwenden. Laut meiner Beobachtung ist Prokyon um 19^h19^m MEZ in der Abenddämmerung für das freie Auge sichtbar geworden. Die Berechnung ergibt einen Wert von 19^h19,6^m.

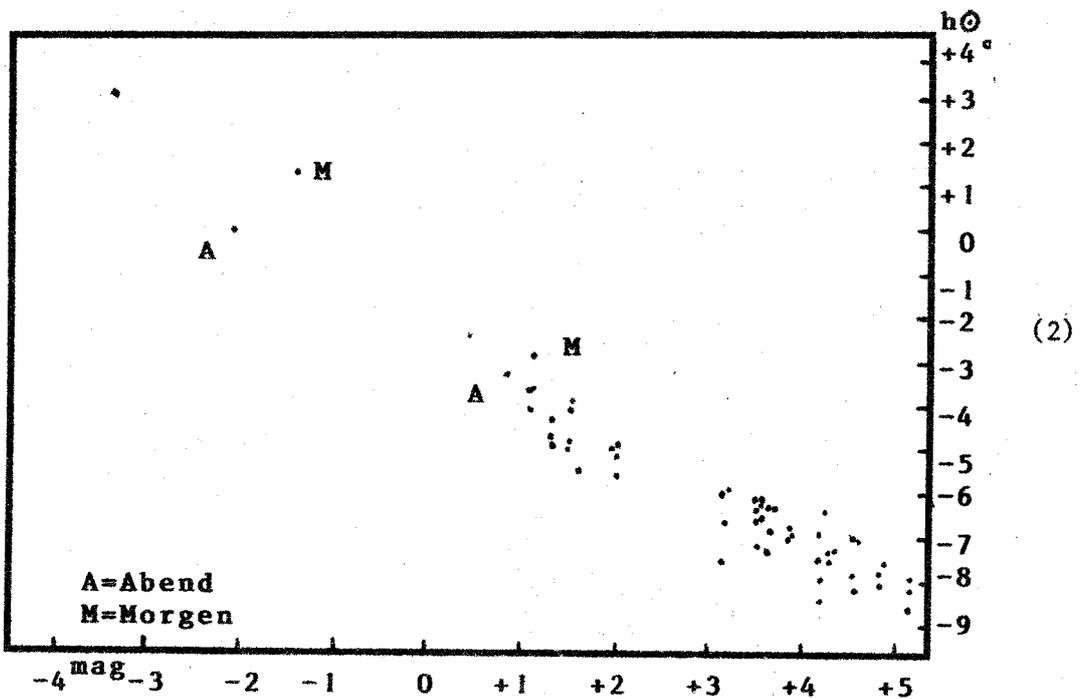


Abb. 17 Sichtbarwerden der Sterne nach Sonnenhöhe und Helligkeit

22.Fortsetzung Referat: Sichtbarkeit von Sternen und Planeten bei Tag ...

Aufgrund der vorher erwähnten Faktoren kann es zu Abweichungen zwischen berechneten und beobachteten Werten kommen, die mehrere Minuten betragen können. Im Diagramm (Abb.17) sind die Zusammenhänge zwischen dem Sichtbarwerden von Sternen in der Abenddämmerung und der Sonnentiefe unter dem Horizont gut zu erkennen.

Die Abbildung 18 zeigt die verschiedenen Dämmerungsstreifen und die nach und nach sichtbar werdenden Sterne. Der Dämmerungsstreifen ist ungefähr 1100 Seemeilen breit vom Sonnenaufgangs- oder Sonnenuntergangsmeridian zur tiefen Nacht. Die Sternkarten, die anhand der Berechnungen aufgestellt wurden, zeigen nun an, daß unter guten Bedingungen in den ersten 200 Meilen des Streifens die helleren Planeten und Sirius sichtbar werden, in den nächsten 200 Meilen Sterne erster Größe erscheinen und in den letzten 50 Meilen annähernd alle Positionssterne sichtbar werden. Positionssterne dienen bei der Seefahrt zur Orientierung und Fixierung der Richtung.

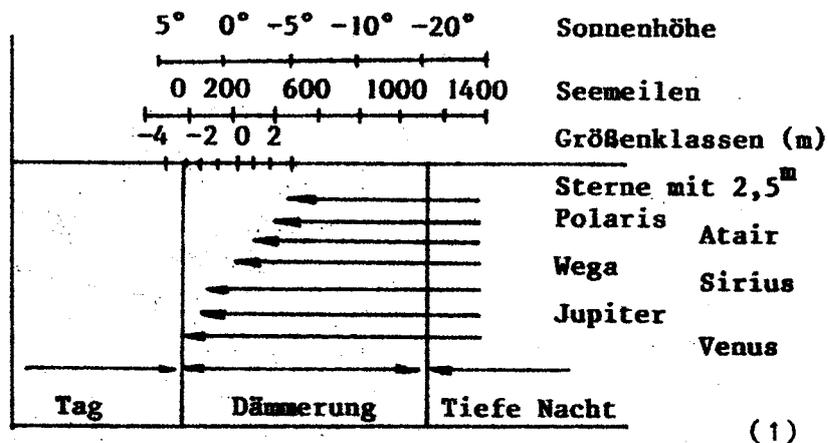


Abb. 18

Dämmerungsstreifen und Positionen, wo Himmelskörper sichtbar werden.

Das folgende Diagramm (Abb.19) zeigt die Sternhelligkeitsschranke in Abhängigkeit von der Hintergrundleuchtdichte. Die Sternhelligkeit wird in Größenklassen gemessen (m). Bei steigender Hintergrundhelligkeit liegt die Schranke bei kleiner werdender Größe, das heißt, einer größeren Sternhelligkeit. Die Hintergrundleuchtdichte ist jedoch von mannigfachen Faktoren abhängig: Sonnenstand, Beobachterhöhe, Beobachterstandort, Erdreflexionen, atmosphärischer Zustand, Mondphasen, so daß beträchtliche Abweichungen von diesen im Diagramm angegebenen Werten vorkommen können.

23. Fortsetzung Referat: Sichtbarkeit von Sternen und Planeten bei Tag ...

Sobald die Sonne unter dem Horizont verschwunden ist, sinkt allmählich die Helligkeit des Himmels. Diese Helligkeitsänderung erfolgt aber nicht gleichmäßig über den ganzen Himmel verteilt, sondern unterschiedlich. Während der westliche Himmel nach Sonnenuntergang noch relativ hell ist, ist der gegenüberliegende Teil im Osten bereits dunkel. Dieser Unterschied wirkt sich natürlich auch auf die Sichtbarkeit von Sternen aus. Ein östlich stehender Stern gleicher Helligkeit wird früher sichtbar als ein westlich stehender Stern. Umgekehrt ist es dann beim Sonnenaufgang.

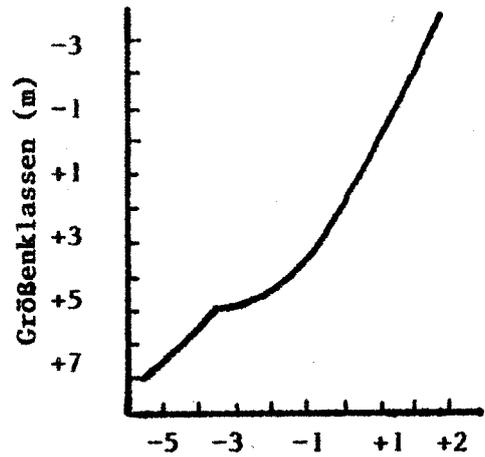


Abb. 19 Sternhelligkeitsschranke in Abhängigkeit von der Hintergrundleuchtdichte. (1)

Sternhelligkeitsschranke in Abhängigkeit von der Hintergrundleuchtdichte.

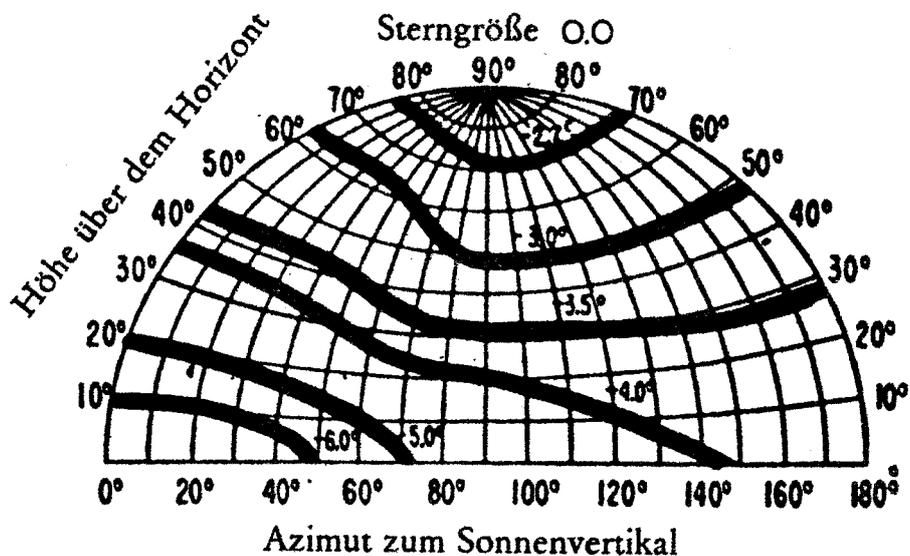
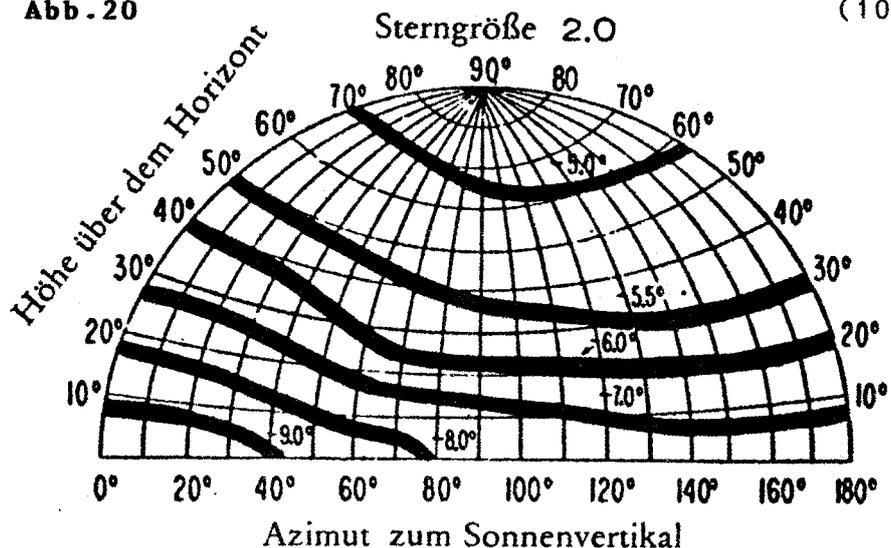


Abb. 20 Sterngröße 0.0 (10)



In Abbildung 20 ist die Sichtbarkeit von Sternen in der Dämmerung dargestellt. Die Zahlen an den fetten Kurven beziehen sich auf die Sonnentiefe (unter dem Horizont), bei der die Sterne eben sichtbar werden. Die Abbildung gilt für Beobachtungen von der Höhe des Meeresspiegels. Nach R. Tousey und M. J. Koomen, 1953.

Die Sichtbarkeit der Sterne bei Beobachtung aus tiefen Schächten

Noch heute herrscht die Meinung, Sterne könnten bei Tageslicht aus tiefen Schächten, aus Schornsteinen oder aus Erdgewölben gesehen werden. Diese irri- ge Meinung hat sich wahrscheinlich deshalb bis heute gehalten, weil ein exakter Nachweis der Nicht-Sichtbarkeit nicht möglich ist und weil eine einleuchtende aber dennoch falsche Gegebenheit sich nicht leicht aus dem Bewußtsein verdrängen läßt.

Aristoteles behauptete als erster, Sterne könnten aus tiefen Schächten gesehen werden: "So kommt es ja auch vor, daß die, welche sich in Erdgewölben und Zisternen befinden, von da aus bisweilen Sterne sehen".

Er kam höchstwahrscheinlich zu der Vermutung, weil die Augen des Beobachters in Schächten adaptiert sind und daher mehr Licht in das Auge fallen kann. Diese Tatsache führte aber zu falschen Schlüssen.

Humboldt konnte bei seinen vielen Beobachtungen niemals aus tiefen Schächten einen Stern bei Tage erblicken oder jemand finden, der eine solche Beobachtung gemacht hatte. Selbst Rauchfangkehrer berichteten ihm, bei Tage niemals einen Stern gesehen zu haben.

Zwei neue Versuche, dieses Phänomen zu verifizieren, schlugen fehl: In dem ersten Experiment beobachteten Hynek von der Ohio-Universität mit einer Gruppe von Studenten aus einem 70m hohen Schornstein den Himmel. Sie hatten berechnet, daß die Wega über der Schornsteinöffnung erscheinen müsse; aber weder dieser Versuch noch ein zweiter von A. N. Winsor von der Universität von Florida, bei dem Pollux gesehen werden sollte, brachte Erfolg. Aber ein negatives Erlebnis sagt noch nichts über die tatsächliche Situation aus.

In einem dritten Versuch machte Alex G. Smith genaue Messungen durch den 47 m hohen Schornstein, den auch Windsor benutzt hatte. Mit kleinen Teleskopen (3 Zoll) wurden die Helligkeiten des Himmels sowohl aus dem Schornstein als auch außerhalb gemessen. Zwischen den beiden Messungen war jeweils eine Zeitspanne von zwei Minuten; es wurden sowohl photoelektrische als auch photographische Messungen gemacht. Das Ergebnis der Messungen ist in Abbildung 21 zusammengefaßt. Die Helligkeit des Zenithimmels aus dem Schacht wird als Einheit genommen, die Messungen außerhalb relativ dazu angetragen.

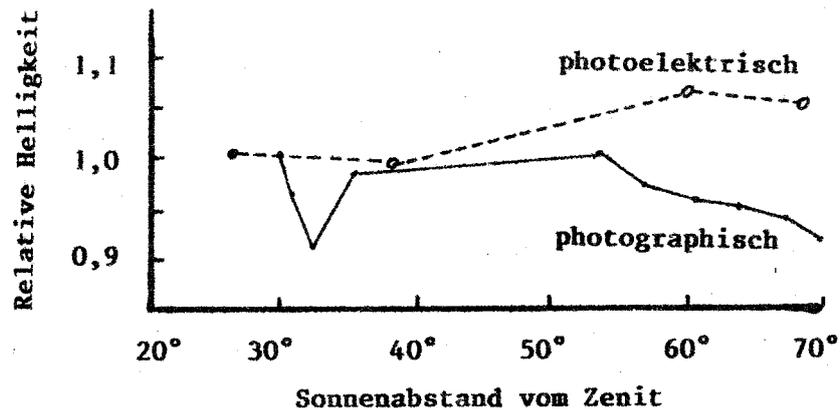


Abb. 21

(1)

Helligkeit im und außerhalb des Schachtes.

Wenn das Auge des Beobachters im Schornstein von jeglicher äußeren Helligkeit abgeschirmt ist und adaptiert, dann ist einleuchtend, daß eine größere Sensitivität vorhanden ist. Dies wirkt sich aber so aus, daß der Kontrast zwischen der tiefen Dunkelheit im Schornstein und dem Himmel so groß ist, daß der Kontrast zwischen Himmel und Stern überdeckt wird. Nach den Erfahrungen von A. G. Smith bei der Beobachtung von Pollux in der Dämmerung bestätigte sich diese Überlegung: der Stern war durch einen Schornstein wesentlich schwieriger zu sehen als auf freiem Feld. Der allgemeine Glaube über die Sichtbarkeit von Sternen bei Tageslicht durch tiefe Schächte entbehrt daher jeder Grundlage.

Literatur

- (1) Feitzinger, J.: Die Sichtbarkeit von Sternen und Planeten bei Tageslicht, in der Dämmerung und bei Beobachtung aus tiefen Schächten. SuW 1975/5.
- (2) Smutek, H.: Das freisichtige Erkennen zenitnaher Sterne in der Abenddämmerung. In: 20. Österreichisches Sternfreunde-Seminar, Moderne Astronomische Phänomenologie. Österreichischer Astronomischer Verein, Wien 1993.
- (3) Faust, H.J.: Die Hell- und Dunkeladaptation beim Sehen. Der Augenoptiker, Konradin Verlag, Leinfelden-Echterdingen.
- (4) Probst, A.: Sonne und Erdatmosphäre. In: 12. Österreichisches Sternfreunde-seminar, Die Sonne. Österreichischer Astronomischer Verein, Wien 1984.
- (5) Mucke, H.: Tagsichtbarkeiten der Venus 1991. Der Sternbote, 7/1991, Wien.
- (6) Mucke, H.: Tagsichtbarkeiten der Venus für Wien, 1988-2000. Gratis-Kurztext der Wiener Urania Sternwarte, 1988.
- (7) Roth, G.D.: Hansbuch für Sternfreunde, Springer-Verlag, Berlin 1960.
- (8) Keiji Higuchi: Light Pollution in the Urban Area. Nagoya City Sc. Museum, 1993.
- (9) Uibe, M.: Helligkeitsverteilung des diffusen Sonnenlichtes am klaren Himmel. Teubner, Leipzig 1918.
- (10) Minnaert, M.: Licht und Farbe in der Natur. Birkhäuser Verlag, Basel 1992.
- (11) Sönning/Keidel: Wolkenbilder, Wettervorhersage. BLV Naturführer, München.
- (12) Roth, G.D.: Wetterkunde für alle. BLV-Verlagsgesellschaft, München 1990.
- (13) Wetterprognosekarten Großwetterlage, 2., 3., 4. Mai 1994. Der Standard, Wien.

Referat: Zur Erfassung der Sichtbarkeitsperioden ekliptikferner Gestirne

Einleitung

Sirius, der hellste Stern des Himmels, hat schon immer die Aufmerksamkeit der Menschen auf sich gezogen. Im alten Ägypten zum Beispiel diente der alljährliche Beginn der Sichtbarkeitsperiode des Sirius sogar zur Bestimmung des Kalenderjahrs.

Wie die jährlichen Sichtbarkeitsperioden der Gestirne zustande kommen, wurde im Sternfreunde-Seminar 1992/93 im Referat "Sichtbarkeitsverhältnisse und Sonnenlauf" [Lit. 1] dargestellt. Es handelt sich dabei um Erscheinungen in der Morgen- bzw. Abenddämmerung, die sehr stark vom Wetter beeinflusst werden. Die erste Morgensichtung nach der Periode der Unbeobachtbarkeit wird "heliakischer Aufgang" (griechisch ἡλιος, Sonne) genannt. Der Stern geht dabei in der Morgendämmerung am Horizont oder im Dunst über dem Horizont auf und verblaßt schon wenige Minuten später in der heller werdenden Dämmerung.

Die klassische Vorausberechnung dieser Phänomene stützt sich auf die sogenannte Sehungsbogenrechnung. Man geht davon aus, daß sich die Sonne noch um einen bestimmten Mindestbetrag (das ist der sogenannte Sehungsbogen β) unter dem Horizont befinden muß, wenn der Stern theoretisch genau im Horizont steht (d.h. wenn die geometrische Höhe des Sterns ohne Refraktion $H = 0^\circ$ ist). Den Sehungsbogen β erhält man aus der Formel

$$\beta = \beta^* + k \cdot \cos \Delta$$

Die Werte für β^* und k entnimmt man aus Tabellen, siehe Sternfreunde-Seminar 1992/93, Referat "Sichtbarkeitsverhältnisse und Sonnenlauf" [Lit. 1], wo auch das gesamte Berechnungsverfahren erklärt ist. Das Astronomische Büro verwendet seit 1972 die Werte von Schoch aus [Lit. 6], die Begründung dafür findet sich in [Lit. 5]. Für Δ ist die Azimut-Differenz zwischen Gestirn und Sonne einzusetzen, bei ekliptiknahen Sternen wird aber üblicherweise die Näherung $\Delta = 0^\circ$ verwendet.

In den Jahren 1970-1972 wurde vom Sternenboten ein Beobachtungsprogramm für Planeten und ekliptiknahe Sterne organisiert, das die Richtigkeit der Methode für ekliptiknahe Gestirne innerhalb einiger Zehntelgrade bestätigte [Lit. 5].

Die Sehungsbogenrechnung ist jedenfalls eine Näherungsrechnung, die mit einer Reihe von Unsicherheitsfaktoren behaftet ist:

1. Unterschiedliche Wetterbedingungen
2. Unterschiedliche Sehleistungen der Beobachter
3. Vernachlässigung des Farbenindex der Gestirne
4. Vernachlässigung des Unterschieds der vertikalen Aufgangsgeschwindigkeiten von Gestirn und Sonne
5. Zweifelhafte Berücksichtigung der Azimutdifferenz zwischen Gestirn und Sonne

Zielsetzung

Es ist also sicher interessant, die vorgegebene Theorie anhand von modernen Beobachtungen auch für ekliptikferne Gestirne zu überprüfen und wenn möglich zu verbessern. H. Mucke hat im Sternenboten, Heft 8/1993, Vorausdaten für den heliakischen Aufgang von Procyon und Sirius angegeben und zur Beobachtung aufgerufen.

1. Fortsetzung Referat: Zur Erfassung der Sichtbarkeitsperioden ekliptikferner Gestirne

Sieben Beobachter beteiligten sich an diesem Beobachtungsprogramm. Sechs Personen meldeten insgesamt sechs erfolgreiche Sirius-Beobachtungen, zwei Procyon-Beobachtungen und eine Rigel-Beobachtung. Einer konnte weder Sirius noch Procyon sehen und gab eine Leermeldung ab.

Allen Beobachtern möchte ich hier sehr herzlich für ihre Mühe danken. Ich weiß, wieviel Überwindung es kostet, mehrere Tage hindurch täglich um fünf Uhr früh aufzustehen und den Horizontdunst nach einem ganz schwachen Lichtpunkt abzusuchen, der vielleicht gar nicht zu sehen sein wird.

Die Gegenüberstellung der Vorausdaten mit den tatsächlichen Beobachtungen ergibt folgendes Bild:

Procyon

Procyon hat eine Helligkeit $m = 0,4^{\text{mag}}$ und seine Azimut-Differenz zur Sonne beim Aufgang ist in Wien $\Delta = 29^\circ$. Nach der Berechnungsmethode [Lit. 1] ergibt sich als Grenze für seine Sichtbarkeit in Wien:

$$\beta = 10,5^\circ$$

Benutzt man aber die Näherungsmethode für ekliptiknahe Sterne ($\Delta = 0^\circ$), so ergibt sich

$$\beta = 10,8^\circ$$

Je nach dem, welcher Variante man den Vorzug gibt, sollte Procyon an den Tagen mit $\beta \geq 10,5^\circ$ bzw. $\beta \geq 10,8^\circ$ sichtbar sein. Die Vorausrechnung für die in Frage kommenden Tage des Jahres 1993 erbrachte folgende Werte:

Procyon, Vorausberechnung des heliakischen Aufgangs 1993 für Wien			
Datum	β	Δ	Anmerkung
1993-08-13	$9,8^\circ$	$27,6^\circ$	β ist kleiner als $10,5^\circ$, Procyon müßte unsichtbar sein
1993-08-14	$10,6^\circ$	$28,2^\circ$	β ist knapp über $10,5^\circ$, Procyon könnte erstmals sichtbar sein
1993-08-15	$11,3^\circ$	$28,7^\circ$	β ist größer als $10,5^\circ$, Procyon sollte sicher sichtbar sein
1993-08-16	$12,1^\circ$	$29,3^\circ$	β ist viel größer als $10,5^\circ$, Procyon sollte gut sichtbar sein

β ist der Sehungsbogen, das ist die negative Höhe der Sonne, wenn das Gestirn die geometrische Höhe 0° hat
 Δ ist die Differenz der Azimute von Gestirn und Sonne $\Delta = A_* - A_\odot$

Tatsächlich konnte Procyon von Herrn W. Vollmann am 1993-08-15 und von Herrn Ing. P. Slowik am 1993-08-19 gesehen werden. Die Beobachtungsergebnisse sind:

Procyon, Beobachtungsergebnisse des heliakischen Aufgangs 1993 in Wien							
Datum	MEZ	H_*	β	Δ	Anmerkung	Beobachter	Ort
1993-08-15	03:56	$3,3^\circ$	$11,9^\circ$	$28,5^\circ$	Procyon schwach freisichtig	W. Vollmann	Wien
	04:07	$5,2^\circ$	$12,2^\circ$	$28,3^\circ$	Procyon verschwindet		
1993-08-19	03:44	$4,3^\circ$	$15,4^\circ$	$30,5^\circ$	Procyon mit freiem Auge sichtbar	P. Slowik	Neusiedl
	04:07	$8,1^\circ$	$15,9^\circ$	$30,2^\circ$	Procyon nicht mehr sichtbar		

H_* ist die geometrische Höhe (ohne Refraktion) des Gestirns, berechnet aus dem Beobachtungstermin.

β ist die Differenz der geometrischen Höhen von Gestirn und Sonne $\beta = H_* - H_\odot$

Δ ist die Differenz der Azimute von Gestirn und Sonne $\Delta = A_* - A_\odot$

Beobachtungsorte:

W. Vollmann: Wien 20., $16^\circ 22'$ Ost, $48^\circ 14'$ Nord

P. Slowik: Nähe Neusiedl, $16^\circ 52'$ Ost, $47^\circ 57'$ Nord

2. Fortsetzung Referat: Zur Erfassung der Sichtbarkeitsperioden ekliptikferner Gestirne

Wetter und Sichtbedingungen:

1993-08-15 W. Vollmann: 03:56 MEZ Procyon erstmals schwach freisichtig. Bis 04:07 bleibt Procyon freisichtig, danach verschwindet er in der heller werdenden Dämmerung. Die Beobachtung ist schwierig durch eine etwa 3° hoch reichende horizontnahe Dunstschicht.

1993-08-19 P. Slowik: 04:40 MESZ Procyon mit dem Feldstecher, aber nicht mit dem freien Auge sichtbar. 04:44 Procyon mit freiem Auge sichtbar. 05:07 Procyon nicht mehr sichtbar.

Vergleich von Beobachtung und Vorausrechnung für Procyon

Nach der Vorausrechnung hätte Procyon schon am 1993-08-14 bei einem Sehungsbogen von $\beta = 10,6^\circ$ sichtbar werden können, tatsächlich wurde er erst einen Tag später, am 1993-08-15 von Hr. Vollmann bei einem β von ca. 12° gesehen.

Das Wetter spielt dabei natürlich eine große Rolle. Herr Ing. Slowik beobachtete Procyon vom 1993-08-15 bis 1993-08-17 täglich mit dem Feldstecher, konnte ihn aber nicht mit dem freien Auge sehen, weil es zu dunstig war. Am 1993-08-18 war es bewölkt, und am 1993-08-19 gelang dann die erste Sichtung, bei der β schon über 15° betrug.

Wegen dieser Wettereinflüsse kann man diese Beobachtungswerte zur Überprüfung der Theorie leider nicht heranziehen, aber sie sind zur Abklärung der Größe des Wettereinflusses sehr aufschlußreich.

Noch etwas fällt auf: Die Werte von β bei der Beobachtung am 1993-08-15 sind um $0,6^\circ$ bis $0,9^\circ$ größer als gemäß Vorausrechnung für den gleichen Tag. Wie ist so etwas möglich?

Hier hat der Unsicherheitsfaktor Nr. 4 aus der Einleitung zugeschlagen, nämlich die Vernachlässigung des Unterschieds der vertikalen Aufgangsgeschwindigkeiten von Gestirn und Sonne. Bild 1 veranschaulicht diese Situation:

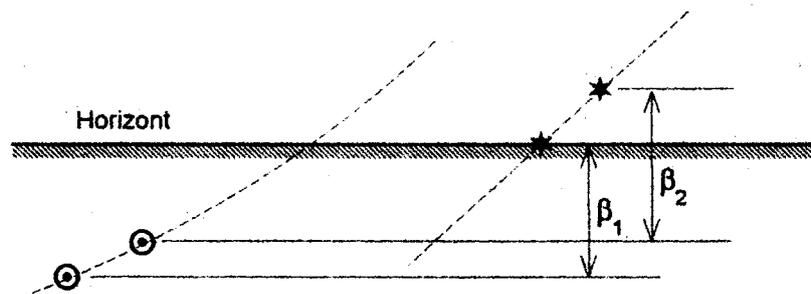


Bild 1

Mitte August geht die Sonne im Nordosten auf und beschreibt einen flacheren Bahnbogen als der äquaturnahe Stern Procyon, der im Osten aufgeht. Die Methode für die Vorausberechnung prüft nur, ob die Sonne weit genug unter dem Horizont steht, wenn der Stern den mathematischen Horizont passiert (β_1 in Bild 1). Zum Zeitpunkt der tatsächlichen Beobachtung steht der Stern schon höher, aber die Sonne ist nicht im gleichen Ausmaß höher gestiegen. Der Wert β_2 ist daher größer als β_1 , und dieser Wert β_2 ist für die tatsächliche Sichtbarkeit entscheidend.

Hier haben wir den Fall, daß eine der Vernachlässigungen in der Sehungsbogenrechnung einen Fehler von zirka $0,8^\circ$ Grad ergibt, in Zeit ausgedrückt einen Tag!

Will man diesen Fehler ausschließen, so muß man den Himmelsanblick für den voraussichtlichen echten Beobachtungszeitpunkt (die geometrische Höhe des Sterns H_* ist dann etwa 3°) berechnen und überprüfen, ob $\beta = H_* - H_\odot$ größer ist als der geforderte Grenzwert.

In der Folge ist mit β immer der Wert $H_* - H_\odot$ gemeint, unabhängig davon ob $H_* = 0^\circ$ ist oder nicht.

3. Fortsetzung Referat: Zur Erfassung der Sichtbarkeitsperioden ekliptikferner Gestirne

Sirius

Die Berechnungsmethode [Lit. 1] ergibt mit der Helligkeit des Sirius von $m = -1,5^{\text{mag}}$ und $\Delta = 56^\circ$ für Wien:

$$\beta = 7,6^\circ$$

Würde man nach der Näherung für ekliptiknahe Sterne rechnen ($\Delta = 0^\circ$), so ergäbe sich

$$\beta = 8,7^\circ$$

Wie man sieht, ist bei Sirius in unseren geographischen Breiten der Einfluß der Azimutdifferenz Δ in der Formel recht groß und es ist daher interessant, gerade diesen Fall durch die Beobachtung zu überprüfen.

Für den Spezialfall Sirius gibt es in der Literatur noch weitere, andere Angaben für den Sehungsbogen. Ich komme später darauf zurück.

Sirius, Vorausberechnung des heliakischen Aufgangs 1993 für Wien			
Datum	β	Δ	Anmerkung
1993-08-18	$7,0^\circ$	$54,3^\circ$	β ist kleiner als $7,6^\circ$, Sirius müßte unsichtbar sein
1993-08-19	$7,8^\circ$	$54,8^\circ$	β ist knapp über $7,6^\circ$, Sirius sollte gerade sichtbar werden
1993-08-20	$8,6^\circ$	$55,4^\circ$	β ist größer als $7,6^\circ$, Sirius sollte sichtbar sein
1993-08-21	$9,4^\circ$	$55,9^\circ$	β ist viel größer als $7,6^\circ$, Sirius sollte gut sichtbar sein
1993-08-22	$10,2^\circ$	$56,5^\circ$	β ist viel größer als $7,6^\circ$, Sirius sollte gut sichtbar sein

β ist der Sehungsbogen, das ist die negative Höhe der Sonne, wenn das Gestirn die geometrische Höhe 0° hat

Δ ist die Differenz der Azimute von Gestirn und Sonne $\Delta = A_* - A_\odot$

Hier sind die gemeldeten Beobachtungen aus Deutschland, Österreich und der Schweiz:

Sirius, Beobachtungsergebnisse des heliakischen Aufgangs 1993 in Mitteleuropa							
Datum	MEZ	H_*	β	Δ	Anmerkung	Beobachter	Ort
1993-08-21	04:39	$1,3^\circ$	$11,2^\circ$	$55,6^\circ$	Sirius ging hell über einem Berg auf blieb sichtbar bis 5:14	K. Köpke	Anzère/ Schweiz
	05:14	$6,6^\circ$	$11,1^\circ$	$55,4^\circ$			
1993-08-22	04:12	$2,8^\circ$	$10,5^\circ$	$56,2^\circ$	aus Dunstschicht mit freiem Auge	P. Slowik	Neusiedl
	04:26	$4,8^\circ$	$10,4^\circ$	$56,2^\circ$	nicht mehr sichtbar		
1993-08-22	04:20	$3,5^\circ$	$10,3^\circ$	$56,2^\circ$	Sirius blickweise freisichtig	H. Mucke	Wien
	04:26	$4,4^\circ$	$10,3^\circ$	$56,2^\circ$	Sirius letztmals gefunden		
1993-08-22	04:18	$3,2^\circ$	$10,2^\circ$	$56,2^\circ$	aus Dunstschicht mit freiem Auge	W. Vollmann	Wien
	04:30	$4,9^\circ$	$10,1^\circ$	$56,2^\circ$	verschwand in der Dämmerung		
1993-08-22	04:24	$4,1^\circ$	$10,2^\circ$	$56,2^\circ$	sehr schwierig mit freiem Auge	L. Höfler	Wien
1993-08-25	04:57	$3,5^\circ$	$9,0^\circ$	$58,3^\circ$	blinkte über Wolkenbank auf	R. Krauss	Münster/ Westfalen
	05:01	$4,0^\circ$	$8,9^\circ$	$58,3^\circ$	blieb sichtbar bis 05:01		

H_* ist die geometrische Höhe (ohne Refraktion) des Gestirns, berechnet aus dem Beobachtungstermin

β ist die Differenz der geometrischen Höhen von Gestirn und Sonne $\beta = H_* - H_\odot$

Δ ist die Differenz der Azimute von Gestirn und Sonne $\Delta = A_* - A_\odot$

Beobachtungsorte:

K. Köpke: Bergstation der Bergbahn von Anzère, Höhe 2362 m, $07^\circ 22'$ Ost, $46^\circ 18'$ Nord

P. Slowik: Nähe Neusiedl, $16^\circ 52'$ Ost, $47^\circ 57'$ Nord

H. Mucke: Wien 23., $16^\circ 16' 43''$ Ost, $48^\circ 08' 28''$ Nord

W. Vollmann und L. Höfler: Wien 20., $16^\circ 22'$ Ost, $48^\circ 14'$ Nord

R. Krauss: Münster/Westfalen, ca. $07^\circ 37'$ Ost, $51^\circ 58'$ Nord

4. Fortsetzung Referat: Zur Erfassung der Sichtbarkeitsperioden ekliptikferner Gestirne

Wetter und Sichtbedingungen:

1993-08-21 K. Köpke: 05:39 MESZ: Sirius erscheint schlagartig und hell an der Silhouette eines Berges und bleibt sichtbar bis 06:14.

1993-08-22 P. Slowik: Ideale Beobachtungsbedingungen. 05:12 MESZ Sirius aus Dunstschicht schwach mit freiem Auge sichtbar. 05:26 Sirius nicht mehr sichtbar.

1993-08-22 H. Mucke: Dunststreifen bis 3° Höhe, sonst klar. Freisichtig 05:20 MESZ Sirius blickweise knapp über Oberkante des Dunststreifens. Stark szintillierend, bisweilen infolgedessen sogar verschwindend. Sirius gelblich, so hell wie ζ Ori (+2,0 vis). Sirius deutlich, jedoch nach Wegsehen immer schwerer wieder zu finden. Sirius letztmals gefunden 05:26.

1993-08-22 W. Vollmann und L. Höfler: Klar, etwas tiefliegender Dunst (wie üblich, eher besser als gewöhnlich). Um 04:18 MEZ tauchte Sirius aus dem tiefliegenden Horizontdunst auf und wurde mit freiem Auge wahrnehmbar. Er war schwierig sichtbar und nur durch die genaue Ortskenntnis zu sehen. Um 04:24 konnte auch Lisa Höfler den Stern sehr schwierig mit freiem Auge sehen. Ich verfolgte Sirius bis 04:30 MEZ, danach verschwand er in der heller werdenden Dämmerung.

1993-08-25 R. Krauss: Im Osten lag zwar die übliche Wolkenbank, aber um 05:57 MESZ blinkte Sirius heftig szintillierend über der Wolkenbank auf.

Übereinstimmend berichten die Beobachter L. Höfler, H. Mucke und W. Vollman, daß Sirius nur sehr schwer oder nur blickweise sichtbar war. Es handelte sich hier also um echte Grenz-Sichtbarkeiten. Herr K. Köpke auf der Bergstation der Bergbahn von Anzère berichtet hingegen, daß Sirius schlagartig und hell an der Silhouette eines Berges erschien. Hier wäre Sirius sicher auch schon an einem früheren Tag zu sehen gewesen.

Vergleich von Beobachtung und Vorausrrechnung für Sirius

Vergleicht man die Sehungsbogen der Wiener Beobachtungen vom 1993-08-22 mit denen der Vorausrrechnung für den gleichen Tag, so findet man bei Sirius im Gegensatz zu Procyon eine gute Übereinstimmung innerhalb von $0,1^\circ$. Dies paßt deshalb so genau, weil Sirius etwa gleich weit südlich vom Ostpunkt aufgeht, wie die Sonne westlich. Der Unsicherheitsfaktor Nr. 4, der Unterschied in der vertikalen Geschwindigkeitskomponente, spielt hier also keine Rolle.

Wie sieht es nun mit dem Unsicherheitsfaktor Nr. 1, dem Wettereinfluß aus? Am 1993-08-22 war es in Wien eher besser als normal, was nicht allzu viel bedeutet, denn in Wien ist es nie besonders klar. Unter diesen Umständen kam es zu einer echten Grenz-Beobachtung bei dem relativ großen β von $10,1^\circ$ bis $10,2^\circ$.

R. Krauss in Münster hatte wohl besseres Wetter, denn er konnte Sirius bei einem Sehungsbogen von $8,9^\circ$ bis $9,0^\circ$ sehen. Das Wetter kann also, vorsichtig geschätzt, leicht einen Grad im Sehungsbogen kosten. Dabei spielt die unterschiedliche Sehleistung der Beobachter eine untergeordnete Rolle, wie sich noch zeigen wird.

Wir erkennen, daß es unter heutigen mitteleuropäischen Sichtverhältnissen möglich sein kann, Sirius bei einem Sehungsbogen von

$$\beta = 8,9^\circ$$

zu sehen, die üblichen Wetterverhältnisse in Wien sind aber deutlich schlechter. Dieses Ergebnis entspricht relativ gut dem Sehungsbogen $\beta = 8,7^\circ$ für $\Delta = 0^\circ$, paßt aber nicht mit dem zur Vorausrrechnung benützten Wert $\beta = 7,6^\circ$ für $\Delta = 56^\circ$ zusammen.

Das $\cos \Delta$ -Gesetz läßt sich aus diesen Beobachtungen jedenfalls nicht bestätigen. Der Unsicherheitsfaktor Nr. 5, die zweifelhafte Auswirkung der Azimutdifferenz zwischen Gestirn und Sonne, bleibt bestehen.

5. Fortsetzung Referat: Zur Erfassung der Sichtbarkeitsperioden ekliptikferner Gestirne

Sirius-Beobachtungen von 1926 in Ägypten

Im Jahre 1926 wurde von L. Borchardt und P. V. Neugebauer ein Sirius-Beobachtungsprogramm durchgeführt, und zwar speziell im Hinblick auf die Überprüfung der Auswertung der altägyptischen Beobachtungen. Diese Beobachtungen wurden publiziert [Lit. 9] und stehen uns zur Verfügung.

Ich möchte auch vor diesen Beobachtungsergebnissen die theoretischen Werte angeben, die unsere Berechnungsmethode von [Lit. 1] vorgibt:

Für den Beobachtungsort Ägypten ($\Delta \approx 45^\circ$) ergibt die Formel den Sehungsbogen

$$\beta = 8,0^\circ$$

und die Näherungsrechnung für ekliptiknahe Sterne ($\Delta = 0^\circ$)

$$\beta = 8,7^\circ$$

Dies sind die Beobachtungsergebnisse:

Sirius, Beobachtungsergebnisse des heliakischen Aufgangs 1926 in Ägypten							
Datum	MEZ	H _*	β	Δ	Anmerkung	Beobachter	Ort
1926-07-30	03:43	1,4°	8,7°	44,1°	taucht blickweise aus dem Dunst auf	L. Borchardt	Luqsor
	03:51	3,1°	8,8°	44,1°	Sirius höher gesehen		
	03:54				Sirius nicht mehr gesehen		
1926-08-02	03:48	3,2°	10,4°	45,0°	Sirius erscheint schwach	F.R.W. Jameson	Assiut
	04:02	6,1°	10,5°	45,0°	Sirius verschwindet		
1926-08-01	03:47	1,5°	8,8°	45,0°	(kam vermutlich über den Horizont)	R.W. Callender	Minje
1926-08-02	03:43	1,5°	9,7°	45,3°	(kam vermutlich über den Horizont)	R.W. Callender	Minje
1926-08-03	03:45	2,4°	9,1°	45,8°	Sirius geht hinter Moschee-Kuppel auf	F.S. Richards	Kairo
	03:56	4,7°	9,2°	45,7°	Sirius noch sichtbar, sehr schwach		
	03:57				Sirius verschwunden		
1926-08-04	03:41	2,4°	10,0°	46,1°	Sirius erscheint im Dunst über Kuppel	F.S. Richards	Kairo
	03:57	5,7°	10,2°	46,0°	Sirius sehr schwach		
1926-08-03	03:42	1,9°	9,1°	45,8°	Sirius wird mit freiem Auge sichtbar	L.J. Sutton	Heliopolis

H_{*} ist die geometrische Höhe (ohne Refraktion) des Gestirns, berechnet aus dem Beobachtungstermin

β ist die Differenz der geometrischen Höhen von Gestirn und Sonne $\beta = H_* - H_\odot$

Δ ist die Differenz der Azimute von Gestirn und Sonne $\Delta = A_* - A_\odot$

Beobachtungsorte:

L. Borchardt: Gegenüber Luqsor, 32°36'23,88" Ost, 25°44'03,12" Nord

F.R.W. Jameson: Assiut, 31°10' Ost, 27°10' Nord

R.W. Callender: Minia, 30°45' Ost, 28°05' Nord

F.S. Richards: Kairo, 31°14' Ost, 30°20' Nord

L.J. Sutton: Heliopolis, 31°19' Ost, 30°05' Nord

Wetter und Sichtbedingungen:

1926-07-30 L. Borchardt: 04:37: Sirius zum ersten Male durch die Rötung, etwas Dunst, funkeln sehen, nicht wie in den beiden Vorjahren wie eine kleine Scheibe, sondern als scharfen Punkt. Er funkelt immer nur für einen kurzen Augenblick durch den Dunst, in dem er dann sofort wieder verschwindet.

04:45: Sirius höher gesehen, aber auch nur durch den Dunst wie vorher beschrieben. Am Horizont bei ihm horizontal liegende Wolkenstriche.

04:48: Sirius nicht mehr gesehen.

Anmerkung des Referenten: Die Auswertung ergab, daß die Zeitangaben von Borchardt (Zeitzone GMT - 2^h) um sechs Minuten zu niedrig angegeben sind, seine Uhr muß wohl im Klima von Ägypten ungenau gegangen sein. Dies ist leicht korrigierbar, weil er auch den Sonnenaufgang beobachtete und die Höhe des Horizonts am Sonnenort angab [Lit. 9]. In der Tabelle oben sind die korrigierten Uhrzeiten angegeben.

6. Fortsetzung Referat: Zur Erfassung der Sichtbarkeitsperioden ekliptikferner Gestirne

1926-08-02 F.R.W. Jameson: The sky was clear except for filmy clouds which became more apparent as it got lighter. I saw Sirius very faintly at 04:48. It was then 1 1/2 fingers above the horizon (1 finger = 2°). Sirius got brighter as he rose in spite of the increasing daylight. No doubt the filmy clouds accounted for my not seeing Sirius at 04:40 when I first got out. After first seeing Sirius I watched him for over a minute before I was sure of him. At his brightest - at 04:55 - he was very easy to see,... Sirius finally faded out at 05:02 and was then rather less than 3 fingers above the horizon.

1926-08-01 R.W. Callender: Sirius visible: 04:47, sky: slight haze.

1926-08-02 R.W. Callender: Sirius visible: 04:43, sky: slight haze.

1926-08-03 F.S. Richards: Watch about 10 minutes fast! Clear - no cloud.

04:55 Sirius seen naked eye at elevation 2 1/2°, rising behind dome of Mohammed Ali Mosque. 05:06 Sirius still visible - very faint. 05:07 Sirius gone.

1926-08-04 F.S. Richards: Watch about 10 minutes fast! Sky clear, slight haze on horizon.

04:50 Sirius with glasses emerging from behind dome of Mohammed Ali Mosque. 04:51 Sirius seen naked eye, faint. 05:07 Sirius very faint. 05:08 Sirius gone.

1926-08-03 L.J. Sutton: Sky clear. Visibility good. 04:39 Sirius located with 6x field glasses at an altitude of between 1° and 2°. 04:42 Sirius visible with naked eye. The light was such that Orion's belt could just be discerned with the naked eye.

Auswertung der Beobachtungen von 1926:

Die besten Beobachtungen sind die von L. Borchardt am 1926-07-30 (eine echte Grenz-Beobachtung mit blickweisem Sehen) und R.W. Callender am 1926-08-01. Sie erfolgten bei

$$\beta = 8,7^\circ \text{ bis } 8,8^\circ$$

Auch dieser Wert ist in guter Übereinstimmung mit dem Wert $\beta = 8,7^\circ$ für ekliptiknahe Sterne, aber nicht mit dem geforderten Wert $\beta = 8,0^\circ$ für $\Delta = 45^\circ$.

Die Beobachtungen von F.S. Richards und L.J. Sutton mit β von $9,1^\circ$ bis $9,2^\circ$ sollen nicht geringer geschätzt werden, sie lassen aber eine unmittelbare Eingrenzung des Sehungsbogens nicht zu. Der Sehungsbogen wird von Tag zu Tag um knapp einen Grad größer. Einen Tag früher betrug der Sehungsbogen an ihrem Beobachtungsort $8,2^\circ$. An ihrem Beobachtungsort bestand in diesem Jahr gar keine Möglichkeit, Sirius bei einem Sehungsbogen von knapp unter 9° zu sehen.

Vergleich mit anderen Literaturangaben für den Sehungsbogen von Sirius:

Für den Sehungsbogen von Sirius gibt es in der Literatur noch einige weitere Werte. Schoch veröffentlichte 1924, also vor diesen Beobachtungen, in [Lit. 11] die Formel

$\beta = 6,2^\circ + 2,4^\circ \cdot \cos \Delta$. Diese Literaturstelle stand mir zwar nicht zur Verfügung, die Formel wird aber in [Lit. 9] zitiert. Sie ergibt für Ägypten

$$\beta = 7,9^\circ$$

Das ist ein Wert, der durch die Beobachtungen nicht bestätigt wird.

Neugebauer wertete die obigen Beobachtungen aus und gab dann 1929 in seiner "Astronomischen Chronologie" [Lit. 7, Textteil, p. 59] den folgenden Wert an:

$$\beta = 9,0^\circ \text{ für Ägypten}$$

Er meinte, daß unter günstigen Umständen $8,7^\circ$ möglich sei. Im Tafelteil zitiert er aber Schoch mit:

$$\beta = 9,5^\circ, \text{ für Ägypten mit Refraktion (für die Refraktion ist davon } 0,6^\circ \text{ abzuziehen)}$$

$$\beta = 8,3^\circ, \text{ für Babylon mit Refraktion (für die Refraktion ist davon } 0,6^\circ \text{ abzuziehen)}$$

7. Fortsetzung Referat: Zur Erfassung der Sichtbarkeitsperioden ekliptikferner Gestirne

Der Wert für den Sehungsbogen des Sirius im neuzeitlichen Ägypten scheint mit $8,7^\circ$ bis $9,0^\circ$ relativ gut abgesichert zu sein. Leider läßt sich aber die allgemeine Formel für den Sehungsbogen mit dem $\cos \Delta$ -Glied nicht verifizieren.

Himmelshelligkeit und Extinktion

Die Sichtbarkeit eines Gestirns bei seinem heliakischen Aufgang hängt sowohl von der Extinktion des Lichts in der Atmosphäre als auch von der Himmelshelligkeit in der Dämmerung ab. Es wäre äußerst reizvoll, den Zusammenhang zwischen der Höhe der Sonne unter dem Horizont, der Himmelshelligkeit und der dazugehörigen Stern-Grenzgröße so genau aufzuklären, daß man auf die Sehungsbogenmethode verzichten kann und eine realistische Computersimulation eines Sternaufganges in allen Dämmerungsphasen möglich wird.

Die moderne Berufsastronomie beschäftigt sich überhaupt nicht mit diesem Thema. Nur J. Feitzinger veröffentlichte 1975 in "Sterne und Weltraum" einiges über die Sichtbarkeit von Sternen und Planeten in der Dämmerung und bei Tageslicht [Lit. 4]. Der Artikel enthält aber keine ausreichenden Zahlenangaben.

Erfreulicherweise hat sich ein österreichischer Amateurastronom ernsthaft mit diesem Thema beschäftigt: H. Smutek berichtete im Sternfreunde-Seminar 1992/93 über seine Untersuchungen zum freisichtigen Erkennen zenitnaher Sterne in der Abenddämmerung [Lit. 2]. Aus 64 Beobachtungen leitete er folgende linearisierte Formel für die Sichtbarkeitsgrenze ab:

$$m_* = \frac{H_\odot + 2,24}{-1,08} \quad \text{gültig für Sterne von } 1^{\text{mag}} \text{ bis } 5^{\text{mag}}$$

Diese Werte gelten für zenitnahe Sterne bei sehr guten Sichtverhältnissen in Wien (mondloser Himmel). Es sind Extremwerte, die angeben, daß ein Stern nicht früher gesehen werden kann.

Eine Untersuchung von Th. Widorn 1955 "Zur Herkunft der Sterngrößen" [Lit. 12] kommt zu einem abweichenden Resultat. Widorn weist darauf hin, daß es bei solchen Beobachtungen wichtig sei, sich eine einheitliche Auffassung des Sichtbarwerdens anzugewöhnen, z. B. gerade sichtbar oder deutlich sichtbar. Leider erwähnt er nicht, welche dieser Auffassungen er bei seinen Beobachtungen wirklich verwendete. Für seine Zwecke genügte es auch, daß alle Beobachtungen unter gleichartigen Bedingungen erfolgten, gleichgültig unter welchen. Seine Resultate lassen darauf schließen, daß er "deutlich sichtbar" verwendete, uns interessiert hier aber der Fall "schwierig sichtbar".

Für die Untersuchung horizontnaher Sterne in Sonnennähe stehen uns die besprochenen Beobachtungsergebnisse zur Verfügung.

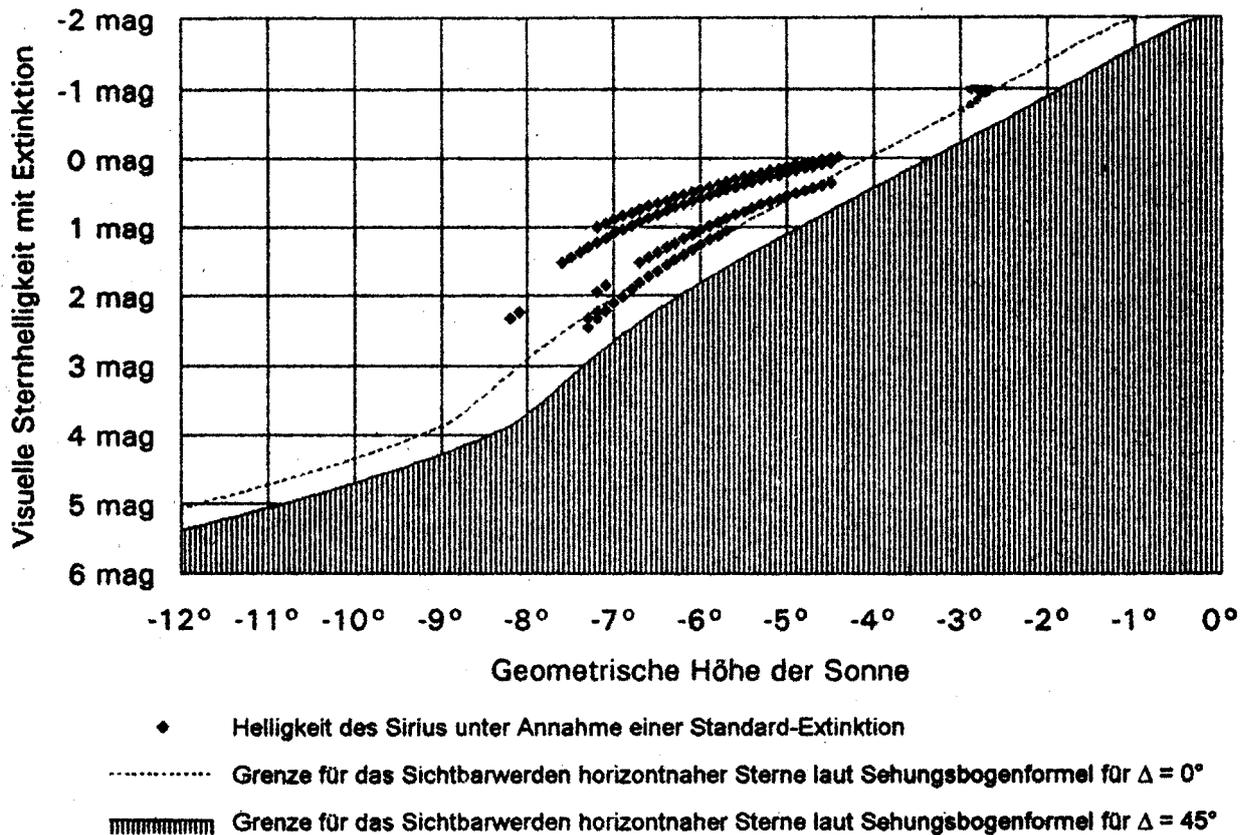
Beginnen wir mit der Auswertung der ägyptischen Siriusbeobachtungen von 1926:

Für den Zeitraum vom Beginn bis zum Ende jeder einzelnen Sirius-Sichtung wurde die scheinbare visuelle Helligkeit des Sirius mit Extinktion und die negative Höhe der Sonne in kurzen Zeitintervallen berechnet und im Diagramm 1 als dicke Punkte eingetragen (Berechnungsgrundlagen siehe Schlußkapitel).

Weiters sind im Diagramm die hypothetischen Grenzkurven für das Sichtbarwerden der horizontnahen Sterne eingetragen, die aus der Sehungsbogenformel abgeleitet sind¹.

¹ Für jede Sternhelligkeit (in $0,1^{\text{mag}}$ Stufen) wurde der heliakische Aufgang eines Sterns laut Sehungsbogentheorie simuliert und der Helligkeitsverlauf mit Extinktion ins Diagramm eingetragen. Es entstand eine Kurvenschar, deren Hüllkurve die Grenzkurve ergibt.

Diagramm 1: Beobachtungen des Sirius in Ägypten 1926



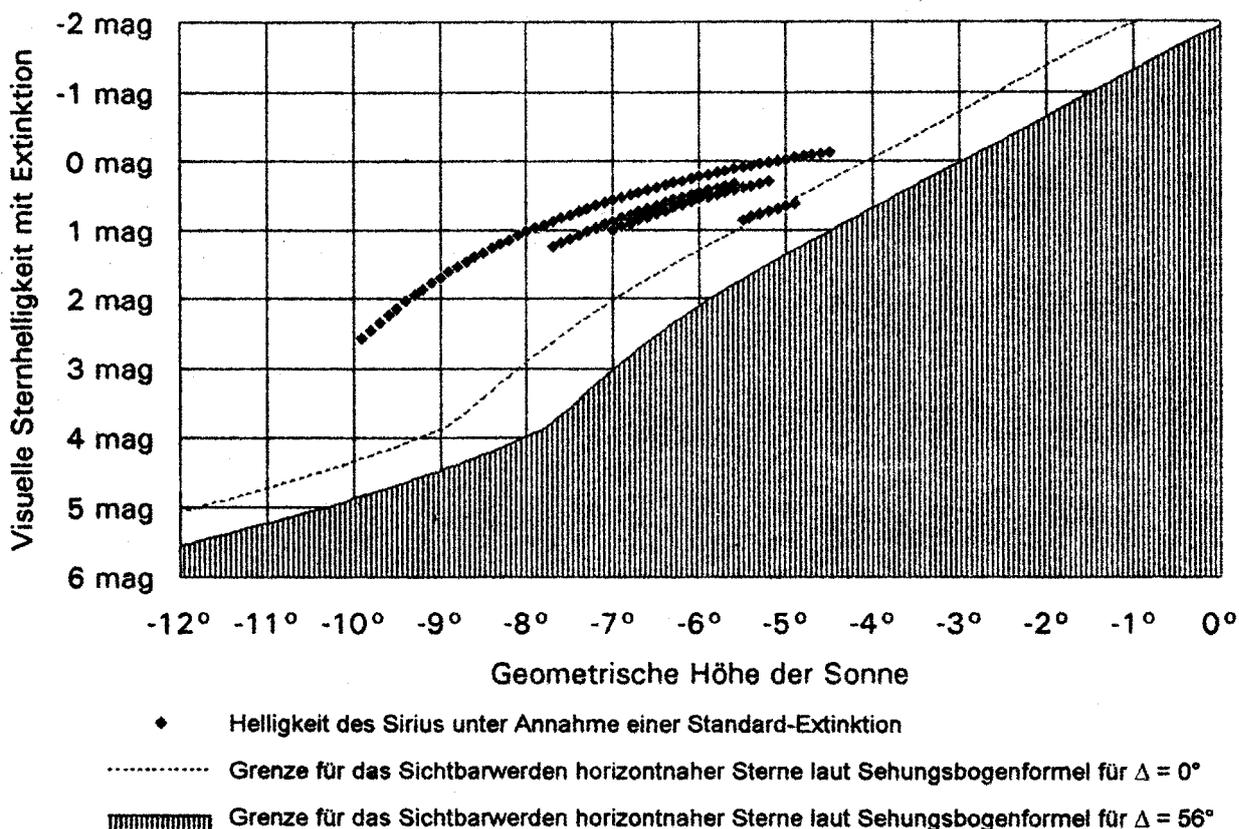
Wir sehen, daß im Diagramm die unterste Sirius-Beobachtung knapp an der Grenzlinie für $\Delta = 0^\circ$ verläuft. Das ist die Beobachtung von Borchardt am 1926-07-30, die mit $\beta = 8,7^\circ$ tatsächlich genau an dieser Grenze liegt. Am unteren Ende überlagert sie sich mit der Beobachtung von R.W. Callender am 1926-08-01 ($\beta = 8,8^\circ$).

Knapp darüber liegt ein kurzes Bahnstück von L.J. Sutton ($\beta = 9,1^\circ$), der nur den Anfang seiner Sichtung angab, und ein längeres Bahnstück von F.S. Richards ($\beta = 9,1^\circ$). Hier sieht man die Auswirkung eines etwas größeren Sehungsbogens auf die Sichtung: Die Bahn wölbt sich ein wenig höher über die Grenzkurve hinaus, sie endet aber ebenfalls an der gleichen Grenzkurve, sie bestätigt also diese Grenzkurve. Der Anfang des Bahnstücks ist abgeschnitten, weil Sirius durch die Kuppel der Mohammed Ali Moschee verdeckt war, hinter der er aufging.

Die noch höher oben liegenden Kurven sind zweifellos bei schlechteren Wetterverhältnissen erfolgt. Man sieht dies genau aus dem Vergleich der Angaben von F.S. Richards für seine beiden Beobachtungstage 1926-08-03 und 1926-08-04: Am ersten Tag sah er Sirius mit freiem Auge über der Kuppel der Moschee aufgehen, am zweiten Tag aber nur mit dem Fernglas, obwohl Sirius an diesem Tag hätte deutlicher sein müssen. Am zweiten Tag war die Extinktion also stärker. Die Rückrechnung mit Standard-Extinktion gibt dann natürlich ein falsches Bild und diese Beobachtungen können für die Überprüfung der Theorie nicht herangezogen werden.

Zusammenfassend kann man sagen, daß alle ägyptischen Beobachtungen bei gutem Wetter die Sehungsbogengrenze von $8,7^\circ$ für Sirius recht gut bestätigen.

Diagramm 2: Beobachtungen des Sirius in Mitteleuropa 1993



Das unterste Bahnstück stellt die Beobachtung von R. Krauss dar ($\beta = 8,9^\circ$), dem die grenznächste Sichtung gelang. Eine hervorragende Leistung!

Gleich darüber liegen mehrere Bahnstücke dicht beisammen. Es sind dies die Beobachtungen von L. Höfler, H. Mucke, P. Slowik und W. Vollman aus Wien und aus dem Burgenland, alle vom gleichen Tag, dem 1993-08-22. Alle Beobachter außer Hr. Slowik berichteten, daß Sirius nur blickweise oder mit Mühe sichtbar war. Hier war auch wieder das Wetter schuld: Nimmt man probeweise für die Extinktion einen etwas höheren Trübungskoeffizienten² an, so kippen die Bahnstücke bis zur strichlierten Grenzlinie hinunter. Wir kennen den Wettereinfluß allerdings nicht und müssen uns davor hüten, die Beobachtungen nach Lust und Laune so zu interpretieren, daß irgendein gewünschtes Ergebnis herauskommt.

Aus dieser Beobachtungsserie können wir aber etwas anderes herauslesen, und zwar eine Abschätzung über den Unsicherheitsfaktor Nr. 2, die Unterschiedlichkeit der Sehleistungen der Beobachter. Hier haben drei Beobachter unter annähernd gleichen Wetterbedingungen in Wien beobachtet, und ein vierter unter wahrscheinlich recht ähnlichen Bedingungen im Burgenland. Wenn wir nun die Bahnstücke der einzelnen Beobachter genau vergleichen, so sehen wir, daß sie trotz unterschiedlicher Bahnlänge, d. h. unterschiedlicher Sichtungsdauer, doch sehr eng beisammen liegen und die Abstände ihrer Bahn-Enden von der durchschnittlichen Mittellinie sehr gering sind. An den zwei eingezeichneten Grenzlinien für $\Delta = 0^\circ$ und $\Delta = 56^\circ$ wird deutlich, wieviel ein Unterschied von $1,1^\circ$ im Sehungsbogen ausmacht. Die Streuung der Beobachtergruppe liegt aber in einem viel engeren Bereich, innerhalb $\pm 0,2^\circ$.

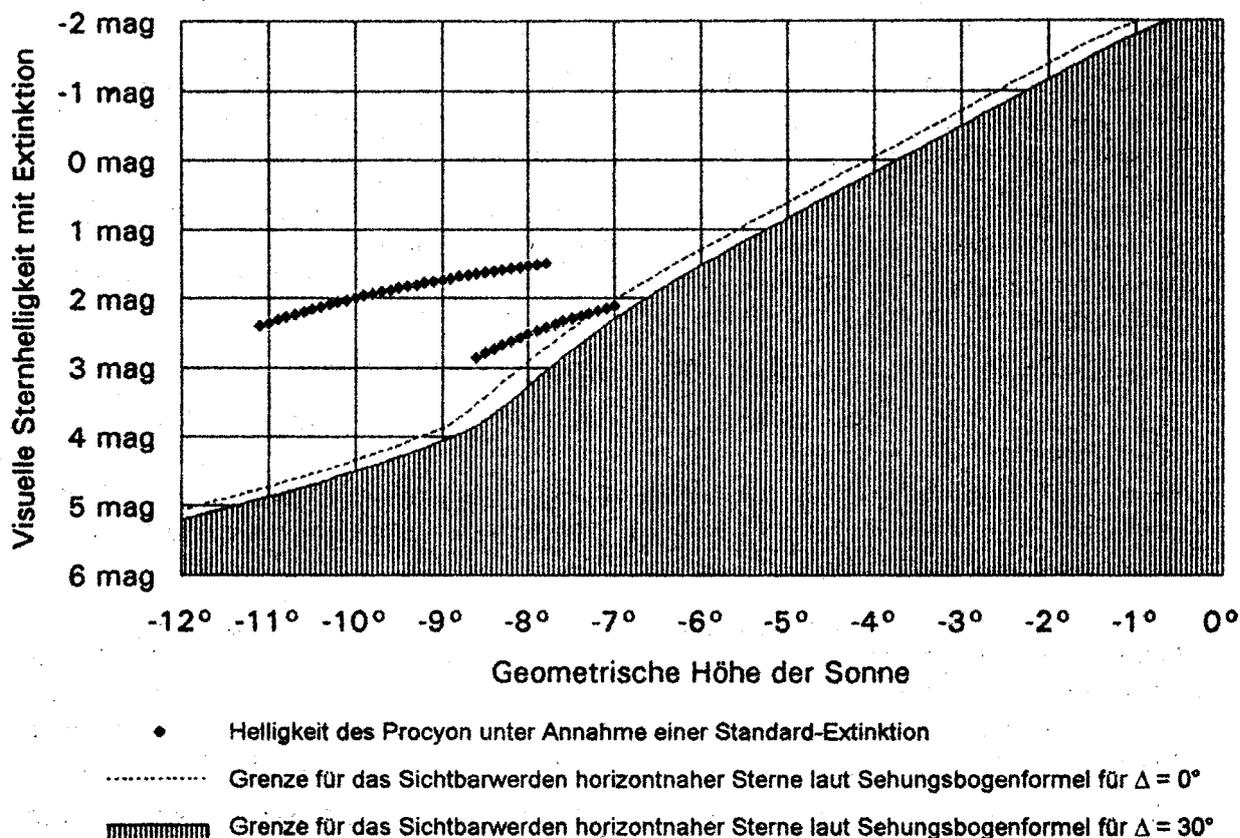
² Trübungskoeffizient $\beta = 0,07$ statt $\beta = 0,04$. Siehe Anhang: Berechnungsgrundlagen

10. Fortsetzung Referat: Zur Erfassung der Sichtbarkeitsperioden ekliptikferner Gestirne

Die oberste, lange Bahn stammt von Hr. Klaus Köpke in den Schweizer Bergen. Am Anfang der Bahn ging Sirius bereits hell über einer Bergkante auf. Die Beobachtung bricht am Ende ziemlich weit oberhalb der Grenzlinie ab. Entweder haben sich die Wetterverhältnisse während der Sichtung verschlechtert, oder der Beobachter hat dem letzten Teil seiner langen Sichtung keine so große Aufmerksamkeit mehr geschenkt.

Ohne Kommentar sei hier noch das Diagramm für die Procyon-Beobachtungen gegeben:

Diagramm 3: Beobachtungen des Procyon in Österreich 1993



Schlußfolgerungen

Sirius:

Für die Berechnung der heliakischen Aufgänge des Sirius ist die Methode der Sehungsbogenrechnung gut geeignet, wenn man den Sehungsbogen β nicht mit der Formel $\beta = \beta^* + k \cdot \cos \Delta$ ermittelt, sondern einen festen Betrag für β verwendet.

Die vorliegenden Beobachtungen zeigen in guter Übereinstimmung mit Neugebauer [Lit. 7], daß Sirius bei sehr klarem Wetter sowohl in Europa, als auch in Ägypten bei einem Sehungsbogen von $\beta = 8,85^\circ \pm 0,15^\circ$ sichtbar wird. Bei nur mäßig klarem Wetter ist der Sehungsbogen um mindestens 1° größer und die erste Morgensichtung verspätet sich um mindestens einen Tag.

Die in der Literatur [Lit. 7, 8, 13] übliche Annahme, daß der Sehungsbogen für den heliakischen Untergang noch um 1° zu verkleinern sei, wurde nicht untersucht, sie erscheint aber angesichts der Beobachtungsergebnisse nicht glaubwürdig.

11. Fortsetzung Referat: Zur Erfassung der Sichtbarkeitsperioden ekliptikferner Gestirne

Verallgemeinerung für alle Gestirne:

Die Unsicherheitsfaktoren der Sehungsbogenrechnung konnten nicht eliminiert werden, aber für ihre Auswirkungen können jetzt Fehlergrenzen angegeben werden:

1. Einfluß des Wetters: Der Sehungsbogen vergrößert sich bei schlechterem Wetter. Innerhalb eines Bereichs von "sehr klar" bis "klar mit etwas Horizontdunst" beträgt der Einfluß auf den Sehungsbogen $\pm 0^\circ$ bis $+1^\circ$ (im Sinne Beobachtung minus Rechnung).
2. Unterschiedliche Sehleistungen der Beobachter: Soweit man aus der kleinen Stichprobe von vier Beobachtern entnehmen kann, liegt dieser Einfluß auf den Sehungsbogen im Bereich von $\pm 0,2^\circ$.
3. Einfluß des Farbenindex der Gestirne: Die visuelle Extinktion ist bei roten Sternen schwächer als bei weißen, die Sehungsbogenrechnung berücksichtigt aber die Farbe der Sterne nicht. Dieser Einfluß konnte hier nicht untersucht werden.
4. Vernachlässigung des Unterschieds der vertikalen Aufgangsgeschwindigkeiten von Gestirn und Sonne: Der Einfluß kann sich als Fehler von typisch $\pm 1^\circ$ im Sehungsbogen auswirken. Im Beispiel von Procyon in Wien sind es $0,6^\circ$ bis $0,9^\circ$ und es lassen sich Beispiele finden, in denen der Fehler noch weit größer ist.
5. Zweifelhafte Berücksichtigung der Azimutdifferenz zwischen Gestirn und Sonne:

Die $\cos \Delta$ -Funktion wurde von Schoch willkürlich zur Bildung stetig verlaufender Zwischenwerte zwischen den heliakischen Aufgängen ($\Delta = 0^\circ$) und den akronychischen Aufgängen ($\Delta = 180^\circ$) gebildet [Lit. 6]. Das ist allerdings problematisch, weil sich diese beiden Phänomene in ihrer Natur grundsätzlich voneinander unterscheiden und es zwischen beiden in Wirklichkeit keine Übergänge gibt.

Tatsächlich ergaben die Beobachtungen des Sirius auch keine Bestätigung für das $\cos \Delta$ -Gesetz, obwohl im Prinzip durchaus eine Abhängigkeit des Sehungs bogens von Δ vorhanden sein muß. Der resultierende Fehler aus dem falschen $\cos \Delta$ -Glied im Sehungsbogen beträgt bei Sirius für die geographischen Breiten von Mitteleuropa in der Gegenwart $+1,2^\circ$ (im Sinne Beobachtung minus Rechnung laut [Lit. 1]).

Für die Vorausberechnung der Sichtbarkeitsperioden der Planeten im Österreichischen Himmelskalender ändert sich dadurch nichts, weil dort mit der Annahme $\Delta = 0^\circ$ für ekliptiknahe Objekte gerechnet wird.

Man muß einfach verstehen, daß die Sehungsbogenrechnung ein historisch gewachsenes Verfahren ist, das im ersten Drittel des 20. Jahrhunderts von Schoch und Neugebauer empirisch verbessert wurde, aber nicht auf physikalischen Gesetzen beruht.

12. Fortsetzung Referat: Zur Erfassung der Sichtbarkeitsperioden ekliptikferner Gestirne

Rechenverfahren für heliakische Auf- und Untergänge

Mit der folgenden Methode lassen sich die besprochenen Fehler Nr. 4 und 5 minimieren:

Man berechnet die geometrische Höhe der Sonne unter dem Horizont H_{\odot} für jenen Zeitpunkt, zu dem das Gestirn die berechnete Höhe $H_{*} \approx 3^{\circ}$ (ohne Refraktion) hat. Wenn der Betrag $\beta = H_{*} - H_{\odot}$ größer ist als β aus folgender Tabelle, dann gilt das Gestirn an diesem Tag als sichtbar.

Überprüfung der Zulässigkeit: Man überprüft, ob der absolute Betrag der Azimutdifferenz von Gestirn und Sonne $\Delta = |A_{*} - A_{\odot}|$ größer ist als 60° . Ist er größer, so ist das Ergebnis der obigen Berechnung zweifelhaft.

Sehungsbogen nach Schoch für heliakischen Aufgang und heliakischen Untergang, anwendbar im Bereich $|A_{*} - A_{\odot}| \leq 60^{\circ}$

m	β
mag	°
-4,0	5,0
-3,0	6,5
-2,0	8,0
-1,0	9,4
0,0	10,4
1,0	11,6
2,0	13,5
3,0	16,1
4,0	19,3

aus [Lit. 6], Wert für -4^{mag} extrapoliert

Ausblick

Für die moderne Kalenderrechnung und Computersimulation wäre es attraktiver, die Sichtbarkeitsbedingungen nach neuen, noch zu standardisierenden Festlegungen direkt aus dem Verhältnis von scheinbarer Sternhelligkeit und Himmelshelligkeit bzw. Sonnenhöhe zu rechnen.

Erste Grundlagen für ein solches Verfahren können aus dem vorhandenen Beobachtungsmaterial gewonnen werden. In Diagramm 4 sind die Beginn- und Endpunkte aller Sichtungen aus den Beobachtungsprogrammen von 1926, 1970-1972 und 1993 zusammengestellt. Diese Beobachtungen erfolgten alle in Horizontnähe und gleichzeitig Sonnennähe, also im hellsten Teil des Dämmerungshimmels. In Diagramm 5 sind zum Vergleich die Grenzen für das Sichtbarwerden der Sterne in Zenitnähe dargestellt, die von H. Smutek [Lit. 2] übernommen wurden.

Alle Gestirne des Himmels müssen bei sehr klarem Wetter irgendwo im Bereich zwischen diesen beiden Grenzen sichtbar werden. Es hat mich überrascht, daß dieser Streifen nur etwa 2^{mag} breit ist. Wenn man bereit ist, einen Fehler von $\pm 1^{\text{mag}}$ in Kauf zu nehmen, so läßt sich das Sichtbarwerden aller Sterne in der Dämmerung mit einer einzigen Geraden darstellen.

Um die Datenbasis zu vervollständigen, müßte noch durch Beobachtungen festgestellt werden, wann helle Objekte wie Sirius, Jupiter und Venus am Abendhimmel sichtbar werden. Solche Beobachtungen sind recht anspruchsvoll, sie erfordern eine mehrtägige Vorbereitung und Einübung, weil ein Beobachter ohne Orientierungshilfe die Objekte erst viel zu spät entdeckt, wenn sie schon deutlich sichtbar sind.

13. Fortsetzung Referat: Zur Erfassung der Sichtbarkeitsperioden ekliptikferner Gestirne

Diagramm 4: Das Sichtbarwerden horizontnaher, sonnennaher Gestirne in der Dämmerung

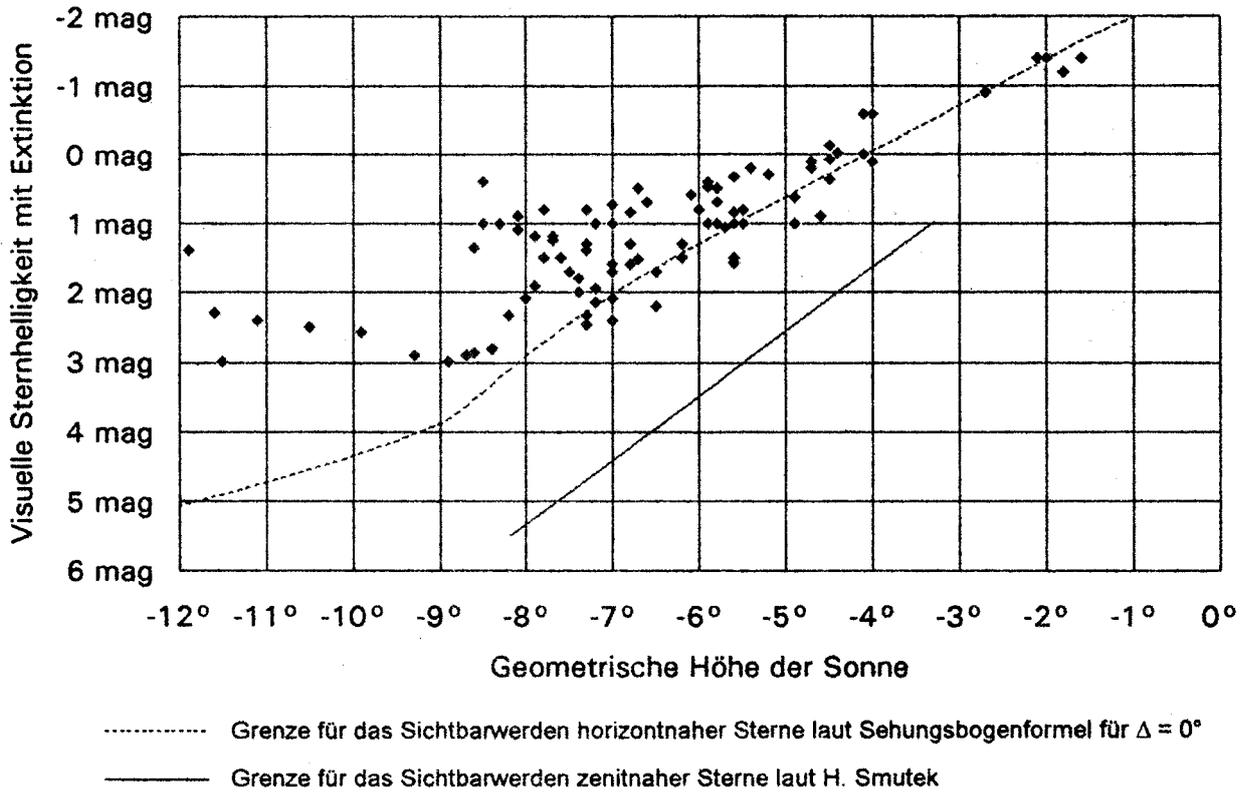
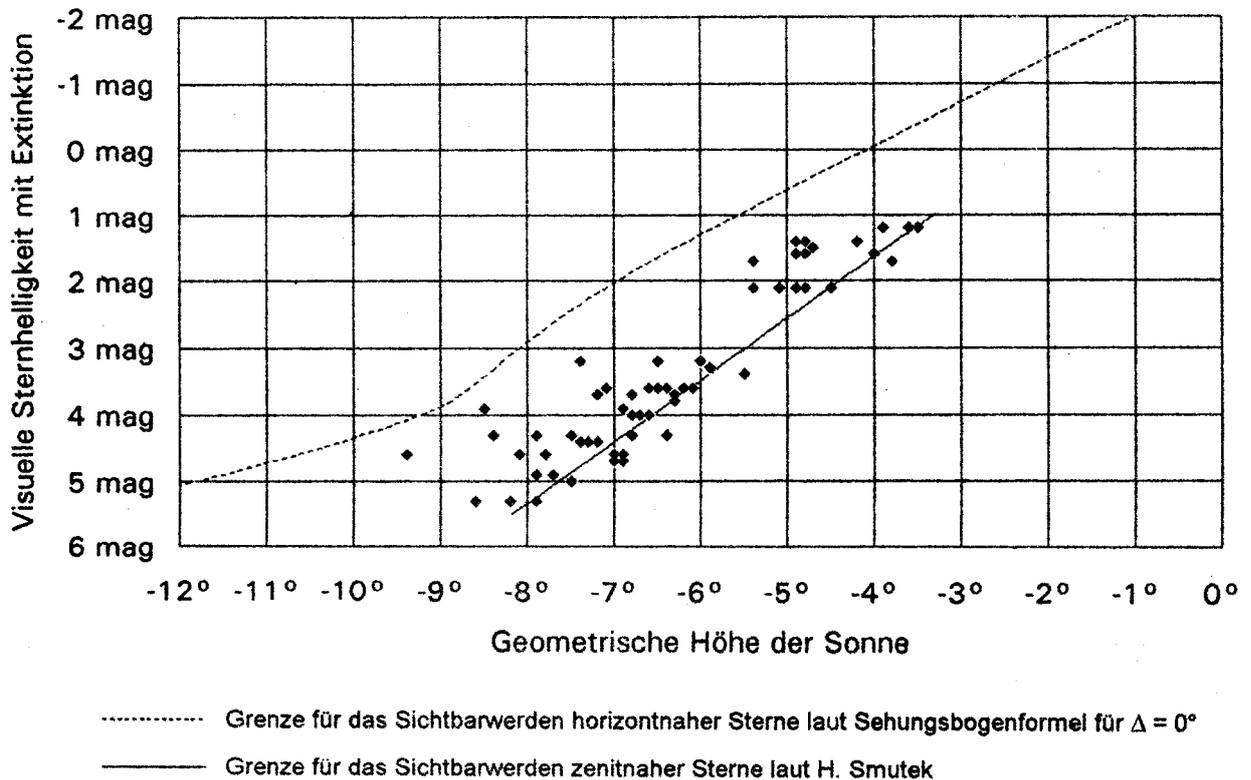


Diagramm 5: Das Sichtbarwerden zenitnaher Gestirne in der Dämmerung



14. Fortsetzung Referat: Zur Erfassung der Sichtbarkeitsperioden ekliptikferner Gestirne

Anhang: Berechnungsgrundlagen

Sehungsbogenrechnung:

Die Sehungsbogenrechnung ist in [Lit. 1] beschrieben. Für die Berechnung der horizontalen Koordinaten der Gestirne wurde das Programm Uraniastar V. 1.0 benützt. Da die Sehungsbogenrechnung ohne Refraktion durchzuführen ist, wurde in Uraniastar die automatische Korrektur für Refraktion ausgeschaltet.

Extinktion:

Die Berechnung der Extinktion für die Dämmerungsdiagramme erfolgte mit Computer-verwendbaren Näherungsformeln, aufbauend auf den Datengrundlagen vom Sternfreunde-Seminar 1992/93, p. 197 ff. [Lit. 3]. Für den Trübungskoeffizienten β (nicht zu verwechseln mit dem Sehungsbogen β) wurde als Standardwert 0,04 angenommen, was für sehr klare Verhältnisse gilt. Diese Annahme ergibt eine sehr gute Übereinstimmung mit der 1972 von mir [Lit. 5] verwendeten Extinktion nach Wirtz [Lit. 10].

Die visuelle Extinktion ist bei Vernachlässigung der Einflüsse von Luftdruck und Temperatur:

$$E = (0,099 + 1,086 \cdot \beta \cdot 0,55^{-1,3}) \cdot (M - 1) \quad [\text{Lit. 3}]$$

wobei für M statt der Tabelle [Lit. 3] folgende Näherungsformel verwendet wurde:

$$M = \frac{-1,0024 \cdot \tan H + \sqrt{(1,0024 \cdot \tan H)^2 + 0,00481152}}{0,0024 \cdot \cos H} + 3,9 \cdot \exp(-H)$$

Die Formel gilt im Bereich $0^\circ \leq H < 90^\circ$. Für H ist die geometrische Höhe ohne Refraktion in Grad einzusetzen.

Fehlergrenzen der Näherungsformel:

scheinb. Höhe H'	geom. Höhe H	Fehler:			
		E $\beta = 0,01$	E $\beta = 0,05$	E $\beta = 0,1$	M
0,5°	0,02°	mag (0,07)	mag (0,12)	mag (0,19)	% (1,8)
1,0°	0,60°	0,008	0,010	0,015	0,2
2,0° bis 89°	1,70° bis 89°	< 0,002	< 0,004	< 0,006	< 0,2
90°	90°	bei 90° ist die Formel nicht anwendbar			

Die Formel ist halb analytisch und halb empirisch gebildet. M ist die Länge des Sehstrahls in der Erdatmosphäre. Der erste Term der Formel für M ergibt die Länge des Sehstrahls in einer idealisierten Atmosphäre, wobei die Erdkugel durch ein Rotationsparaboloid angenähert ist. Die Zahl 0,0024 stellt das effektive Verhältnis der Dicke der Atmosphäre zum Erdradius dar, die Zahl 0,00481152 ergibt sich aus $2 \cdot 0,0024 \cdot 1,0024$. Der zweite Term $3,9 \cdot \exp(-H)$ ist ein empirisches Korrekturglied zur Berücksichtigung des Refraktionseinflusses.

Refraktion: $R = H' - H$

Die Refraktion (in Grad) ist bei Vernachlässigung der Einflüsse von Luftdruck und Temperatur als Funktion der scheinbaren Höhe H':

$$R = \frac{1}{60 \cdot \tan \left(H' + \frac{7,31}{H' + 4,4} \right)} \quad \text{gilt im Bereich } 0^\circ \leq H' \leq 90^\circ \text{ mit max. Fehler } 0,0013^\circ \text{ [Lit. 3]}$$

und als Funktion der geometrischen Höhe H:

$$R = \frac{1}{60 \cdot \tan \left(H + \frac{9,3}{H + 4,72} \right)} \quad \text{gilt im Bereich } -0,4^\circ \leq H \leq 90^\circ \text{ mit max. Fehler } 0,0017^\circ$$

Die zweite Formel ist von mir empirisch durch Variation der Koeffizienten aus der ersten Formel abgeleitet.

15. Fortsetzung Referat: Zur Erfassung der Sichtbarkeitsperioden ekliptikferner Gestirne

Literatur

- [1] Mucke, H.: Moderne Astronomische Phänomenologie, 20. Sternfreunde-Seminar 1992/93 im Wiener Planetarium. Referat "Sichtbarkeitsverhältnisse und Sonnenlauf" p. 221 ff. Astronomisches Büro, Wien.
- [2] Mucke, H.: Moderne Astronomische Phänomenologie, 20. Sternfreunde-Seminar 1992/93 im Wiener Planetarium. Referat H. Smutek: "Das freisichtige Erkennen zenitnaher Sterne in der Abenddämmerung" p. 209 ff. Astronomisches Büro, Wien.
- [3] Mucke, H.: Moderne Astronomische Phänomenologie, 20. Sternfreunde-Seminar 1992/93 im Wiener Planetarium. Referat "Refraktion und Extinktion" p. 197 ff. Astronomisches Büro, Wien.
- [4] Feitzinger, J.: Die Sichtbarkeit von Sternen und Planeten bei Tageslicht, in der Dämmerung und bei Beobachtungen aus tiefen Schächten. Sterne und Weltraum 1975/5.
- [5] Pachner, N.: Die Berechnung der Sichtbarkeitsperioden von Planeten und ekliptiknahen Sternen. Der Sternbote, Heft 8/1972. Astronomisches Büro, Wien.
- [6] Vierteljahresschrift der Astronomischen Gesellschaft, 73. Jahrgang, 1. Heft, 1938
- [7] Neugebauer, P.V.: Astronomische Chronologie. Walter de Gruyter & Co, Berlin und Leipzig, 1929 (Achtung, hier werden refraktionskorrigierte Tagbogen und daher auch andere Werte für die Sehungsbogen benützt)
- [8] Schoch, K.: Planeten-Tafeln für Jedermann. Linser-Verlag, Berlin-Pankow 1927.
- [9] Borchardt, L. und Neugebauer, P.V.: Beobachtungen des Frühaufgangs des Sirius in Ägypten im Jahre 1926. Orientalische Literaturzeitung 1927 Nr. 6, p. 441 ff. (diese Quelle verdanken wir C. Leitz, Köln/Lyon)
- [10] Henseling, R., Astronomisches Handbuch. Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, 1925.
- [11] Schoch, K.: The Arcus Visionis in the Babylonian Observations, Oxford 1924.
- [12] Widom, Th.: Zur Herkunft der Sterngrößen. Die Sterne, 31. Jahrgang, 1955, Heft 11/12. Johann Ambrosius Barth Verlag, Leipzig.
- [13] Baehr, U.: Tafeln zur Behandlung chronologischer Probleme. Veröffentlichungen des Astronomischen Rechen-Instituts zu Heidelberg Nr. 3, Verlag G. Braun, Karlsruhe, 1955

Dipl.-Ing. Norbert Pachner
Baumgartenstraße 23
A-1140 Wien

Gastvortrag: Altägyptische Sirius- und Monddaten aus dem 19. und 18. Jahrhundert vor Christi Geburt (Berliner Illahun-Archiv)

1. ZUR ERFORSCHUNG VON ILLAHUN. - Im Januar 1889 untersuchte der englische Archäologe Petrie den auf 29° 14' n. Br. und ca. 60 km südlich von Kairo gelegenen Pyramidenbezirk von Illahun (Abb. 1). Einige Funde mit Inschriften erlaubten es ihm, König Sesostris II. als Bauherrn zu identifizieren. Wie üblich bildete die Pyramide als Königsgrab den Mittelpunkt für eine Anzahl von Nebengräbern und etwa 1 km nördlich davon entdeckte Petrie die Überreste eines Taltempels, wie er in aller Regel als wichtigster Kultplatz zu einer Pyramide gehörte. Neben dem Tempel lagen auf einer Fläche von 350 x 400 m die Ruinen einer Siedlung, offensichtlich einer Pyramidenstadt. Solche Städte wurden üblicherweise eigens bei einer Pyramide gegründet; den Stadtbewohnern oblag der Totenkult für den in seiner Pyramide begrabenen König.

Im Wohnschutt der Pyramidenstadt fand Petrie zahlreiche Fragmente von Papyrusdokumenten, meistens Schriftstücke juristischen Inhalts. Schriftform der Papyri war das sogenannte Mittelhieratisch, eine kursive Form der hieroglyphischen Bilderschrift. Die Mehrzahl dieser Dokumente stammte aus der Zeit der Könige Sesostris III. und Amenemhet III., den unmittelbaren Nachfolgern des Stadtgründers Sesostris II. Zur Zeit dieser ersten Nachfolger blühte die Siedlung, aber ca. 80 Jahre nach dem Tod von Sesostris II. kam der Kultbetrieb zum Erliegen und die Einwohner zogen aus der Pyramidenstadt weg. Die Gründe dafür liegen wohl in den politischen Wirren, in denen damals die staatliche Einheit Altägyptens zugrunde ging.

2. AUFFINDUNG UND ERSTE AUSWERTUNG DER BERLINER ILLAHUN-PAPYRI. - 10 Jahre nach Petries Grabung tauchten Anfang 1899 im Kairener Antiquitätenhandel massenweise Papyri auf, die offensichtlich aus Funden Einheimischer in Illahun stammten. Das Berliner Ägyptische Museum war so glücklich, die meisten dieser Papyri ankaufen sowie im Juni 1899 in Illahun eine Grabung veranstalten zu können. Ludwig Borchardt, damals wissenschaftlicher Sachverständiger beim Deutschen Generalkonsulat in Ägypten, ging den Hinweisen der Anwohner nach und stellte fest, dass die neuen Papyri offensichtlich aus dem Abfallhaufen neben dem Taltempel stammten. Im Deutschen Reichs- und Preussischen Staatsanzeiger vom 9. 9. 1899 abends, war unter

1. Fortsetzung Referat: Altägyptische Sirius- und Monddaten

der Rubrik "Kunst und Wissenschaft" zu lesen: "Eine Sichtung des Papyrusfundes durch Herrn Dr. Borchardt hat ergeben, dass er die zusammengehörigen Papiere eines Tempels enthält: Briefe, Quittungen, Inventare ..., durch die wir ungeahnte Einblicke in die Verwaltung des Tempels erhalten. Aber wichtiger als dieses sind zwei Stücke, die uns erlauben, endlich die Chronologie der älteren ägyptischen Geschichte zu fixieren, denn gerade in dieser Hinsicht waren wir bisher übel daran".

Diese üble Befindlichkeit bestand darin, dass sich die Epoche der 12. Dynastie, zu der die Könige namens Sesostris und Amenemhet gehörten, nur abschätzen liess und die Schätzungen um 800 Jahre auseinander klafften. Aber Borchardt hatte in einem Fragment des Illahuner Tempeltagebuches eine astronomische Angabe gefunden, die geeignet zu sein schien, die chronologische Unsicherheit auszuräumen. In dieser Textstelle war von der Ankündigung des Frühaufgangs des Sirius [ä: Sothis] für den 8. Monat, Tag 16, im 7. Jahr Sesostris III. die Rede. Also erging folgende amtliche Mitteilung des Reichsanzeigers: "Nach einer Berechnung, die Herr Dr. Brix nach der von Oppolzer angegebenen Methode angestellt hat, sind es die Jahre 1876 bis 1873 v. Chr. gewesen, in denen der Frühaufgang des Sirius an dem angegebenen Tage des ägyptischen Kalenderjahres erfolgte; in diese Jahre fiel also das 7. Jahr Usertesen's [veraltet für Sesostris] III. und als Zeit der 12. Dynastie ergeben sich mithin die Jahre von 1996/93 bis 1783/80 vor Chr.; das Alter dieser Dynastie erweist sich also noch um etwa 150 Jahre niedriger als es nach der niedrigsten Schätzung ... angesetzt wurde".

Nach Erwerbung der Illahun-Papyri bestand im Berliner Ägyptischen Museum selbstverständlich die Absicht, dieses Archiv der Wissenschaft baldmöglichst durch eine Veröffentlichung zugänglich zu machen. Noch vor dem 1. Weltkrieg hat Eugène Dévaud, ein Fachmann für das Hieratische, an der Lesung und Übersetzung der Papyri gesessen. Seine Arbeit blieb unfertig liegen und im allgemeinen ist der Inhalt des Archivs nur in Form andeutender Zusammenfassungen und aus dem Kontext gerissener Einzelheiten bekannt geworden. Erst in den 70er Jahren fanden die im damaligen Ostberlin liegenden Papyri einen Bearbeiter in Ulrich Luft. 1992 ist die erste heftweise Lieferung von Lufts Publikation der im Archiv vorhande-

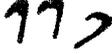
2. Fortsetzung Referat: Altägyptische Sirius- und Monddaten

nen Briefe erschienen; vier oder fünf weitere Lieferungen sind noch zu erwarten. Zwecks ihrer endgültigen Veröffentlichung ist bislang noch kein Bearbeiter auf die Fragmente des Tempeltagebuches angesetzt.

3. BORCHARDTS VERSUCHE DIE ASTRONOMISCHEN DATEN IM ILLAHUN-ARCHIV AUSZUWERTEN. - Unabhängig von Dévauds Arbeit suchte Borchardt - inzwischen Direktor des Kaiserlich-Deutschen Instituts für Ägyptische Altertumskunde in Kairo - in den Papyri weiter nach astronomischen Daten und fand zusätzlich zum Siriusdatum noch ca. 20 Monddaten aus den Regierungszeiten von Sesostris III. und Amenemhet III. Der Versuch, Mond- und Siriusdaten in Kombination absolut-chronologisch zu reduzieren, konnte zunächst nicht gelingen, weil die Ägyptologen bis 1923 davon ausgingen, dass der 1. Tag des altägyptischen Mondmonats auf Neulicht gefallen sei. 1923 trug Borchardt dem Orientalistentag seine neue Auffassung vor, dass der altägyptische Mondmonat nicht mit Neulicht, sondern am Tag nach Altlicht, also praktisch mit der Konjunktion begonnen habe. Borchardts These hat sich bestätigt und gilt heute, nach Absicherung durch den Ägyptologen Parker, als eine grundlegende Voraussetzung der altägyptischen Kalendarik.

Auch bei der Berechnung der Siriusdaten stellte sich eine Verbesserung ein. 1924 versuchte Borchardt ohne Erfolg eine Beobachtung des Sirius-Frühaufgangs in Ägypten. Erfolgreich waren Beobachtungen in den Jahren 1925 und 1926, an denen sich verschiedene, über ganz Ägypten verstreute Beobachter, beteiligten. Daraus errechnete Paul Viktor Neugebauer vom Astronomischen Recheninstitut in Berlin $8,7^{\circ}$ bis 9° als Sehungsbogen für Siriusfrühaufgänge in Ägypten, anstelle der bis dahin angenommenen Werte zwischen 11° und 12° nach Ptolemäus und Wislicenus. Auf der Grundlage dieser und anderer Verbesserungen reduzierte Neugebauer das Illahun-Siriusdatum bzw. das 7. Jahr Sesostris III. auf das Jahrviert von 1875 bis 1872 v. Chr. Im Anschluss daran publizierte Borchardt 1935 einen Versuch, die Monddaten des Illahun-Archivs an das Sirius-Datum zu koppeln. Aufgrund verschiedener Fehlerquellen konnte er zu keinem auch nur annähernd richtigen Ergebnis kommen. Seinem Erfolg stand im Weg, dass er aufgrund persönlicher Zerwürfnisse seit Frühjahr 1923 die Papyri nicht mehr einsehen durfte und daher fragliche

3. Fortsetzung Referat: Altägyptische Sirius- und Monddaten

Lesungen nicht kontrollieren konnte. Ein Beispiel für einen schweren Fehler bietet Borchardts Lesung des Monddatums in Papyrus Berlin 10248, wo es in einer Nachricht an den Tempelschreiber heisst: "Du sollst wissen, dass das Sandschieben-Fest stattfindet im Regierungsjahr 14 [Sesostris III.], 2. Monat, Tag 18, (am) 2. Tag des Mondmonats." Borchardt las die Tageszahl nicht wie richtig "18", sondern "24". Im hieratischen Text steht (von rechts nach links)  (10, 4, 4), was Borchardt als "24" lesen wollte; dabei berief er sich auf einen über eintausend Jahre jüngeren Beleg in dem "20" als  (10 + 10) geschrieben ist. Die falsche Lesung drängte sich ihm auf, weil er dieses Monddatum an eines der Jahre von 1868 bis 1865 v. Chr. als 14. Jahr Sesostris III. anknüpfen wollte. Möglich war die Koppelung nur bei Lesung der fraglichen Tageszahl als "24", denn in den Jahren 1868 bis 1865 v. Chr. fielen im 2. Kalendermonat die 2. Mondmonatstage auf folgende Kalendertage: 25, 14, 3, 22. Bei richtiger Lesung des Tagesdatums hätte Borchardt akzeptieren müssen, dass sich das Monddatum aus dem 14. Jahr Sesostris III. an keines der Jahre von 1868 bis 1865 v. Chr. koppeln lässt und mithin auch keines der über das Siriusdatum bestimmten Jahre 1875 bis 1872 v. Chr. als 1. Jahr Sesostris III. in Frage kommt.

An diesen Irrtum hängt Borchardt noch eine falsche Schlussfolgerung über die Regierungslänge Sesostris III. an. Dabei ging er vom Illahun-Papyrus Berlin 10006 aus, ein Dokument, das man nach der Schriftform und sonstigem Inhalt mit hinreichender Wahrscheinlichkeit Amenemhet III., als dem unmittelbaren Nachfolger von Sesostris III., zuweisen durfte. In diesem Papyrus sind im Regierungsjahr 32 [Amenemhets III.] im 3. Monat, Tag 7, die Opfergaben für einen 2. Mondmonatstag verbucht, der nach heutiger Kenntnis nicht notwendig mit dem Buchungstag identisch ist, sondern entsprechend dem sonst im Illahun-Archiv zu beobachtenden Usus, wahrscheinlich 1 oder 2 Tage später liegt. Offensichtlich müssen zwischen den beiden 2. Mondmonatstagen aus 14 S III und 32 A III ganzzahlige Vielfache von Mondmonaten liegen. Weil Borchardt zusammen mit den Ägyptologen seiner Tage fälschlich annahm, es gebe einen Beleg für das 33. Regierungsjahr Sesostris III., so musste er das 32. Jahr von Amenemhet III mindestens in einer Distanz von (19 + 32) Jahren vom 14. Jahr Sesostris III. ansetzen. Nach dieser Annahme

4. Fortsetzung Referat: Altägyptische Sirius- und Monddaten

liegen aber zwischen den als 2. MMT angenommenen Daten keine n vollen Mondmonate. Um dies zu erreichen muss man die Distanz vergrössern, also mehr als 33 Regierungsjahre von S III annehmen. Erst bei Annahme einer 39jährigen Regierung von S III kommt die gesuchte Beziehung zustande und die entsprechende Differenz der Daten aus 14 S III und 32 A III lässt sich wie folgt schreiben:

	(31 + 25) Jahre	+	2 Monate	+	7 Tage
minus	13 Jahre	+	1 Monat	+	24 Tage
	43 Jahre	+	1 Monat	-	17 Tage

Die Differenz von 15708 Tagen (ägyptische Jahre haben stets 365 Tage, ein Schalttag fehlt) entspricht zwar nur 531.92 mittleren Mondmonaten. Aber die zu 532 mittleren Mondmonaten fehlenden 2 Tage haben Borchardt nicht gestört, da er in der altägyptischen Kalenderpraxis eine Mischung zwischen Beobachtung und - wie er es nannte - Taxat sehen wollte. Mithin hätte Sesostris III. nach Borchardts Auswertung der Monddaten 39 Jahre regiert.

4. PARKERS VERSUCH EINER CHRONOLOGISCHEN AUSWERTUNG DER ILLAHUN-PAPYRI. - Auch die 1950 erschienene epochale Arbeit von Richard Parker über die ägyptischen Kalender, in der ein Exkurs dem Illahun-Archiv gewidmet ist, konnte das chronologische Problem der Illahun-Daten nicht entwirren. Parker war dadurch gehandicapt, dass er sich auf die Angaben Borchardts verlassen musste, ohne die Illahun-Papyri selbst als Quelle befragen zu können. Die Papyri waren seit 1939 nicht mehr zugänglich und lagen vor Bomben sicher im Flak- und Luftschutzbunker am Berliner Zoo; 1945 kamen sie in die ehemalige Sowjetunion und kehrten erst 1958 ins damalige Ostberlin zurück. Auf der Grundlage dessen, was Borchardt als seine Lesungen in den Papyri mitgeteilt hatte, musste Parker zu ganz ähnlichen Ergebnissen wie Borchardt selbst kommen, wenn er auch eher eine 36jährige, statt 39jährige Regierung Sesostris III. für richtig hielt. Bis in die 80er Jahre galten die von Parker für die 12. Dynastie errechneten Jahreszahlen in der Archäologie als astronomisch gesichert. Allerdings wies der Ägyptologe Simpson schon 1972 darauf hin, dass abgesehen von Borchardts und Parkers Interpretationen der im Illahun-Archiv vorhandenen astronomischen Daten, aus dem sonstigen archäologischen Material für S III nur 19

5. Fortsetzung Reeperat: Altägyptische Sirius- und Monddaten

Regierungsjahre nachzuweisen sind. Gegen die damals unüberwindliche Autorität von Parker wagte Simpson einen nur sehr kleinmütig formulierten Widerspruch und ich muss gestehen, dass ich selbst zunächst versucht habe den Borchardt-Parkerschen Ansatz gegenüber der Simpsonschen Ketzerei zu verteidigen.

5. FORTSCHRITTE UM 1980. - Bereits die erste Berechnung des im Illahun-Archiv enthaltenen Siriusdatums hat ungelöst gebliebene methodische Fragen aufgeworfen. Wie in der Einleitung beschrieben, führte der von Borchardt um Hilfe gefragte Astronom Brix die erste Berechnung des Illahun-Siriusdatums aus. Brix stützte sich dabei auf eine 1884 erschienene Arbeit des Wiener Astronomen Oppolzer. Bei Oppolzer waren mindestens zwei Voraussetzungen historischer Art offen geblieben und die daran anknüpfenden Fragen sind bis heute nicht vollständig und einhellig beantwortet: 1) wurden die aus Altägypten überlieferten Siriusaufgänge jeweils zeitgenössisch beobachtet oder im Anschluss an eine anfängliche Beobachtungsserie schematisch gesetzt? 2) war die Stadt Memphis (s. Abb. 1) zu allen Zeiten der altägyptischen Geschichte der Beobachtungs- bzw. Bezugsort für die Aufgänge des Sirius oder gab es auch andere Bezugsorte?

Abgesehen von diesen Fragen sind die kalendarischen Grundlagen, auf die man sich bei der Berechnung der ägyptischen Siriusfrühaufgänge stützt, völlig klar. Das altägyptische Kalenderjahr besteht aus 365 Tagen zu 12 Monaten à 30 Tagen sowie 5 Zusatztagen. Dieses Jahr kennt keine Schaltung und verschiebt sich mithin alle 4 Jahre um 1 Tag gegen das Sonnenjahr. Das Verhältnis zwischen dem in der heutigen Astronomie benutzten julianischen und dem altägyptischen 365tägigen Kalender ist durch Doppeldatierungen, vor allem aus den Schriften von Ptolemäus, eindeutig festgelegt. Für jedes ägyptische Tagesdatum in jedem beliebigen Jahr lässt sich das julianische Äquivalent angeben. Das einzige stellare Ereignis im altägyptischen Kalender war der Frühaufgang des Sirius. Im 365tägigen ägyptischen Kalender lag der Sirius-Frühaufgang in aller Regel 4 Jahre lang auf ein und demselben Tag und verschob sich dann, mangels eines Schalttages, im nächsten Jahrviert um 1 Tag; in schematisch gerechnet 1460 julianischen Jahren durchwanderte der Siriestag mithin einmal vollständig das ägyptische Kalender-

6. Fortsetzung Referat: Altägyptische Sirius- und Monddaten

Jahr. Aus griechisch-römischer Zeit ist für die Jahre 139 bis 142 n. Chr. ein Zusammenfall des Siriusfrühaufgang mit dem ersten ägyptischen Kalendertag überliefert. Es ist klar, dass der absolut-chronologische Zeitpunkt eines aus älteren Epochen überlieferten Siriusdatums prinzipiell durch einfache Multiplikation der Tageszahl mit 4 und Subtraktion dieser Grösse von 139/142 n. Chr. auf ein Jahrviert genau bestimmt werden könnte, falls für das ältere Datum auch sonst die gleichen Bedingungen gelten wie für das Ausgangsdatum. Aus den ca. 3000 Jahren in denen nach dem altägyptischen Kalender datiert wurde, sind lediglich 6 brauchbare Siriusdaten überliefert und davon stammen nur zwei aus der älteren Zeit, über die wir in erster Linie chronologisch unterrichtet sein möchten. Bei diesen zwei Daten handelt es sich einmal um das Illahun-Datum selbst und dann um das über 300 Jahre jüngere Datum im sog. Papyrus Ebers, das sich auf das 9. Jahr von König Amenhotep I. bezieht.

Generationenlang haben die Ägyptologen in einfachster Weise ein Jahrviert um 1547 v. Chr. als 9. Jahr von Amenhotep I. bestimmt. Historisch war klar, dass Amenhotep I. in einem Siriuszyklus vor dem 139 n. Chr. zu Ende gehenden Zyklus regiert hatte. Da das Siriusdatum Amenhoteps I. den 11. Monat, Tag 9 nannte, fiel der Siriusaufgang im damals laufenden Siriuszyklus noch auf 56 verschiedene Tage bzw. dauerte es 56×4 Jahre = 224 Jahre bis der Zyklus zu Ende war. Also subtrahierte man 138/139 n. Chr. - 1460 - 224 und erhielt 1547 v. Chr. als eines von vier Jahren in die das 9. Jahr von Amenhotep I. fallen musste. Dabei setzte man es als selbstverständlich voraus, dass auch im 16. Jh. v. Chr. der Bezugsort der kalendarischen Siriusaufgänge die Stadt Memphis in Unterägypten war, so wie es für die griechisch-römische Zeit und den Ausgangspunkt der Rechnung ausdrücklich feststand. Amenhotep I. hängt aber mit den auf ihn folgenden Königen des sog. Neuen Reiches relativchronologisch zusammen und als man in der Ägyptologie gewisse Könige des 14. und 13. Jh. v. Chr. wegen ihrer synchronistischen Beziehungen zu babylonischen und assyrischen Königen um Jahrzehnte später ansetzen musste als bislang, da implizierte dies auch einen späteren Ansatz für das Ebers-Datum. In den 60er Jahren hat der Ägyptologe Erik Hornung dafür argumentiert, dass im Neuen Reich Memphis noch nicht oder nicht mehr der

7. Fortsetzung Referat: Altägyptische Sirius- und Monddaten

Bezugsort für die Siriusbeobachtungen war, sondern die damalige Hauptstadt Theben (s. Abb. 1). Theben liegt fast 5 Breitengrade südlicher als Memphis und diese Differenz bedeutet, dass der Siriusfrühaufgang 5 Tage früher sichtbar wird und folglich das Ebers-Datum 20 Jahre früher anzusetzen ist als bei Bezug auf Memphis.

In den 70er Jahren stellte sich des weiteren heraus, dass die Chronologie des Neuen Reiches um weitere ca. 10 - 15 Jahre niedriger anzusetzen ist als früher angenommen. Die einzige Möglichkeit diese niedrige Chronologie mit dem Ebersdatum zu vereinbaren, liegt in der Annahme eines noch südlicher als Theben gelegenen Bezugsortes. Dabei bietet sich die Südgrenze Ägyptens am 1. Katarakt unter 24° n. Breite (Insel Elephantine) als Bezugsort der Siriusaufgänge von selbst an. Die Südgrenze war für die alten Ägypter der geographische Anfang des Landes; Siriusfrühaufgänge waren hier zuerst zu beobachten und an allen anderen Orten Ägyptens später (s. Abb. 1). Nach mythologischer Auffassung führte der Sirius bei seinem Frühaufgang die Nilüberschwemmung aus den Nilquellen herbei, die man sich als im 1. Katarakt gelegen dachte. Die Messung der Überschwemmungshöhe am 1. Katarakt war von besonderer Bedeutung für das ganze Land.

Aber auch wenn man von der ägyptischen Südgrenze als Bezugsort des Ebersdatums ausgeht, kommt das 9. Jahr von Amenhotep I. nur auf ca. 1514 bis 1511 v. Chr. zu liegen, was immer noch zu hoch ist, da andere Hinweise auf 1506 v. Chr. als Entsprechung für das 9. Jahr deuten. Diesen Rest kann man nicht durch eine weitere Bezugsortsverlegung nach Süden beseitigen, da ein Bezugsort ausserhalb der ägyptischen Grenze nicht sinnvoll ist. Die restliche Differenz verschwindet, wenn man hypothetisch annimmt, dass der im Eberspapyrus vermerkte Frühaufgang des Sirius sich nicht auf eine im 9. Jahr Amenhoteps I. an der Südgrenze gemachte Beobachtung bezieht, sondern ein schematisches Datum darstellt. Weil das Siriusjahr nicht genau 365.25 Tage lang ist, sondern etwas länger, kommt es im Laufe einer vollständigen Verschiebung des Siriusfrühaufgangs gegen das 365tägige ägyptische Jahr vor, dass der Frühaufgang nur drei und nicht vier Jahre hintereinander auf den gleichen Tag fällt. Zwischen ca. 2800 und 1300 v. Chr. war dies ca.

8. Fortsetzung Referat: Altägyptische Sirius- und Monddaten

viermal der Fall. Der tatsächlich beobachtete Siriusfrühaufgang hätte also im ägyptischen Kalender rascher ein spätes Datum erreicht als es bei schematischer vierjähriger Verschiebung des Frühaufgangs der Fall gewesen wäre. Die zur Zeit am besten zu begründende Chronologie des Neuen Reiches lässt sich nur mit dem Ebersdatum vereinbaren, wenn dieses als schematisches und auf die ägyptische Südgrenze bezogenes Datum verstanden wird.

Wenn man auf der Grundlage des Forschungsstandes zum Ebersdatum das Illahun-Siriusdatum interpretiert, dann sollte dieses spätestens auf ca. 1830 fallen - und zwar bei schematischem Kalender und Bezugsort an der Südgrenze - frühestens aber auf ca. 1881 bei nicht-schematischem Kalender und Bezugsort an der Nordgrenze. Auf alle Fälle sollte innerhalb dieses Intervalls ein Lösungsansatz für die Monddaten der Illahun-Papyri zu finden sein. Diese Konsequenzen waren mir vor etwa 15 Jahren klar, aber ich sagte mir damals auch, dass noch vor der astronomischen Berechnung der Monddaten es ratsam wäre, Borchardts Lesungen der Monddaten in den Papyri zu überprüfen. Über persönliche Beziehungen erhielt ich Zugang zu den im damaligen Ostberlin liegenden Illahun-Papyri. Sehr bald stellte sich heraus, dass Borchardt das Monddatum aus dem 14. Jahr Sesostri III. falsch gelesen hatte. Ferner zeigte sich, dass seine Aufteilung der anderen Monddaten auf Sesostri III. und Amenemhet III. im allgemeinen falsch war und dass die evident richtige Aufteilung auf eine 19jährige Regierung Sesostri III. führte, also auf die von archäologischer Seite geforderte Regierungslänge. Auf diesen Punkt gehe ich hier nicht weiter ein, weil das Ergebnis inzwischen von anderer Seite nachgeprüft wurde und auf allseitige Zustimmung gestossen ist.

Bei der Berechnung der Monddaten stützte ich mich vor 15 Jahren auf Paul Viktor Neugebauers Astronomische Chronologie von 1929, die auch schon Borchardt als zu seiner Zeit hochmodernes Werk benutzt hat. Für die in Frage kommende Epoche berechnete ich sämtliche Altlichtdaten im julianischen Kalender, konvertierte diese Daten bzw. die darauf folgenden Tage in ägyptische Kalenderdaten und verfügte auf diese Weise über eine vollständige Liste aller alt-ägyptischen Mondmonatsanfänge zwischen 1900 und 1700 v. Chr. In dieser Liste suchte ich nach Daten, die den in den Illa-

9. Fortsetzung Referat: Altägyptische Sirius- und Monddaten

hun-Papyri überlieferten 20 Monddaten zwischen dem 9. Jahr Sesostris III. und dem 32. Jahr Amenemhets III. entsprachen und zwar unter der Voraussetzung, dass der aus dem 7. Jahr Sesostris III. überlieferte Siriusfrühaufgang zwischen 1881 und 1830 v. Chr. liegt. Es ergaben sich für die 20 Monddaten gruppenweise drei mögliche Ansätze in den erwarteten Abständen von 25 ägyptischen Jahren. Denn innerhalb von 25 ägyptischen Jahren haben gleiche Mondphasen, wie zum Beispiel Konjunktion, die ausgesprochene Tendenz auf den gleichen Kalendertag zu fallen. Dies erklärt sich daraus, dass 25 ägyptische Jahre von je 365 Tagen fast genau 309 mittleren Mondmonaten entsprechen. Die drei nach P. V. Neugebauer berechneten möglichen Ansätze unterscheiden sich durch die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen überlieferten und berechneten Monddaten. Es war klar, dass der Satz mit den meisten Übereinstimmungen als historisch korrekt betrachtet werden sollte. Eine 100%ige Übereinstimmung war nicht zu erwarten, da aus der altbabylonischen Astronomie bekannt ist, dass höchstens 85% der als beobachtet überlieferten Monddaten zur modernen Berechnung stimmen. Auch in einem Satz von 20 altägyptischen Monddaten ist mithin mit zwei oder drei Fehlbeobachtungen der Ägypter selbst zu rechnen.

Die meisten - nämlich 14 von 20 - Übereinstimmungen zwischen überlieferten und berechneten Daten bot jener Ansatz, in dem 7 S III dem Jahr 1830 v. Chr. entspricht. Der 25 Jahre frühere Ansatz, in dem 7 S III = 1855 v. Chr. entspricht, ergab nur 10 Übereinstimmungen, während der Ansatz mit 7 S III = 1880 v. Chr. wegen seiner nur 8 Übereinstimmungen nicht als historisch möglich in Betracht kam. Nach diesem Ergebnis wäre das Illahun-Siriusdatum mit einiger Wahrscheinlichkeit in das Jahr 1830 v. Chr. gefallen. Das Ergebnis liess es offen, ob dieses Siriusdatum schematisch angesetzt und auf die Südgrenze bezogen war.

6. NEUESTE ARBEITEN ZUR CHRONOLOGIE DES ILLAHUN-ARCHIVS. - In der jüngsten Zeit hat sich die Ausgangslage sowohl in astronomischer als auch in philologischer Hinsicht verändert. Philologisch ist dadurch eine neue Situation entstanden, dass Ulrich Luft 1992 alle Textstellen der Illahun-Papyri mit astronomischen Daten veröffentlicht hat. Vor allem förderte diese Publikation das Verständnis des Textes in dem das Siriusdatum steht. Dieses Datum ist im Tem-

10. Fortsetzung Referat: Altägyptische Sirius- und Monddaten

peltagebuch in der Abschrift eines Briefes enthalten, in dem der Siriusaufgang mindestens 22 Tage vor seinem Eintritt angekündigt wurde. Nach Lufts eingehender philologischer Analyse enthält die Abschrift grammatische und syntaktische Fehler, die sich als Kopistenfehler erklären lassen. Hat der Abschreiber solche Textfehler gemacht, dann können wir ihm auch - so meine ich - eine falsche Kopie des Datums zutrauen. Für einen solchen Fehler spricht die Tatsache, dass das in der Abschrift erhaltene Datum für den Siriusaufgang zwar auf 8. Monat, Tag 16, Jahr 7 S III, lautet, im Tagebuch aber die Opfer für das Fest des Siriusaufgangs erst im 8. Monat, Tag 17 in 7 S III angeliefert wurden. Üblicherweise erfolgten im Tempel von Illahun Opferlieferungen 1 Tag, gelegentlich auch 2 Tage, vor einem Fest. Nach dem Lieferdatum würde man in diesem Fall erwarten, dass hier der Siriusaufgang noch nicht im 8. Monat, Tag 17, sondern erst im 8. Monat, Tag 18 stattfand, eventuell noch im 8. Monat, Tag 19. Die Verlesung von hieratisch "18", geschrieben  (10, 4, 4), in "16"  (10, 3, 3), ist möglich. Dagegen ist die Verlesung einer hieratischen "19"  (10, 3, 3, 3) in "16" paläographisch unwahrscheinlich, weil "19" von "16" zu sehr verschieden ist.

Unter dieser Voraussetzung über den Tag des Siriusaufgangs im 7. Jahr Sesostris III., ergeben sich die Jahre zwischen 1873 und 1826 v. Chr. als absolut-chronologisches Intervall für dieses Datum. Von den bisher möglichen drei Ansätzen für die Monddaten kommen nur noch zwei Ansätze in Frage, weil der an 1880 v. Chr. anknüpfende Ansatz jetzt ausserhalb des möglichen Intervalls liegt. Eine gewisse Unsicherheit bestand allerdings hinsichtlich der astronomischen Berechnung der Siriusdaten. Man hatte bisher die Wahl zwischen der Berechnung der Frühaufgänge des Sirius nach P. V. Neugebauer oder Carl Schoch; ich habe mich nach Neugebauer gerichtet, weil seine Berechnungen auf den in den 20er Jahren in Ägypten gemachten Beobachtungen von Siriusfrühaufgängen beruhten. Nach den Ihnen bekannten Ergebnissen der Bearbeitung der Theorie der ekliptikfernen heliakischen Auf- und Untergänge durch Herrn Dipl.-Ing. Pachner sind die nach Neugebauer gerechneten Werte richtig.

Bei der philologischen Quelleninterpretation ist noch eine Ände-

11. Fortsetzung Referat: Altägyptische Sirius- und Monddaten

zung zu berücksichtigen, die aus einem 1992 vorgelegten Ergebnis von Luft folgt und sich auf die mondmonatliche Abrechnungsweise in Illahun bezieht. Im Illahun-Papyrus Berlin 10056 ist eine Abrechnung erhalten, die über 6 alternierende Mondmonate läuft. Die Abrechnungsintervalle sind nach folgendem Beispiel notiert:

10. Monat, Tag 26 bis 11. Monat, Tag 25

Seit Borchardt haben die Ägyptologen herumgerätselt, wie in dieser Abrechnung die einleitenden und abschliessenden Daten zu interpretieren sind. Bei jeder bisherigen Interpretation führte die Datenreihe an einer Stelle auf einen astronomisch unmöglichen 31tägigen Mondmonat. Luft hat aus einigen Indizien geschlossen, dass die einleitenden Daten 2. Mondmonatstage darstellen und das abschliessende Datum einen 1. Mondmonatstag. Es ist bisher nicht klar, welcher administrative Sinn sich hinter dieser Abrechnungsweise verbirgt. Jedenfalls findet Lufts Interpretation eine Bestätigung in den Monddaten, wenn man sie mit dem in Wien entwickelten Rechenprogramm Uraniastar berechnet, nicht aber wenn man von P. V. Neugebauers Astronomischer Chronologie von 1929 ausgeht.

Lassen Sie uns jetzt die mit Uraniastar berechneten Monddaten mit den im Illahun-Archiv überlieferten Monddaten tabellarisch vergleichen. Es kommen zwei Ansätze in Frage, hier A und B genannt. In A sind die Monddaten an 1855 v. Chr. als zu testende Möglichkeit für das 7. Jahr Sesostris III. gekoppelt, in B dagegen an 1830 v. Chr. als andere zu testende Möglichkeit für das 7. Jahr Sesostris III.

Ansatz A: 7. Jahr Sesostris III. = 1855 v. Chr.

überliefert		berechnet		Diff überl - ber	
-1852, Juni	5 oder 6	:	Juni	5	0 oder 1
-1847, Januar	13	:	Januar	13	0
-1843, August	24	:	August	24	0

12. Fortsetzung Referat: Altägyptische Sirius- und Monddaten

-1839, Oktober	8	:	Oktober	8	0
-1834, März	20	:	März	20	0
-1833, September	3	:	September	2	1
-1813, Juli	24	:	Juli	24	0
-1812, September	11*	:	September	11*	0
-1812, Oktober	9	:	Oktober	9	0
-1812, November	8*	:	November	9*	-1
-1812, Dezember	7	:	Dezember	7	0
-1811, Januar	7*	:	Januar	6*	1
-1811, Februar	5	:	Februar	4	1
-1811, März	7*	:	März	6*	1
-1811, April	5	:	April	4	1
-1811, Mai	5*	:	Mai	5*	0
-1811, Juni	3	:	Juni	3	0
-1811, Juli	3*	:	Juli	4*	-1
-1811, August	1	:	August	1	0
-1811, Dezember	27*	:	Dezember	27*	0
-1810, Januar	25	:	Januar	24	1

Ansatz B: Jahr 7. Sesostris III. = 1830 v. Chr.

Überliefert		:	berechnet		Diff Überl - ber
-1827, Mai	30 oder 31	:	Mai	30	0 oder 1
-1822, Januar	7	:	Januar	8	-1
-1818, August	18	:	August	18	0
-1814, Oktober	2	:	Oktober	2	0

13. Fortsetzung Referat: Altägyptische Sirius- und Monddaten

-1809, März	14	:	März	14	0
-1808, August	27	:	August	27	0
-1788, Juli	17	:	Juli	17	0
-1787, September	4*	:	September	4*	0
-1787, Oktober	3	:	Oktober	3	0
-1787, November	2*	:	November	2*	0
-1787, Dezember	1	:	Dezember	1	0
-1786, Januar	1*	:	Januar	1*	0
-1786, Januar	30	:	Januar	30	0
-1786, März	1*	:	März	1*	0
-1786, März	30	:	März	30	0
-1786, April	29*	:	April	30*	-1
-1786, Mai	28	:	Mai	28	0
-1786, Juni	27*	:	Juni	27*	0
-1786, Juli	26	:	Juli	26	0
-1786, Dezember	21*	:	Dezember	21*	0
-1785, Januar	19	:	Januar	19	0

Beide Ansätze haben einen Schönheitsfehler, insofern im Fall des ersten Datums aus den Quellen nicht klar wird, welcher von zwei möglichen Tagen als 1. Mondmonatstag gemeint ist. Dementsprechend liefert der Vergleich in diesem Fall entweder eine Übereinstimmung zwischen überliefertem und berechnetem Monddatum oder eine Differenz von 1 Tag. Bei den folgenden sechs Daten handelt es sich um einzeln überlieferte Mondmonatstage. Mit einer Ausnahme stimmen dabei in Ansatz A die überlieferten zu den berechneten Monddaten. Die Ausnahme ist das Septemberdatum in -1833.

Es schliessen sich die Abrechnungsdaten an, wobei nach Lufts Quelleninterpretation stets ein 1. auf einen 2. Mondmonatstag folgt. Die 2. MMT sind durch ein Sternchen (*) markiert. Beim ersten Datenpaar besteht in Ansatz A Übereinstimmung zwischen dem über-

14. Fortsetzung Referat: Altägyptische Sirius- und Monddaten

lieferten 2. MMT am 11. September und folgenden 1. MMT am 9. Oktober. Beim nächsten Datenpaar liegt aber der Überlieferte 2. MMT einen Tag vor dem entsprechenden berechneten Tag. Ähnliche Diskrepanzen finden sich in Ansatz A mit einer Ausnahme in den restlichen fünf Datenpaaren. Insgesamt ergeben sich 12 Übereinstimmungen in Ansatz A, daneben stehen 8 Fälle, in denen das Überlieferte von dem berechneten Monddatum um 1 Tag differiert.

Wenn wir in Ansatz B überlieferte und berechnete Daten vergleichen, dann finden wir am Anfang den bekannten unsicheren Fall, gefolgt von einer Differenz von -1 Tag, dann aber in einer fast ununterbrochenen Reihenfolge 18 Übereinstimmungen. Offensichtlich ist Ansatz B als historisch richtig zu beurteilen, weil hier die begründete Erwartung einer Übereinstimmung von ca. 85% zwischen Überlieferten und berechneten Monddaten erfüllt ist. Mithin fällt das 7. Jahr Sesostrius III. auf 1830 v. Chr., was gleichbedeutend ist damit, dass das Illahun-Siriusdatum als ein auf die ägyptische Südgrenze bezogenes schematisches Datum zu verstehen ist. Provisorisch kann man dieses Ergebnis mit Hilfe des jüngeren Siriusdatums im Papyrus Ebers kontrollieren. Das Illahun-Siriusdatum fällt nach Ansatz B auf 8. Monat, 18. Tag, in 1830 v. Chr.; das Ebers-Datum nach derzeitigem Forschungsstand auf 11. Monat, 9. Tag, in 1506 v. Chr. Zwischen den beiden Kalenderdaten verschiebt sich der Sirisaufgang 81mal, was 4×81 Jahre = 324 Jahre dauert, entsprechend der Differenz 1830 - 1506 v. Chr.

Es sieht mithin so aus als wäre das Problem der astronomischen Daten im Illahun-Archiv gelöst. Aber die vielen Irrtümer, die sich die Bearbeiter in nunmehr fast einhundert Jahren zuschulden kommen liessen, mahnen zur Vorsicht. Beispielsweise ist das von Luft 1992 vorgelegte Ergebnis, dass die mondmonatlichen Abrechnungen an einem 2. Mondmonatstag beginnen und an einem 1. Mondmonatstag enden, bisher nur von mir und zwar mit grossem Misstrauen überprüft und trotzdem gutgeheissen worden. Vielleicht findet ein anderer Bearbeiter ein Haar in dieser Suppe.

15. Fortsetzung Referat: Altägyptische Sirius- und Monddaten

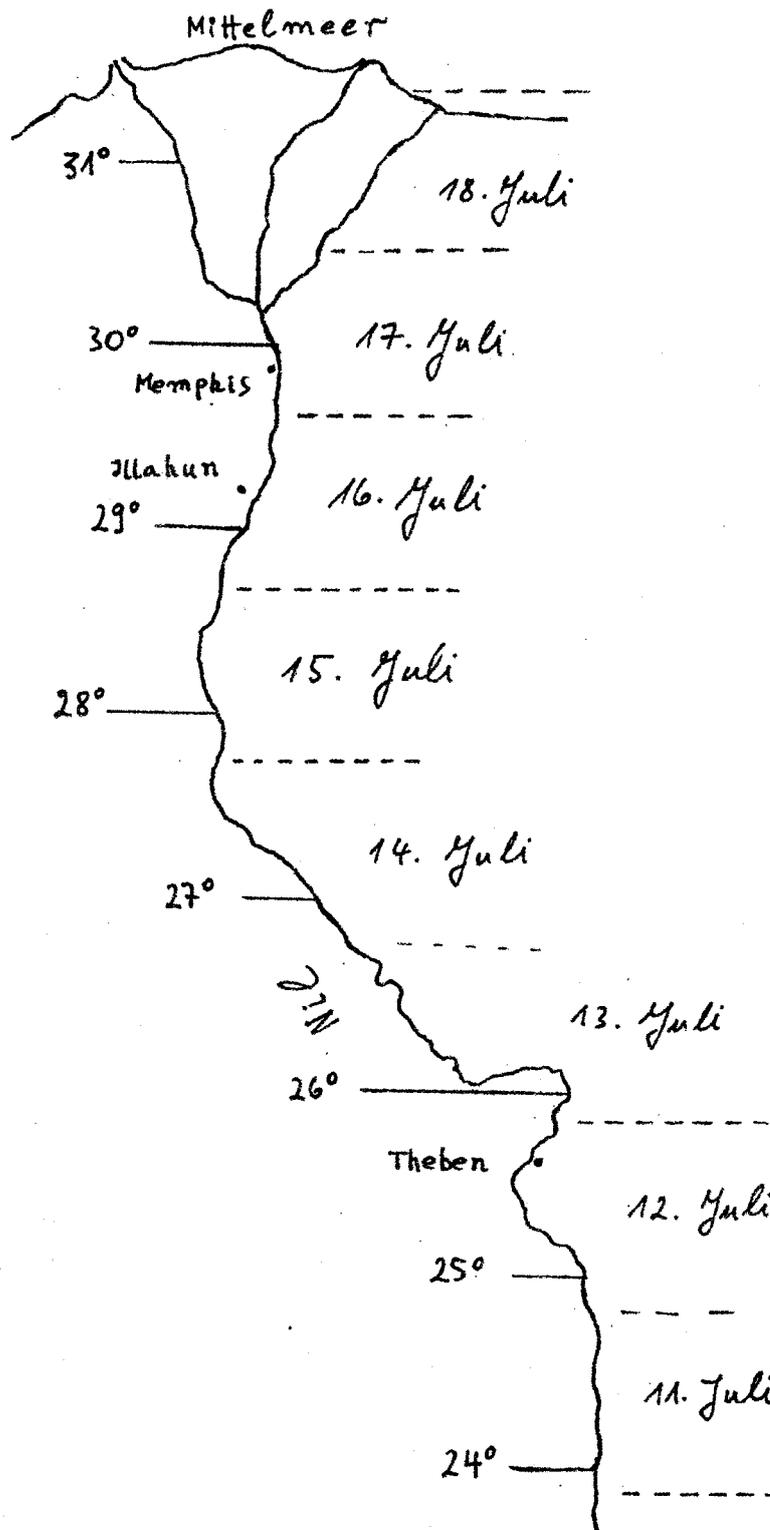


Abb. 1

Ägyptische Beobachtungszonen der Siriusfrühaufgänge in -1429; Daten im julianischen Kalender. - Rechnung nach P.V. Neugebauer, *Astronomische Chronologie* (1929) § 18.

16. Fortsetzung Referat: Altägyptische Sirius- und Monddaten

Literatur

- L. Borchardt: Die Mittel zur zeitlichen Festlegung von Punkten der ägyptischen Geschichte und ihre Anwendung. Kairo 1935
- L. Borchardt und P. V. Neugebauer: Beobachtungen des Frühaufgangs des Sirius in Ägypten im Jahre 1926, in: Orientalistische Literaturzeitung 30 (1927), 441-448
- W. Brix: Über das im zweiten Papyrusfund von Kahun enthaltene Sothisdatum des Mittleren Reiches der ägyptischen Geschichte, in: Zeitschrift für ägyptische Sprache und Altertumskunde 41 (1904) 26-33
- E. Hornung: Untersuchungen zur Chronologie und Geschichte des Neuen Reiches. Wiesbaden 1964
- P. J. Huber, Astronomical Dating of Babylon I and Ur III. Monographic Journals of the Near East. Occasional Papers on the Near East I. 4. June 1982
- M. F. Ingham: The Length of the Sothic Cycle, in: Journal of Egyptian Archaeology 55 (1969) 36-40
- R. Krauss: Sothis- und Monddaten. Hildesheim 1985
- R. Krauss: Zur Chronologie des Mittleren Reiches. Rez. von U. Luft, Die chronologische Fixierung ..., in: Orientalistische Literaturzeitung 89 (1994) 5-18
- U. Luft: Die chronologische Fixierung des ägyptischen Mittleren Reiches nach dem Tempelarchiv von Illahun. Wien 1992
- R. Parker: Ancient Egyptian Calendars. Chicago 1950
- F. Petrie: Kahun, Gurob and Hawara. London 1890
- F. Petrie: Illahun, Kahun und Gurob. London 1891
- Th. v. Oppolzer: Über die Länge des Siriusjahres und der Sothisperiode; in: Sitzungsberichte der math.-nat.wiss. Kl. der kaiserlichen Akademie d. Wissenschaften. Bd. XC, II. Abt. Jahrgang 1884, S. 557-584

Privatdozent Dr. Rolf Krauss
Ägyptisches Museum
und Papyrusammlung PK
Schloßstr. 70
D-14059 Berlin

ÖSTERREICHISCHER ASTRONOMISCHER VEREIN

GEGRÜNDET 1924
VON UNIV.-PROF. DR. OSWALD THOMAS

Er veranstaltet die Österreichischen Sternfreunde-Seminare seit 1974 mit und unterstützt sie finanziell, trägt die Kosten für die Publikation der Seminarpapiere und ermöglicht die Einladung von qualifizierten Vortragenden, z.T. aus dem Ausland.

VEREINSBÜRO: Baumgartenstraße 23/4, A-1140
Wien, Tel. 0222 - 914 88 94

ASTRONOMISCHES BÜRO: Hasenwartgasse 32,
A-1238 Wien, Tel. + Fax 0222-
889 35 41.

Bankverbindung: Postscheckkonto 7270.125.

Gastvortrag: Finsternisberichte in Keilschrifttexten

Der Anlaß zu diesem Referat ist ein Artikel von F. R. Stephenson und L. J. Fatoohi über die Zeitangaben in babylonischen Finsternisberichten. Diese Berichte finden sich innerhalb der sogenannten astronomischen Tagebücher, englisch "Diaries", die von Himmelsbeobachtern in Mesopotamien auf Tontafeln aufgezeichnet wurden. Fast alle diese Tagebücher stammen aus der Stadt Babylon. Sie erstrecken sich über die Zeit von der Mitte des 7. Jahrhunderts bis zum 1. Jh. v. Chr. Allerdings sind keineswegs alle Tagebücher erhalten; nur für etwa 5 % der Zeitspanne von 600 Jahren sind Texte vorhanden. Ich hatte vor einiger Zeit Gelegenheit, hier im Planetarium über diese Texte zu sprechen. Sie enthalten u. a. Beobachtungen des Mondes und dabei auch Beschreibungen von Finsternissen.

Finsternisberichte aus den Tagebüchern sind von den Babyloniern auch zu Finsternislisten zusammengestellt worden. Diese Listen sind meistens in Spalten so angeordnet, daß solche Finsternisse nebeneinander zu stehen kommen, die um 18 Jahre, genauer gesagt um 223 synodische Monate, auseinanderliegen. Der Grund für diese Anordnung ist die sogenannte Saros-Periode. 223 synodische Monate sind fast genau so lang wie 242 drakonitische Monate; anders gesagt, nach 223 Monaten steht der Mond fast genau wieder in derselben Entfernung von einem Knoten, einem Schnittpunkt der Mondbahn mit der scheinbaren Sonnenbahn. Da Finsternisse nur in der Nähe der Knoten möglich sind, kann man mit Hilfe einer Periode von 223 Monaten nach Finsternismöglichkeiten suchen. Allerdings ist zu beachten, daß die Saros-Periode nicht eine ganze Zahl von Tagen enthält, sondern 6585 Tage und etwa 1/3 Tag. Dadurch verschieben sich Finsternisse, die um eine Periode auseinanderliegen, um ca. 1/3 Tag, was oft dazu führt, daß sie an ein und demselben Ort nicht beide sichtbar sind. Die babylonischen Astronomen haben die Zeit solcher Finsternisse trotzdem vorausberechnet und sie in ihren Texten als "vorbeigehend", d.h. nicht zu sehen, bezeichnet.

Welche Angaben finden sich in einem babylonischen Finsternisbericht? Das hängt von der Zeit ab, aus der der Bericht stammt; die älteren Berichte sind kürzer als die späteren. Außerdem sind in den tabellarischen Zusammenstellungen die Angaben oft auf das Wichtigste zusammengekurzt. Folgende Angaben sind möglich:

1. Datum
2. Zeit zwischen Mondaufgang und Sonnenuntergang
3. Beginn der Finsternis, d.h. Eintritt in den Kernschatten. Als Zeitangabe dient der gerade kulminierende Fixstern.
4. Eintrittsrichtung des Schattens: z.B. "auf der Nordostseite".
5. Zeit vom Beginn der Finsternis bis zur größten Phase.
6. Ausmaß der größten Phase, z.B. "2 Finger blieben übrig".
7. Dauer der größten Phase. Bei totalen Finsternissen ist das die Dauer der Totalität; bei partiellen Finsternissen ist die Zeit gemeint, während der mit freiem Auge keine Änderung in der Größe des verfinsterten Teiles des Mondes festzustellen war.
8. Zeit vom Ende der größten Phase bis zum Ende der Finsternis (d.h. Austritt aus dem Kernschatten)

1. Fortsetzung Gastvortrag: Finsternisberichte in Keilschrifttexten

9. Richtung des Schattens auf der Mondscheibe, z.B. "von Südost nach Nordwest"

10. Gesamtdauer der Finsternis, also Summe von (5), (7) und (8); dadurch läßt sich manchmal eine Zahl rekonstruieren, wenn der Text beschädigt ist.

11. Bemerkungen zum Wetter während der Finsternis

12. Sichtbarkeit von Planeten und dem Stern Sirius während der Finsternis, z.B. "während seiner Finsternis standen Jupiter und Venus da; die übrigen Planeten standen nicht da"

13. Position des Mondes in Bezug auf einen Fixstern in der Nähe

14. Zeit des Beginns der Finsternis relativ zu Sonnenaufgang oder Sonnenuntergang

15. Zeit zwischen Sonnenaufgang und Monduntergang.

Diese Liste sieht recht umfangreich aus. Allerdings sind die meisten Finsternisberichte kürzer. Die Zeitintervalle (5), (7), (8), (10) und (14) sind aber fast immer vorhanden - wenn die Tontafel nicht beschädigt ist. Es war deshalb naheliegend, diese Angaben aus den Keilschrifttexten zu sammeln und mit modernen Berechnungen zu vergleichen. Das haben nun die Autoren Stephenson und Fatoohi getan.

Dabei haben sie zunächst die Angaben über die Dauer der Finsternis, also nach der obigen Liste die Intervalle (5), (7), (8) und (10), untersucht. Zur Verfügung standen Daten von 16 totalen und 13 partiellen Finsternissen. Zunächst muß ich darauf aufmerksam machen, daß die kleinste verwendete Zeiteinheit der sogenannte Zeitgrad ist, der 4 Minuten entspricht. Die Angaben sind also auf höchstens 4 Minuten genau. Aber auch mit dieser Einschränkung sind die Differenzen zwischen den berechneten Werten und den babylonischen Beobachtungen ziemlich groß, oft eine halbe Stunde für die Gesamtdauer einer Finsternis. Da keine systematische Abweichung festgestellt werden konnte, schien es den Autoren trotzdem gerechtfertigt, die Gesamtheit dieser Beobachtungen zur Abschätzung des Unterschiedes ΔT zwischen Ephemeridenzeit (ET) und Weltzeit (UT) für die Zeit von -600 bis 0 heranzuziehen.

Eine zweite Gruppe von Zeitintervallen ergibt sich aus den Abständen zwischen Finsternisbeginn und Sonnenaufgang oder Sonnenuntergang (Punkt (14) oben). Diese Intervalle können über 6 Stunden lang sein und stellen daher noch höhere Anforderungen an die babylonischen Zeitmeßgeräte. Insgesamt wurden 48 derartige Beobachtungen ausgewertet. Bei den Nachrechnungen mit Hilfe moderner Theorien wurde der aus den vorher erwähnten Finsternisbeobachtungen ermittelte Wert von ΔT verwendet, um dem antiken Material möglichst gerecht zu werden. Trotzdem weichen auch die Angaben über den Abstand der Finsternisse von Sonnenaufgang oder Sonnenuntergang im Durchschnitt um 50 Minuten von den so durchgeführten modernen Berechnungen ab.

Nun hätte es natürlich sein können, daß diese Abweichungen alle in derselben Richtung liegen, daß somit eine Ursache dafür zu finden gewesen wäre. Leider ist das nicht der Fall; die Abweichungen sind breit gestreut. Je größer das zu messende Intervall, desto ungenauer werden die Messungen.

Da ich mit der Publikation der astronomischen Tagebücher nach wie vor beschäftigt bin, haben sich die Autoren von mir einen Teil des

2. Fortsetzung Gastvortrag: Finsternisberichte in Keilschrifttexten

Materials schon vor der Veröffentlichung geben lassen. Seither konnte ich noch ein paar zusätzliche Finsternisberichte ausfindig machen; am Ergebnis dürfte sich dadurch allerdings kaum etwas ändern. Ich habe zwar die Berechnungen von Stephenson nicht genau imitieren können, sondern die zusätzlichen Texte nur mit den Ergebnissen von Uraniastar verglichen; aber die Differenzen sind von der gleichen Größenordnung.

Welche Gründe kann man nun für die geringe Genauigkeit der Zeitmessungen vorbringen? In erster Linie wird man die Geräte, die die Babylonier verwendeten, verantwortlich machen wollen. Leider wissen wir über diese ziemlich wenig. Das Wort für die vorhin "Zeitgrad" genannte Einheit ist m. W. nicht bekannt; wir kennen zwar das Keilschriftzeichen, wissen aber nicht, wie es in diesem Fall zu lesen ist. Aus der Anwendung in astronomischen Texten ist die Größe dieser Einheit allerdings mit Sicherheit abzuleiten. Ein anderes Zeitmaß ist beru, was üblicherweise mit "Doppelstunde" übersetzt wird, weil es 2 unserer Stunden entspricht. beru ist sonst ein Längenmaß von etwas über 10 km. Schließlich wird Zeit oft in Gewichtsmaßen angegeben. Daraus hat man geschlossen, daß die Babylonier Wasseruhren verwendet haben. Tatsächlich kommt in mathematischen Aufgabentexten aus dem Anfang des 2. Jahrtausends v. Chr. ein derartiges Instrument vor, das mit Wasser gefüllt wird. Leider hat sich keine Wasseruhr in Ausgrabungen gefunden. Wir wissen daher nichts über ihre Konstruktion und müssen ähnliche Geräte aus anderen Kulturkreisen heranziehen. Soweit ich weiß, gibt es Beispiele solcher Wasseruhren aus Ägypten, die ganz gut funktioniert haben könnten. Ein Argument gegen die Qualität babylonischer Wasseruhren ist der Standardwert für das Verhältnis von längstem zu kürzestem Tag in den babylonischen Texten vor 500 v. Chr.: man glaubt, 1 : 2 sei richtig; mit anderen Worten, der längste Tag habe 16, der kürzeste 8 Stunden. Für Österreich ist das einigermaßen zutreffend, für das viel südlichere Babylonien aber überhaupt nicht. Der berühmte Astronomiehistoriker O. Neugebauer hat den Irrtum durch die Konstruktion der Wasseruhr zu erklären versucht: wenn das Wasser aus zylindrischen Gefäßen ausläuft, so verhalten sich die Auslaufzeiten wie die Quadrate der Volumina. Zeiten, die sich wie 2 : 3 verhalten, würden daher Volumina im Verhältnis 4 : 9 entsprechen, was 1 : 2 nahekommt. Diese scharfsinnige Lösung wurde leider durch später gefundene Texte unmöglich gemacht; d. h. die Babylonier glaubten wirklich, die Zeiten verhielten sich wie 1 : 2, nicht die Wassermengen. Erst die astronomischen Texte der zweiten Hälfte des 1. Jahrtausends v. Chr. verwenden den besseren Wert 2 : 3, der tatsächlich für Teile des Iraq zutreffend ist. Auch hier ist offensichtlich eine runde Zahl angestrebt worden, mußte man doch mit ihr sehr oft rechnen, wenn die Zeit des Sonnenauf- oder untergangs zu berücksichtigen war.

Wenn für die höchst ungenaue Länge des längsten Tages die babylonischen Wasseruhren verantwortlich sind, wundert es nicht mehr, daß die Zeitangaben in den Finsternisberichten so wenig genau sind. Ich muß allerdings betonen, daß wir keine Ahnung haben, welche Geräte wirklich verwendet wurden. Die Angaben in den Finsternisberichten sind ja nicht in Gewicht, sondern in den erwähnten "Zeitgraden" gemacht.

Eine naheliegende Frage ist nun, wie die angeblich so guten Berechnungen der Babylonier auf der Basis von recht ungenauen

3. Fortsetzung Gastvortrag: Finsternisberichte in Keilschrifttexten

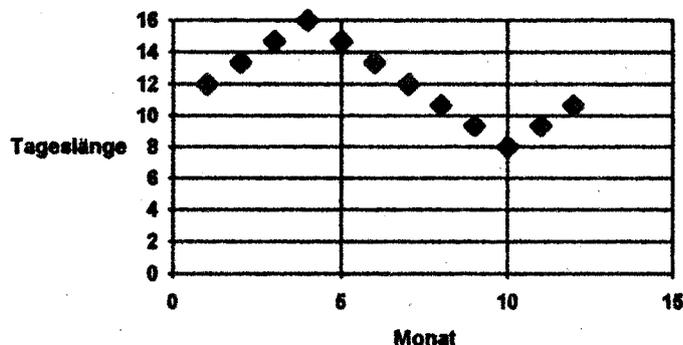
Beobachtungen zustande gekommen sein können. Das ist deshalb möglich, weil nicht einzelne oder auch viele Meßwerte, sondern die über längere Zeit ermittelten Perioden die Grundlage der babylonischen Berechnungen waren.

Zur Illustration ist es erforderlich, in aller Kürze diese Rechenverfahren darzustellen.

Periodische Vorgänge am Himmel werden durch Zahlenfolgen approximiert, die zwischen zwei Extremen pendeln. Als Beispiel diene die schon erwähnte Änderung der Länge von Tag und Nacht. Ein primitives Schema aus Babylonien nimmt für den längsten Tag 16 Stunden an, für den kürzesten 8. Dazwischen wird lineare Änderung angenommen. Auf die zwölf Monate des Jahres verteilt, ergibt sich daher folgende Tabelle:

Monat	Tageslänge	
I	12	Frühlingsäquinoktium
II	13 1/3	
III	14 2/3	
IV	16	Sonnenwende
V	14 2/3	
VI	13 1/3	
VII	12	Herbstäquinoktium
VIII	10 2/3	
IX	9 1/3	
X	8	Sonnenwende
XI	9 1/3	
XII	10 2/3	

Das ist natürlich ein sehr grobes Schema, zumal im babylonischen Kalender auch Schaltmonate vorkommen. Stellt man es nach unserer Art graphisch dar, was die Babylonier aber nie tun, sieht es so aus:



Daher wird diese Art von Zahlenfolgen heute als "Zickzackfunktion" bezeichnet. Es handelt sich um arithmetische Reihen mit dem Bildungsgesetz $a_{n+1} = a_n + d$, mit der zusätzlichen Bedingung, daß bei Passieren des Maximums M die Beziehung $a_{n+1} + a_n = 2M - d$, bei Passieren des Minimums m die Beziehung $a_{n+1} + a_n = 2m + d$ gilt.

Das graphische Bild erinnert an die Sinusfunktion, und da jede periodische Funktion durch eine Kombination von Sinus- und

5. Fortsetzung Gastvortrag: Finsternisberichte in Keilschrifttexten

Die Breite des Mondes ist nicht nur für Finsternisse wichtig, sondern auch bei der Berechnung der Sichtbarkeit des Vollmondes und des neuen Mondes.

Für die Abschätzung der Möglichkeit einer Finsternis dient eine von der Mondbreite abgeleitete Funktion. Sie ergibt sich aus der Rechenvorschrift

$$\Psi = c - |\beta|$$

wobei c eine Konstante ist, die ca. $1^\circ 27'$ entspricht. Ist Ψ größer als 0, so wird mit einer Finsternis gerechnet. Ψ ist außerdem ein Maß für die Größe einer Finsternis.

Es gibt auch Tabellen, die nur diejenigen Vollmonde zusammenstellen, bei denen Finsternisse auftraten. Hier ein paar Zeilen aus einer solchen Tabelle:

	E_2	Ψ_2	F_2	G_2	ΣG_2	Obv.
← 1.	- 23 ↓	17, 27, 50	15, 8 ↓	2, 40	20, 32, 57, 46, 40	1.
	- 3, 10, 57, 12		14, 26	2, 52, 46, 40		
	- 5, 9, 42, 54		13, 44	3, 18, 23, 42, 13, 20		
	- 7, 8, 28, 36		13, 2	3, 44, 12, 20, 44, 26, 40		
	- 5, 16, 45, 42		12, 20	4, 10, 0, 59, 15, 33, 20		
	- 3, 10, 34		11, 38	4, 35, 49, 37, 46, 40		
2.	+ 15, 23, 24 ↑	19, 57, 24	11, 12 ↑	4, 56, 7, 24, 26, 40	5, 37, 20, 44, 26, 40	2.
	+ 3, 25, 57, 24		11, 54	4, 42, 27, 9, 37, 46, 40		
	+ 5, 32, 13, 6		12, 36	4, 16, 38, 31, 6, 40		
	+ 6, 45, 31, 12		13, 18	3, 50, 49, 52, 35, 33, 20		
	+ 4, 39, 15, 30		14	3, 25, 1, 14, 4, 26, 40		
	+ 2, 36, 55, 48		14, 42	2, 59, 12, 35, 33, 20		
3.	- 1, 7, 39, 48 ↓	28, 40, 38	15, 24 ↑	2, 40, 45, 55, 33, 20	3, 54, 55, 18, 31, 6, 40	3.
	- 3, 44, 35, 36		15, 48	2, 40		
	- 5, 43, 21, 18		15, 6	2, 40		
	- 6, 41, 53		14, 24	2, 54, 1, 28, 53, 20		
	- 4, 43, 7, 18		13, 42	3, 19, 50, 7, 24, 26, 40		
	- 2, 39, 45, 36		13	3, 45, 38, 45, 55, 33, 20		
← 4.	+ 1, 17, 8, 12 ↑	30, 15, 22	12, 18 ↓	4, 11, 27, 24, 26, 40	1, 30, 57, 46, 40	4.

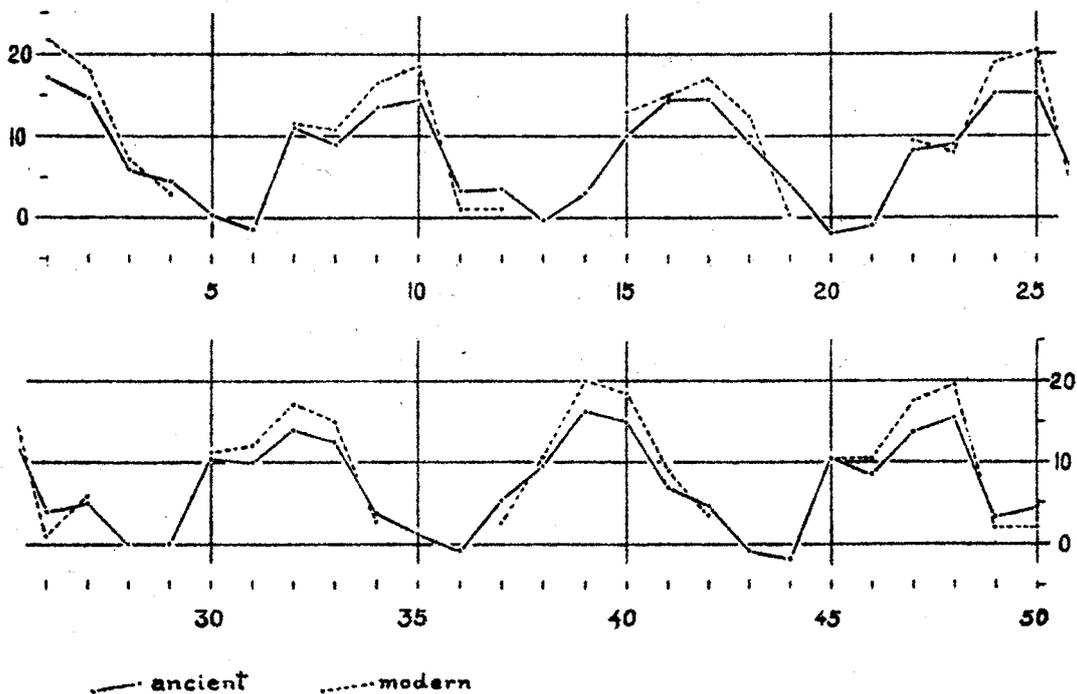
Aus: O. Neugebauer, *Astronomical Cuneiform Texts*, Nr. 60

Nur die mit Nummern versehenen Zeilen 1 - 4 stehen auf der Tontafel. Die dazwischen befindlichen Zeilen sind vom modernen Herausgeber eingefügt worden, um die babylonischen Berechnungen nachzuvollziehen. Uns interessieren hier nur die beiden ersten Spalten. Die mit E überschriebene Spalte enthält die Mondbreite, die nächste, Ψ , das Maß der Finsternisgröße. Nur wenn der absolute Wert der Breite klein ist, wird überhaupt die Zeile in den Text aufgenommen, der ja nur an Finsternissen interessiert ist. Dann wird auch die Finsternisgröße berechnet.

Wenn wir uns an die anfangs beschriebene Auswertung von Beobachtungen der Babylonier erinnern, stellt sich jetzt natürlich die Frage, wie gut denn die babylonischen Berechnungen zur modernen Theorie passen.

6. Fortsetzung Gastvortrag: Finsternisberichte in Keilschrifttexten

Obv.	Julian Date		Babylonian		Modern		Obv.
			ψ_2	ψ_2^*	Magn.	Canon	
1.	- 174	V 11	17, 27, 50	17, 20, 10	21.7	O	1.
		VI 4	19, 57, 54	14, 50, 6	18.0	N	
	- 173	V 1	28, 40, 38	6, 7, 12	7.4	N	
		X 24	30, 15, 22	4, 32, 38	3.0	N	
5.	- 172	III 21	18, 12	18, 12			5.
		IX 13	- 1, 32, 24	- 1, 32, 24			
	- 171	III 10	10, 59, 0	10, 59, 0	11.5	O	
		IX 3	9, 2, 24	9, 2, 24	10.7	N	
10.	- 170	II 27	21, 16, 28	13, 31, 32	16.6	O	10.
		VIII 23	20, 15, 12	14, 32, 48	18.6	N	
	- 169	II 16	31, 33, 56	3, 14, 4	0.8	N	
		VIII 13	31, 28, 0	3, 20, 0	1.2	N	
	- 168	I 7	- 13, 50	- 13, 50			
		VII 2	3, 5, 34	3, 5, 34			
15.		XII 27	10, 3, 38	10, 3, 38	13.1	N	15.
	- 167	VI 21	14, 18, 22	14, 18, 22	14.9	N	
		XII 16	20, 21, 6	14, 26, 54	16.9	N	
	- 166	VI 11	25, 31, 10	9, 16, 50	12.5	N	
20.		XII 6	30, 38, 34	4, 9, 26	0.3	N	20.
	- 165	V 31	36, 43, 58	- 1, 55, 58			
		X 26	- 1, 9, 12	- 1, 9, 12			
	- 164	IV 21	8, 21, 32	8, 21, 32	9.6	N	
		X 14	9, 8, 16	9, 8, 16	7.8	O	
	- 163	IV 10	19, 34, 20	15, 13, 40	19.1	N	
25.		X 3	19, 25, 44	15, 22, 16	20.6	N	25.
	- 162	III 31	30, 47, 8	4, 0, 52	1.2	N	
		IX 23	29, 43, 12	5, 4, 48	5.7	O	
		II 18	9, 22	9, 22			



Vergleich babylonischer und moderner Mondfinsternisberechnungen

7. Fortsetzung Gastvortrag: Finsternisberichte in Keilschrifttexten

Leider ist ein Vergleich nicht so einfach wie man glauben könnte. Die babylonischen Texte verwenden zum Teil andere Maßeinheiten, sodaß zuerst eine Umrechnung erforderlich ist. Die soeben erklärte Finsternisgröße ist vom Herausgeber des Textes, O. Neugebauer, schon modernen Werten gegenübergestellt worden, sodaß ich sie einfach herzeigen kann. Das Resultat ist, daß die babylonischen Berechnungen der Finsternisgröße bis ca. 20 %, mitunter auch mehr, von den modernen differieren. Dabei sind die großen Finsternisse zu klein, die kleinen zu groß ausgefallen. Man würde jetzt gern auch die Zeiten der Finsternisse vergleichen, doch leider ist die rechte Hälfte der Tafel abgebrochen, sodaß wir darüber nichts erfahren.

Es gibt glücklicherweise noch andere Tafeln. Auf einer von ihnen sind zwar fast alle Finsternisgrößen zerstört, aber für ein paar Finsternisse sind sowohl Größe als auch die Zeit der Opposition, also des Vollmonds, erhalten. Ich gebe hier nur die einschlägigen Zeilen in Umschrift wieder:

Datum	Zeit Vollmond	Finsternisgröße
SE 128 II = -183 5 20	2,0°	6,10 be
SE 128 VII = -183 10 15	23°	2,58 bar
SE 129 I = -182 4 10	4,42°	8,26
SE 129 VII = -182 10 4	46°	8,55
SE 130 VI = -181 9 23	2,37°	21,4

Wir können zu diesen Angaben mit Uraniastar die entsprechenden Finsternisdaten ausrechnen. Die auf der Tontafel berechneten Zeiten für den Vollmond weichen bis zu einer Stunde, manchmal auch noch mehr, von den modernen Berechnungen ab. Das könnte einem heutzutage als ziemlich ungenau vorkommen; aber es ist noch nicht so lange her, daß ein Fehler dieser Größenordnung bei der Mondberechnung einfach in Kauf genommen werden mußte.

Im Ganzen waren also die Berechnungen von Mondfinsternissen bei den Babyloniern zwar nicht genauer als ihre Beobachtungen, aber trotzdem ein beeindruckendes Beispiel ihrer Rechenkunst.

Literatur:

O. Neugebauer, A History of Ancient Mathematical Astronomy, New York 1975

O. Neugebauer, Astronomical Cuneiform Texts, London 1955

A. J. Sachs - H. Hunger, Astronomical Diaries and Related Texts from Babylonia, Band I und II, Wien 1988 und 1989

F. R. Stephenson - L. J. Fatoohi, Babylonian Lunar Eclipse Times: Journal for the History of Astronomy 24 (1993) 255-267.

Univ.-Prof. Dr. Hermann Hunger

Institut für Orientalistik
der Universität Wien

Universitätsstraße 7

A-1010 Wien

Gastvortrag: Probleme und Genauigkeit in den Werken von Ptolemaios

In der Astronomischen Phänomenologie hat Klaudios Ptolemaios eine hervorragende Rolle gespielt. Er hat den großen Verdienst, das Wissen seiner Vorgänger gesammelt und überliefert zu haben, hauptsächlich jenes von Hipparchos; aber er hat auch viele phänomenologische Angaben, beispielsweise babylonische Finsternisse, Sternbedeckungen und andere astronomische Beobachtungen nicht nur im Almagest, sondern auch in anderen Werken bewahrt.

Sein Ruhm gründet sich natürlich vor allem darauf, daß er eine so umfassende und wunderbare Theorie der Bewegungen der Himmelskörper geschaffen hat, die bis Copernicus und Kepler überlebte. Darüber hinaus hat er bis in die Einzelheiten erläutert, wie die Rechnungen anzustellen seien und wie die Tafeln berechnet worden waren. Trotzdem gab es seit Delambre's "Histoire de l'Astronomie ancienne, 1817, vol.2" Tendenzen, Ptolemaios geringe Genauigkeit seiner Angaben oder gar deren Fälschung zwecks Einpassung in seine Theorie vorzuwerfen.

Selbst wenn es heute - speziell mit Computern und entsprechender Software - möglich ist, alle von Ptolemaios mitgeteilten Angaben nachzurechnen, muß sein Werk historisch gesehen und erklärt werden und wenn Vergleiche angestellt werden, müssen gleichartige Methoden verwendet werden. Das heißt: Schreibt man ein Computerprogramm zur Darstellung seiner Methoden, wie ich es getan habe, so müssen sich die gleichen Resultate ergeben wie bei Benützung der Tafeln im Almagest oder in anderen seiner Werke.

Klarerweise würden wir bei jedem antiken Astronomen Fehler finden, gingen wir mit modernen Theorien an sein Werk heran; das wäre aber dann unsere eigene Schuld.

Ferner müssen wir die jeweiligen Datengrundlage beachten. Nach eigener Angabe hatte Ptolemaios babylonische und Hipparch'sche Beobachtungen zur Verfügung. Da wir deren Güte noch nicht genau kennen, dürfen wir deren etwaige Fehler nicht Ptolemaios anlasten. Sehen wir uns einige Beispiele an.

MONDFINSTERNISSE

Ptolemaios verwendet 19 Mondfinsternisse, um z.B. den Radius des Mondepizykels oder die Parallaxe zu berechnen. Sie sind in Tab.1

1. Fortsetzung Gastvortrag: Probleme und Genauigkeit bei Ptolemaios

Tabelle 1

Datum	Größe	DT			UT		
- 720 03 19	1.531	22:50	23:38	0:26	17:39	18:27	19:15
- 719 03 09	0.118	1:07	1:49	2:31	19:57	20:39	21:21
- 719 09 01	0.504	20:47	21:59	23:11	15:37	16:49	18:01
- 620 04 22	0.139	5:56	6:41	7:26	1:09	1:54	2:39
- 522 07 17	0.517	23:26	0:48	2:10	19:02	20:24	21:46
- 501 11 20	0.179	0:16	1:07	1:58	19:57	20:48	21:39
- 490 04 25	0.080	23:14	23:46	0:18	18:57	19:29	20:01
- 382 12 23	0.200	7:55	8:43	9:32	4:02	4:50	5:38
- 381 06 18	0.472	20:33	21:51	23:10	16:39	17:58	19:17
- 381 12 12	1.467	23:01	23:44	0:27	19:08	19:51	20:34
- 200 09 22	0.713	18:25	19:56	21:27	15:08	16:39	18:10
- 199 03 20	1.392	1:21	2:04	2:47	22:06	22:44	23:32
- 199 09 12	1.597	2:40	3:28	4:16	23:25	0:13	1:01
- 173 05 01	0.619	1:26	2:44	4:02	22:16	23:34	0:52
- 140 01 27	0.259	22:02	22:53	23:48	18:58	19:51	20:44
+125 04 05	0.141	20:17	20:59	21:41	18:00	18:42	19:24
+133 05 06	1.062	22:41	23:01	23:21	20:27	20:47	21:07
+134 10 20	0.835	21:22	22:58	0:34	19:08	20:44	22:20
+136 03 06	0.432	2:38	3:46	4:54	0:26	1:32	2:40

Abb.1: Mondfinsternisse aus dem Almagest. Größe: Nach Meeus-Mucke, Canon der Mondfinsternisse, -2002 bis +2526. DT und UT: Totalität Anfang, Mitte der Finsternis, Totalität Ende) nach Meeus-Mucke.

Tabelle 2

Nr.	Phase	Modern	Ginzel	Ptolemaios	M-G	M-P
1.	BU	16 ^h 34 ^m	16 ^h 35 ^m	15 ^h 57 ^m	-1 ^m	+33 ^m
	M	18 27		18 27		0
2.	M	20 39	20 38	21 16	+1	-37
3.	B	15 37	15 38	15 37	-1	0
4.	B	1 09	1 08	1 41	+1	-32
5.	M	20 24	20 23	20 12	+1	+12
6.	M	20 48	20 44	20 24	+4	+24
7.	M	19 29	19 35	20 30	-6	-61
8.	B	4 02	4 07	3 34	-5	+28
9.	B	16 39	16 39	16 34	0	+5
10.	BU	18 08	18 14	18 11	-6	-3
11.	E	18 10	18 14	18 20	-4	-10
12.	BU	21 03	21 09	21 28	-6	-25
13.	M	0 13	0 18	0 11	-5	+2
14.	B	22 16	22 24	22 49	-8	-33
	E	0 52	1 03	1 32	-11	-40
15.	B	18 58	19 05	20 12	-7	-74
	M	19 51	20 00		-9	
16.	M	18 42	18 51	18 26	-9	+16
17.	M	20 47	20 52	21 08	-5	-21
18.	M	20 44	20 48	20 47	-4	-3
19.	M	1 32	1 42	2 13	-10	-41

Abb.2: Mondfinsternisse aus dem Almagest. Uhrzeiten: UT. Phase: Angabe nach Ptolemaios. Modern: Meeus-Mucke, Canon der Mondfinsternisse, -2002 bis 2526. Ptolemaios: Reduziert auf UT. BU: Beginn Umbra. B: Beginn Totalität. M: Mitte. E: Ende. M-G: Modern minus Ginzel. M-P: Modern minus Ptolemaios.

2. Fortsetzung Gastvortrag: Probleme und Genauigkeit bei Ptolemaios

(Abb.1) und liegen zwischen den Jahren -720 und +136. Bis -381 stammen sie aus babylonischen Quellen, die anderen aus Alexandria, ausgenommen die von -140, die auf Rhodos beobachtet wurde.

Eine wichtige Arbeit hat F.K.Ginzel mit seinem "Speziellen Canon der Sonnen- und Mondfinsternisse" geleistet; auch wenn das Werk schon 1899 erschien, ist es für viele Arbeiten - speziell solche, die unser Vorhaben betreffen - recht genau, wie Tabelle 2 (Abb.2) zeigt.

Wenn wir also die Ergebnisse von Ptolemaios mit dem Meeus-Mucke Canon oder mit URANIASTAR prüfen, kann eine Vergleichstabelle erstellt werden. Aus ihr geht hervor, daß Ginzel sehr genaue Rechnungen durchführte und die mittleren Uhrzeitunterschiede gegenüber Ptolemaios klein sind.

Dabei müssen wir uns aber der korrekten historischen Methode bedienen. Ptolemaios sagt selbst, daß zur Schaffung seiner neuen Theorie Unterlagen aus "jüngerer Zeit" verwenden mußte, die nicht ganz geeignet waren, um in ferne Vergangenheit zu rechnen. Das ist umso interessanter, weil auch unsere modernsten Theorien nur innerhalb einer begrenzten Zeitspanne brauchbar sind, obwohl wir Beobachtungen aus viel mehr Jahrhunderten und viel mächtigere Rechenhilfsmittel zur Verfügung haben.

Ferner müssen wir die Ergebnisse mit seinen eigenen Methoden kontrollieren.

Man muß sich darüber klar sein, daß die Finsternisse aus Babylonien schwierig auswertbar waren: Wie gesagt, wir wissen weder, wie gut die Ptolemaios zugänglichen Berichte waren, noch wie genau die Daten in eben diesen Berichten waren. Wir können höchstens anmerken, daß die unzureichende Kenntnis der geographischen Längen die Datenumrechnung von Babylon nach Alexandria schwierig machte. Dies zog sich lange hin und wir nennen nur zum Beispiel die Finsternis von -620 04 22, die nach Kepler nicht sichtbar war; tatsächlich rechnete er mit einer falschen Länge für Alexandria und stellte fest, daß der Mond "sub terra fuit". Das erwähnt O. Neugebauer in seiner "History of Ancient Mathematical Astronomy" p.108, 1975 ("HAMA") um zu zeigen, daß es für Ptolemaios nicht so leicht war, richtige Angaben zu erlangen und weiterzugeben.

Für einige babylonische Finsternisse wurden Tontafeln gefunden und wir können sie diskutieren. Ganz allgemein ergibt sich gegenüber dem Meeus-Mucke Canon folgendes:

3. Fortsetzung Gastvortrag: Probleme und Genauigkeit bei Ptolemaios

	Ptolemaios	Ginzel
Mittlerer Fehler	-4,3 Minuten	-2,2 Minuten
Standardabweichung	12,7 Minuten	5,5 Minuten

Wir können also sowohl Ptolemaios als auch Ginzel glauben.

Übrigens hat Manilius Delambre indirekt geantwortet, wenn er seine deutsche Übersetzung nicht "Der Almagest" sondern "Handbuch der Astronomie" betitelte. In der Tat verfaßte Ptolemaios ein Lehrbuch, ein astronomisches Handbuch, um Positionen und Erscheinungen ermitteln zu können und nicht ein Geschichtswerk, obgleich er so viele Daten - speziell von Hipparchos - bewahrte, die sonst verloren gegangen wären.

Ptolemaios hat auch nicht einfach abgeschrieben, beispielsweise, wie wir noch sehen werden, den Sternkatalog des Hipparchos. Im Gegensatz zu ihm hat Copernicus von ihm ganze Tafeln, wie etwa Planetentafeln, abgeschrieben: In "De Revolutionibus orbium coelestium" V, 5 sagt er, daß er das tue, weil schon Ptolemaios so viele Rechnungen - "ingentem numerorum multitudinem" - gemacht habe. Reden wir auch nicht weiter von Kepler und anderen, die Zahlenangaben "aus gutem Grund" geändert haben, um sie besser zu den Theorien passen zu lassen; denn dazu gibt es, wie W. Hartner anmerkt, "immer einen guten Grund ...".

Weiters müssen wir in Betracht ziehen, daß Ptolemaios aus Finsternissen die Mondörter einfach als um 180° unterschiedliche Sonnenörter ableitete, denn Sonnenörter waren nicht so kompliziert wie Mondörter zu berechnen.

Mein Computerprogramm PTOLEMY setzt die Tafeln des Almagest in moderne Ausdrücke um. Die Formeln geben ekliptikale Längen und Breiten der Planeten einschließlich Sonne und Mond, die nach antiker Auffassung als Planeten betrachtet werden: Es besteht gute Übereinstimmung mit den Rechnungen von Ptolemaios und es zeigt sich, daß keine Fälschungen vorkommen.

Ähnliche Gleichungen finden sich bei R. Billard in "L'Astronomie Indienne", 1971; dort finden sich gründliche Analysen astronomischer Vorschriften, die ihre Genauigkeit und Alter erweisen. Mit dem Programm PTOLEMY lassen sich ähnlich wie bei Billard Diagramme erstellen, um Abweichungen in Länge zwischen dem Almagest und modernen Theorien für Zeitpunkte zwischen -500 und +1900 zu

4. Fortsetzung Gastvortrag: Probleme und Genauigkeit bei Ptolemaios

ermitteln. Es zeigt sich, daß im ersten Jahrhundert n. Chr. der Almagest ziemlich genau ist. Daraus ließe sich nach Billard die wahrscheinlichste Zeitspanne ableiten, in der solche Werke verfaßt worden sind - überflüssig im Fall des Almagest, denn hier kennen wir sie. Ein sehr nützliches Kriterium ist das aber, wenn man Indische oder andere Werke studiert, um deren Geschichte zu erhellen.

Im Fall der Mondfinsternisse ergeben sich die Sonnenlängen so, wie Ptolemaios sie berechnet hat und, wie wir sahen, sind die Termine innerhalb der beschriebenen Genauigkeit korrekt. Der alexandrinische Astronom beging keinen Betrug.

Selbst wenn bei den babylonischen Finsternisse Datenunsicherheiten bestehen, besitzen wir im Fall der Finsternisse Nr. 1, 2 und 5 Dokumente, die von F.X. Kugler in Sternkunde und Sterndienst in Babel" I, 61 ff., 1907 ("SBB") veröffentlicht worden sind und die im allgemeinen mit Ptolemaios übereinstimmen. Tabelle 3 gibt die Sonnen- und Mondlängen für die Termine der Finsternismaxima nach dem Almagest, O. Neugebauer (HAMA) und dem Programm PTOLEMY an:

Tabelle 3

Nr.	Datum	Almagest		HAMA		Programm PTOLEMY	
		Zeit	Mond λ	Sonne λ	Zeit	Sonne λ	Mond λ
1.	-720 03 19	22:30	Vir 24:30	Psc 24:38	21:30	Psc 24:40	Vir 24:30
2.	-719 03 08	24	Vir 13:45	Psc 13:45	24	Psc 13:48	Vir 14:03
3.	-719 09 01	20:30	Psc 3:15	Vir 3:20	20:30	Vir 3:22	Psc 3:34
17.	133 05 06	23:15	Sco 13:15	Fehler zu	23:15	Tau 13:15	Sco 13:18
18.	134 10 20	23:00	Ari 25:10	vernach-	23:00	Lib 25:09	Ari 25:14
19.	135 03 06	04:00	Vir 14:05	lässigen	04:00	Psc 14:03	Vir 14:07

Abb. 3: Maximumstermine von Mondfinsternissen in Ortszeit nach dem Almagest, O. Neugebauer (HAMA) und dem Programm PTOLEMY.

Es zeigt sich, daß die Rechnungen Neugebauers für die Sonne mit dem Almagest übereinstimmen und daß auch das Programm PTOLEMY für die Sonne paßt; bei der Mondlänge gibt es kleine Unterschiede, die wohl von einem ungenauen Parameter in der Mondtheorie des Ptolemaios herrühren dürften und rechtfertigen, warum er bei Finsternissen lieber die Sonnen- als die Mondlänge berechnete.

Sehen wir uns ein Beispiel an!

Mondfinsternis Nr. 1, -720 03 19, Almagest IV, 6:

Nach dem griechischen Text lesen wir "Die Finsternis begann, heißt

5. Fortsetzung Gastvortrag: Probleme und Genauigkeit bei Ptolemaios

es, als reichlich eine Stunde nach dem Aufgang [des Mondes] vergangen war und war eine totale" (Kugler, SSB II, 68). Ptolemaios berechnet den Sonnenort "nahe dem Ende der Fische" und folgerichtig ergibt sich die Nachtlänge zu 12 Äquinoktialstunden.

Ginzel gibt den Anfang im Kernschatten mit $16^{\text{h}}35$ UT, nur eine Minute später als Meeus-Mucke, "Canon der Mondfinsternisse", was mit der geographischen Länge von Babylon von $2^{\text{h}}58$ E in mittlerer Ortszeit $16^{\text{h}}35 + 2^{\text{h}}58 = 19^{\text{h}}33$ ergibt - mit nur 3 Minuten Differenz zum Almagest und nicht 15 Minuten, wie behauptet wird.

Für die Mitte der Finsternis lautet der moderne Wert $18^{\text{h}}27$ UT = $21^{\text{h}}25$ mittlere Ortszeit. Ptolemaios gibt $2 \frac{1}{2}$ Stunden vor Mitternacht an, also $21^{\text{h}}30$ mittlere Ortszeit, und daher beträgt der Fehler nur 5 Minuten und nicht fast eine Stunde, wie behauptet wird. Kuglers Hypothese (SSB II, 68) war, daß dieser Zeitpunkt die Mitte zwischen dem ersten und letzten Wahrnehmen war und schließt, daß "KAS.BU", eine Doppelstunde, ins Griechische mit "eine gute Stunde" übertragen wurde. Wir können die Autorität Kuglers anerkennen, der hinzufügt "Die ὥρα, z.B. der Äquinoktien = $\frac{1}{24}^{\text{d}}$, kannten die Babylonier nicht; die auf φησὶν folgende Partie ist deshalb nur eine freie, wenn auch sinn gerechte Wiedergabe des babylonischen Berichts".

Es muß auch - mit Kugler und O. Neugebauer - angemerkt werden, daß es um -720 in Babylon keine Möglichkeit zur genauen Vorhersage von Finsternissen gab, weshalb es sich um beobachtete Erscheinungen handelte - auch wegen ihrer astrologischen Bedeutung (beispielsweise zeigte der verfinsterte Teil des Mondes im Omen das Land an). Außerdem kann man, wenn Tontafeln vorhanden sind, feststellen, ob die Finsternis nur berechnet oder beobachtet worden ist, wenn das Wort AN-KU₁₀ dem Wort *sin* (Mond) oder *šamâš* (Sonne) vorangeht oder folgt, wie H. Hunger in "Astronomical Diaries and Related Texts from Babylonia", Wien 1988, ausführt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß jeder, der die Berechnung mit dem Meeus-Mucke Canon oder URANI STAR wiederholen möchte, die Genauigkeit der 19 von Ptolemaios überlieferten Mondfinsternisse selbst erkennen kann - ohne die Parameter ändern zu müssen.

STERNPHASEN

An dieser Stelle ist es angebracht, ein neueres Werk zu behandeln: G. Grasshoff, "The History of Ptolemy's Star Catalog", New York 1990.

6. Fortsetzung Gastvortrag: Probleme und Genauigkeit bei Ptolemaios

Es handelt sich um ein ernstzunehmendes, modernes Werk, das sich tiefgehend mit vielen Fragen der astronomischen Phänomenologie bei Ptolemaios auseinandersetzt. Grasshoff bespricht systematisch alle früheren Forschungen von Delambre bis Dreyer, Vogt usw. bis R.R. Newton. Er unternimmt eine ins Einzelne gehende statische Analyse der Daten, rekonstruiert die Sternkataloge von Ptolemaios und Hipparchos, macht hunderte genaue Rechnungen und erläutert die interessanteren Punkte.

Ein sehr wichtiger solcher ist, daß er alle in der Vergangenheit gegen Ptolemaios gerichteten Anschuldigungen durch klare Logik und korrekte Rechnung beseitigt. Ptolemaios wurde u.a. das "Verbrechen" vorgeworfen, seinen Sternkatalog von dem verschollenen Sternkatalog des Hipparchos abgeschrieben zu haben. 1925 verfaßte Vogt eine brillante Studie über das einzige von Hipparchos erhaltene Werk "Commentar zu Aratos und Eudoxos". In dieser Abhandlung kritisierte der antike Astronom hauptsächlich die Schriften, in denen die Auf- und Untergänge der Sterne behandelt wurden, besonders der "Phainomena" des Aratos. Er nennt die Ergebnisse seiner Beobachtungen und gibt die richtigen Daten. Wir können nur hinzufügen, was L.B. van der Waerden in seinem Artikel über Ptolemaios in Pauly's "Realenzyklopaedie der Classischen Altertumswissenschaft" anmerkt - daß schon Laplace die Differenz von 1° in den Sternörtertern durch den bei Ptolemaios erfolgten Bezug auf Sonne und Mond erklärt, der diesen Fehler hatte. Wir schließen mit Van der Waerden, "daß die Laplace'sche Feststellung alles erklärt".

Aus den Hipparch'schen Aufgängen, Kulminationen und Untergängen können umgekehrt die zugehörigen Sternörter ermittelt und nachgesehen werden, ob sie dieselben wie die bei Ptolemaios sind oder nicht.

Es sind deren fünf Erscheinungen, und wir nennen sie Sternphasen oder Paranatellonta:

- F1 Zugleich mit dem Stern aufgehender Ekliptikgrad
- F2 Zugleich mit dem Sternaufgang kulminierender Ekliptikgrad
- F3 Zugleich mit dem Stern untergehender Ekliptikgrad
- F4 Zugleich mit dem Sternuntergang kulminierender Ekliptikgrad
- F5 Zugleich mit dem Stern kulminierender Ekliptikgrad.

Diese fünf Sternphasen mögen in Abb.4 schematisch illustriert werden:

7.Fortsetzung Gastvortrag: Probleme und Genauigkeit bei Ptolemaios

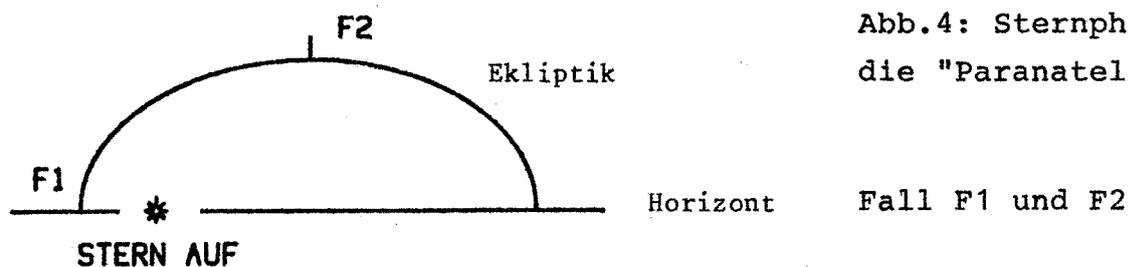
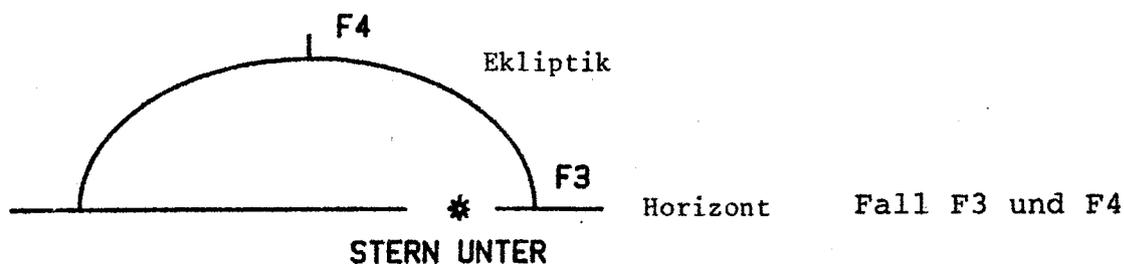
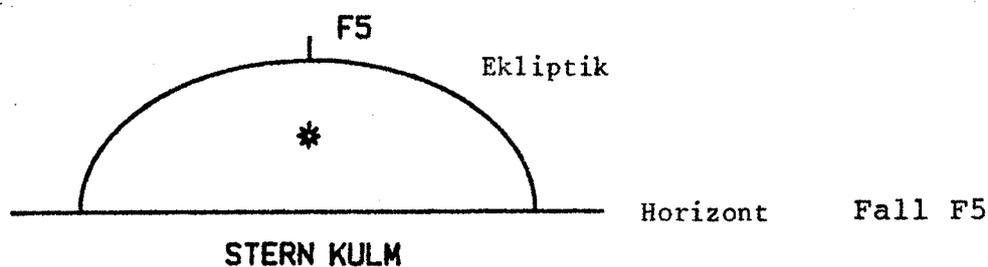


Abb.4: Sternphasen,
die "Paranatellonta"

Fall F1 und F2



Fall F3 und F4



Fall F5

Um die Sternphasen oder die Sternkoordinaten aus diesen zu berechnen, empfiehlt sich die Lektüre der Arbeit von H.Vogt oder HAMA; dort wird die Methode über sphärische Dreiecke genau erklärt. Sie ist aber umständlich und es ist viel besser, die folgenden einfachen Formeln zu benutzen. In diesen bedeuten α, δ Rektaszension und Deklination des Sterns, t dessen Stundenwinkel, φ Geographische Breite und ϑ Sternzeit. Es gilt mit der Schiefe der Ekliptik ϵ :

$$t = \arcsin(-\tan \varphi \cdot \tan \delta) \quad \text{und} \quad \vartheta = \alpha + t$$

Nach J.Meeus "Astronomical Algorithms", Richmond 1991, p.92 ergeben sich die ekliptikalen Längen λ der Schnittpunkte Horizont/Ekliptik, die um 180° auseinanderliegen, zu

$$\lambda = \arctan \left(\frac{-\cos \vartheta}{\sin \epsilon \cdot \tan \varphi + \cos \epsilon \cdot \sin \vartheta} \right)$$

Um F1-F5 zu berechnen, ist nur diese Formel nötig; für Sternaufgang ist $t < 0$, für Untergang $t > 0$ und für Kulmination $t = 0$.

8. Fortsetzung Gastvortrag: Probleme und Genauigkeiten bei Ptolemaios

Wir geben trotzdem die fünf Formeln noch explizit:

$$F1 = \arctan \left(\frac{-\cos \vartheta}{\sin \epsilon \cdot \tan \varphi + \cos \epsilon \cdot \sin \vartheta} \right) + 180^\circ \quad \text{mit } t < 0$$

$$F2 = \arctan \left(\tan \vartheta / \cos \epsilon \right) \quad \text{mit } t < 0$$

$$F3 = \arctan \left(\frac{-\cos \vartheta}{\sin \epsilon \cdot \tan \varphi + \cos \epsilon \cdot \sin \vartheta} \right) \quad \text{mit } t > 0$$

$$F4 = \arctan \left(\tan \vartheta / \cos \epsilon \right) \quad \text{mit } t > 0$$

$$F5 = \arctan \left(\tan \alpha / \cos \epsilon \right) \quad \text{mit } t = 0$$

$\lambda = F1, \dots, F5$, folgen mit $\vartheta = \alpha + t$, worin t entsprechend gewählt. Meeus merkt an, daß es wichtig ist, statt $\tan \vartheta$ stets $\sin \vartheta / \cos \vartheta$ zu nehmen, um λ im richtigen Quadranten zu erhalten. Bei richtigem Gebrauch der Subroutinen braucht man für ein Programm nur die letzte Formel der Vorseite.

Übrigens können diese Formeln auch zur Berechnung anderer Daten in antiken Dokumenten verwendet werden. Auch Kepler berechnete mit ihnen in "Astronomiae Pars Optica" Aufgänge und andere Parameter von Finsternissen und sie können leicht mit den genannten Formeln überprüft werden.

Grasshoff verwendete die fünf Formeln getrennt und berechnete alle Sternphasen, die Hipparchos nennt; er leitete aus ihnen auch die Sternkoordinaten für die Epoche -128 (Hipparchos) und +134 (Ptolemaios) ab. Es zeigte sich, daß die Mehrzahl der Sternkoordinaten verschieden waren, was die Unabhängigkeit der beiden Sternkataloge schon allein beweist. Er macht aber noch eine andere Probe:

Peters und Knobel vertraten 1915 die Meinung, daß Ptolemaios, anstatt eigene Beobachtungen zu machen, einfach seinen Sternkatalog durch Vermehrung der Längen des Hipparch'schen Katalogs um $2^\circ 40'$ erstellte - also nur einen der Zwischenzeit entsprechenden Betrag der Präzession anbrachte. Grasshoff berechnete die Sternkoordinaten einschließlich $2^\circ 40'$ und kommt zu dem Schluß, daß Ptolemaios den verschollenen Katalog seines großen Vorgängers nicht abschrieb. Zu diesem Ergebnis kommt auch O. Pedersen in seinem kompetenten Buch "A Survey of the Almagest" (1974) - einem für unsere Untersuchungen sehr nötigen Werkzeug. Darin merkt er an, daß Ptolemaios

9. Fortsetzung Gastvortrag: Probleme und Genauigkeit bei Ptolemaios

(Almagest VII, 1) erwähnt, daß "... Hipparch's Aufzeichnungen über die Fixsterne, die wir vorzugsweise zur Vergleichung herangezogen haben, uns in tadelloser Fassung überliefert sind". Diese zur Zeit des Ptolemaios vorhandenen Berichte hätten jedem Astronomen ein Plagiat erkennen lassen können, wäre es von Ptolemaios begangen worden.

Nebenbei bemerkt ist es richtig, daß Copernicus seinen Sternkatalog in "De Revolutionibus .." Lib.V. von Ptolemaios übernommen hat; anders als bei Ptolemaios regte das niemand auf.

Die Berechnung der Sternkoordinaten aus den Sternphasen geschieht durch Umkehrung der oben genannten Formeln, je nachdem, welche Daten vorliegen. Vogt schreibt aber "... mehr als die Hälfte aller Hipparch'scher Zahlenangaben - 473 von 881 - sind schon Koordinaten".

Der einfachste Fall liegt vor, wenn Mitkulminationen F_5 und Breiten gegeben sind; die Ekliptikschiefe wird entsprechend zu $23,86^\circ$ genommen. Dann ist $\tan \alpha = \tan F_5 \cdot \cos \epsilon$ und α folgt sofort. Wenn α und F_2 oder F_4 bekannt sind, folgt aus $\tan \vartheta = \tan F_2 \cdot \cos \epsilon$ und mit $t = \alpha - \vartheta$ weiter δ aus $\tan \delta = -\cos t / \tan \varphi$. Mehr Arbeit machen die Fälle, in den F_1 oder F_3 gegeben sind; dazu wird zusätzliche Information gebraucht. Aber Hipparchos gibt genug Daten, die mit einander verbunden zu Sternkoordinaten führen.

Ekliptikale Längen und Breiten der Sterne können also nach der Methode von Vogt, viel einfacher aber durch eine einfache Koordinaten-Transformation erhalten werden.

Das Buch von Grasshoff ist sehr vollständig und aktuell; es enthält einen Sternatlas in Form eines Computerausdrucks, wo für jedes Sternbild alle Sterne und Sternhaufen bis zur Größe 6,0 gezeichnet und die 1022 Sterne des Kataloges von Ptolemaios markiert sind.

Es ist wert zu erwähnen, daß keines der modernen Bücher sich mit einem anderen Werk von Ptolemaios befaßt, den "Phaseis". Es enthält eine recht interessante Untersuchung der Auf- und Untergänge von Sternen und viele Einzelheiten dazu. Da es keine moderne Übersetzung dieses Werkes ins Englische gibt, plane ich eine solche samt astronomischem Kommentar, um das sonst vorzügliche Werk von Vogt (1920) zu aktualisieren.

STERNBEDECKUNGEN DURCH DEN MOND

Grasshoff untersucht kurz die Bedeckung von Spica, -282 11 08, und

10. Fortsetzung Gastvortrag: Probleme und Genauigkeit bei Ptolemaios

kritisiert R.R. Newton, der die Beobachtung verwirft, weil sie zu genau ist!

Wie auch immer, eine eingehende Rückrechnung und Untersuchung von Mondfinsternissen unter Verwendung der Sternörter aus dem Fundamentalkatalog FK5, der Mondtheorie von Brown/Eckert/Vondrák und zusätzlich jener von Chapront, liefert die in Tabelle 5 (Abb.5) und den Figuren 1-5 mit richtigen Positionswinkeln (Abb.6) dargestellten Ergebnisse. Dabei folgen wir der Methode von J.Meeus.

Sternbedeckungen sind im allgemeinen nützlicher zur Bestimmung von $\Delta T = DT - UT$, des Unterschiedes zwischen dynamischer Zeit DT und der Weltzeit UT, als andere Erscheinungen. Es wäre erwünscht, von Ptolemaios neue Werte zur Verbesserung von ΔT zu gewinnen; wie auch immer, wie uns Tabelle 5 zeigt, reichen die ΔT -Ansätze von Spencer Jones (1939) sowie Stephenson & Morrison (1984) hin und es besteht keine Notwendigkeit, neue zu erfinden. Die Ergebnisse können mit URANIASTAR geprüft werden.

Tabelle 5

Nr.	Datum	Ort: Länge, Breite (°)	Stern, Beobachter, Anmerkung Uhrzeit UT, Mond Chapront
1.	-294 12 21	Alexandria -29.90 31.20	β Sco. Timocharis Geozentrische Konjunktion in λ ; 4 ^h 41
2.	-293 03 09	" "	Spica. Timocharis Anfang 18 ^h 25, Ende 19 ^h 41
3.	-282 01 29	" "	Electra, Merope, Alcyone, Pleione. Timocharis Anfang 15 ^h 42, 15 ^h 32, 16 ^h 23, 17 ^h 29 Ende ----- 16 57 17 48 18 40
4.	-282 11 09	" "	Spica. Timocharis Konjunktion. Min.Distanz um 0 ^h 19
5.	92 11 29	Bithynien -29.79 40.58	Taygeta, Maia, Asterope. Agrippa Anfang 15 ^h 09, 15 ^h 33, 15 ^h 33 Ende 16 16 16 15 16 44
6.	98 01 11	Rom -12.45 41.92	Spica. Menelaos Anfang 3 ^h 42, Ende 5 ^h 01
7.	98 01 14	" "	β Sco. Menelaos Anfang 6 ^h 23, Ende unsichtbar; Tag

Abb.5: Sternbedeckungen durch den Mond und Konjunktionen Mond/Stern aus dem Almagest, rückgerechnet mit der Mondtheorie von Chapront. Die Uhrzeiten, die URANIASTAR gibt, sind wegen etwas anderem ΔT und der Mondtheorie von Brown/Eckert/Vondrák geringfügig unterschiedlich: Beispiel dafür, wie nahe sich moderne Theorien bereits selbst bei Anwendung im Altertum gekommen sind.

11. Fortsetzung Gastvortrag: Probleme und Genauigkeit bei Ptolemaios

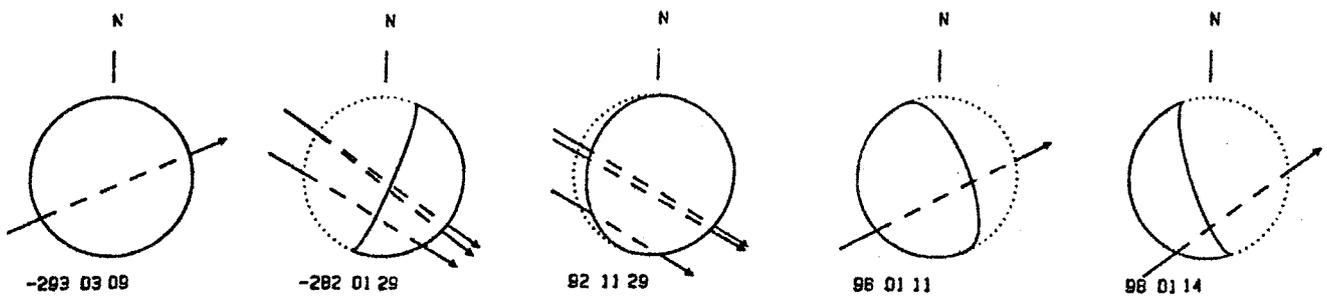


Abb.6: Verlauf der Sternbedeckungen Nr.2, 3, 5, 6 und 7 (Tabelle 5)

Ich arbeite an einer genaueren Untersuchung mit dem Ziel, ΔT aus verschiedenen Beobachtungen im Almagest unabhängig zu bestimmen. In jedem Fall haben wir Ptolemaios dafür zu danken, daß er uns in-stand setzt, ΔT über ein Intervall von rund zweitausen Jahren zu studieren.

Im Almagest VII, 3 berichtet er über ein Datum, gegeben in der Kal-lippischen Periode: -294 12 21 beobachtete Timocharis in Alexandria, daß der Mond $\kappa\alpha\tau\epsilon\lambda\eta\phi\upsilon\iota\alpha$ den Stern β Scorpii. Nun haben Schjellerup und Fotheringham festgestellt, daß dieses griechische Wort "zurück-lassen", "zu berühren scheinen" bedeutet, und nicht "bedecken". Jeder kann mit URANIASTAR prüfen, daß es keine Bedeckung gab, aber fairerweise muß gesagt werden, daß schon Schjellerup von einer "Kon-junktion" und Fotheringham davon sprach, daß "der Mond den Stern ge-rade verfehlte".

Ein anderes Beispiel ist die Spica-Bedeckung, die Timocharis in Alexandria -293 03 09 beobachtete. Ptolemaios berichtet uns: "Spica ging durch [den Mond], indem sie von seinem Durchmesser genau den dritten Teil nach Norden zu abschnitt." Nach J.Meeus begann sie um 18^h25 und endete um 19^h41; die Distanz war 0,13 Monddurchmesser. Man muß bedenken, daß der Mond praktisch voll war, was sicher die Beobachtung störte; auch kann der mehr als vierhundert Jahre alte Bericht nicht ganz einwandfrei gewesen sein.

Die Plejaden-Bedeckung -282 01 29 ist recht interessant und wurde schon im Seminar 1992/1993 von Ing.M.Pietschnig behandelt, eine klare, von jedermann wiederholbare Veranschaulichung.

Die Konjunktion Mond/Spica hat schon Encke berechnet und gezeigt, daß die Minimaldistanz Spica-Mondrand 1'13" war.

Die Plejaden-Bedeckung 92 11 29 erfolgte so, daß, wie Ptolemaios schreibt, "der Mond mit dem südlichen Horn den nachfolgenden Teil der Pleias bedeckte", was bestätigt wird.

Ähnlich gut ist die berühmte Spica-Bedeckung 98 01 11 von Menelaos.

12. Fortsetzung Gastvortrag: Probleme und Genauigkeit bei Ptolemaios

Auch die Bedeckung von β Sco 98 01 14 entspricht gut; obwohl man sie ausgeschlossen hat, fand sie statt und kann ohne Schwierigkeit am Bildschirm mit URANIASTAR dargestellt werden.

ÄQUINOKTIEN UND SOLSTITIEN

Zusätzlich zur Schlußfolgerung von Laplace (6.Forts.) zeigt ein Vergleich mit der VSOP87-Theorie von Bretagnon, daß die tatsächlichen Werte gegenüber jenen von Ptolemaios von -158 bis -127 um 3,6 und von +132 bis +140 um 30,6 Stunden differieren. Das paßt den Ergebnissen Schochs (Planetentafeln für Jedermann) und zeigt erneut, daß Ptolemaios beobachtete, obwohl er ein schlechterer Beobachter als seine Vorgänger war und sich nicht scheute, das zu zeigen - und damit ist er das Gegenteil eines Betrügers! Das Programm PTOLEMY stimmt mit dem Almagest überein, weil es getreu dessen wirkliche Fehler enthält, d.h. das als fest angesehene Aphel von Hipparchos bei $\lambda = 65^{\circ}30'$ (Almagest III, 4). Als letzte Kuriosität in den Angriffen auf Ptolemaios sei das sonst vorzügliche Buch von S.Nakayama, "A History of Japanese Astronomy", Cambridge 1969 genannt: Dort werden Beobachtungen von Äquinoktien und Solstitien aus China (-883 bis +1250) mit jenen im Almagest und bei Ibn Yunis (+830 bis +851) verglichen. Kurioserweise ist der Autor glücklich, daß die chinesischen Daten mit Newcomb's Theorie "innerhalb eines Tages" übereinstimmen, aber er kritisiert Ptolemaios, weil seine Angaben ähnliche Fehler haben.- Das ist wohl unfair.

SCHLUSSFOLGERUNG

Um die Modelle und Daten bei Ptolemaios vollständig zu kommentieren, müßte tiefer in alle Berechnungen und Darlegungen gegangen werden und das würde offensichtlich viel Zeit erfordern. Immerhin wurden die Hauptpunkte untersucht und jedermann kann seine eigenen Schlußfolgerungen ziehen. Was ich einfach zeigen möchte ist, daß durch das ganze Mittelalter von Al Chwarismi über Alphons X. den Weisen zu Zacutus bis hin zu Regiomontanus und Copernicus der Almagest die Quelle der Berechnungsmethoden der astronomischen Phänomenologie gewesen ist. Er wurde zu Recht "Der Größte" anstelle von "Syntaxis" genannt, weil er das angesehenste Buch war, das die genaue Berechnung von Himmelsereignissen ermöglichte. O.Neugebauer, - für mich der größte Astronomie-Historiker - bezeichnete den Al-

13. Fortsetzung Gastvortrag: Probleme und Genauigkeit bei Ptolemaios

magest als "Grundpfeiler aller antiken und mittelalterlichen Astronomie". Wenn moderne Kritik versucht, Ptolemaios anzugreifen, ist das nur eine sterile Auseinandersetzung, die all die historischen Verdienste dieses Werkes außer Acht läßt, das für Jahrhunderte tatsächlich *das* "Handbuch der Astronomie" war und bis heute eine Fundgrube von Informationen ist.

Es ist gewiß auch unseriös, Kritik bis auf die Zeitminute zu üben. Selbst in unseren Tagen sind wir nicht sicher, ob beispielsweise die Mondtheorie von Chapront, die für die Flüge zum Mond benützt wurde, für die antike Geschichte viel besser ist als die von Brown/Eckert/Vondrák. Was nach all dem historisch wichtig bleibt, ist die Stärkung der Geschichte selbst - das sind ihre Monumente, Dokumente und Menschen.

LITERATURVERZEICHNIS

- Des Claudius Ptolemaeus Handbuch der Astronomie, übersetzt von K. Manitius, Teubner, Leipzig 1912, 1913**
Claudii Ptolemaei Opera quae exstant omnia, ed. J.L. Heiberg, Teubner, Leipzig 1907
G.J. Toomer, Ptolemy's Almagest, Duckworth, London, 1984
J.B. Delambre, Histoire de l' Astronomie ancienne, Paris 1817
F.K. Ginzel, Spezieller Kanon der Sonnen- und Mondfinsternisse, Berlin 1899
O. Neugebauer, History of Ancient Mathematical Astronomy, Springer, Berlin 1975
O. Neugebauer, Astronomical Cuneiform Texts, Springer, New York 1983
J. Meeus- H. Mucke, Canon of Lunar Eclipses - 2002 to +2526, Astron. Büro, Vienna 1983
Nicolai Copernici Opera Omnia, Varsaviae-Cracoviae, 1975
R. Billard, L' Astronomie indienne, Paris 1971
F.X. Kugler, Sternkunde und Sterndienst in Babel, Münster am Westfalen 1907
A. Sachs- H. Hunger, Astronomical Diaries and Related Texts from Babylonia, I, II, Wien Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, 1988, 1989
G. Grasshoff, The History of Ptolemy's Star Catalog, Springer, New York 1990
H. Vogt, Der Calender des Claudius Ptolemaeus, Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissensch., Heidelberg 1920
H. Vogt, Versuch einer Wiederherstellung von Hipparchs Fixsternverzeichnis, Astronomische Nachrichten, 224, Nr. 5354-55, 1925
H.C.F.C. Schjellerup, Recherches sur l' Astronomie des Anciens, Urania, I, 1881
L.B. van der Waerden, s.v. Klaudios Ptolemaios, Pauly's Realenzyklopaedie der Classischen Altertumwissenschaften, Kol. 1788-1859
L.B. van der Waerden, Erwachende Wissenschaft, II, Birkhäuser 1980
J. Meeus, Astronomical Algorithms, Willman-Bell, Richmond 1991
J. Meeus, Astronomische Algorithmen, J.A. Barth, Leipzig 1994
J. Kepler, Gesammelte Werke, Bd. II, Astronomiae Pars Optica, Muenchen 1939
O. Pedersen, A Survey of the Almagest, University Press, Odense, 1974
N.M. Swerdlow- O. Neugebauer, Mathematical Astronomy in Copernicus' De Revolutionibus, Springer, New York 1984
O. Neugebauer, The Exact Sciences in Antiquity, Providence 1957
F. Rochberg-Halton, Aspects of Babylonian Celestial Divination: The Lunar Eclipse Tablets of Enūma Anu Enlil, Archiv für Orientforschung, Horn 1988
H. Hunger-D. Pingree, MUL.APIN An Astronomical Compendium in Cuneiform, Archiv für Orientforschung, Horn 1989
K. Schoch, Planeten- Tafeln für Jedermann, Berlin-Pankow 1927
S. Nakayama, A History of Japanese Astronomy, Harvard University Press, 1969

Dr. Ing. Salvatore de Meis, Via Tortona 76, I-20144 Milano, Italia.

Gastvortrag: Südwestarabische Sternkalender

Dieser Begleittext enthält Ausschnitte aus dem gleichnamigen Buch

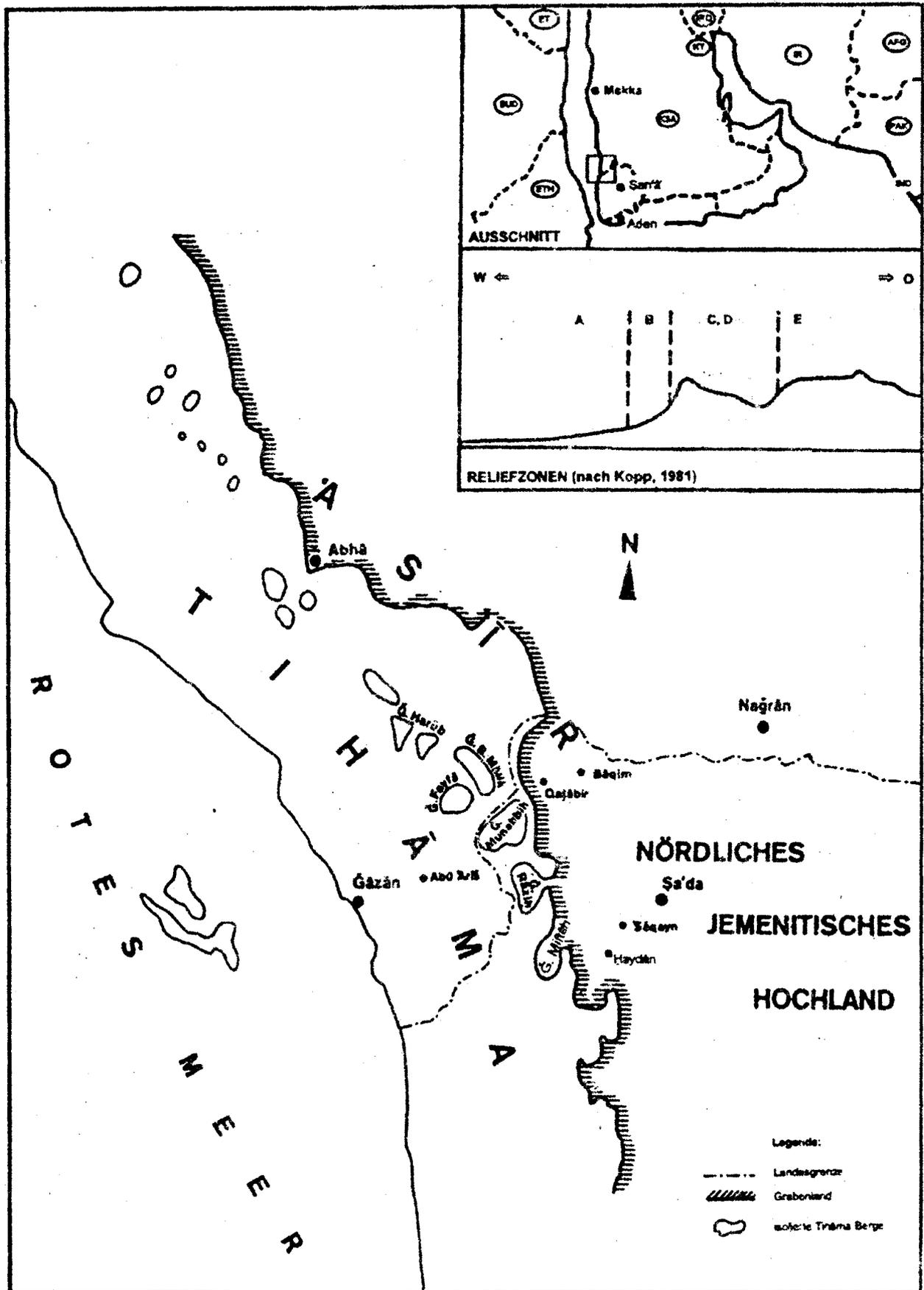
Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Gingrich, Andre:
Südwestarabische Sternkalender : eine ethnologische Studie zu Struktur, Kontext und regionalem Vergleich des tribalen Agrarkalenders der Munebbih im Jemen / Andre Gingrich. - Wien : WUV-Univ.-Verl., 1994
 (Wiener Beiträge zur Ethnologie und Anthropologie ; Bd. 7)
 ISBN 3-85114-141-5
 NE: GT

Inhalt:

A. Verzeichnis der Diagramme, Kartenskizzen, Tabellen und der Sternkarte	III	4.3 Der Agrarkalender der Munebbih im Nord-Süd-Vergleich.....	206
B. Abkürzungsverzeichnis	V	4.3.1. Zentraljemenitisches Hochland	206
1. EINLEITUNG, FRAGESTELLUNG UND METHODE	1	4.3.1.1. Neuere jemenitische Zusammenfassungen	206
2. PROLOG: HISTORISCHER UND SOZIALER ÜBERBLICK ZUR GESELLSCHAFT DER MUNEbbIH	11	4.3.1.2. Übersicht zu einigen mündlich erhobenen Agrarkalendern	215
3. NATÜRLICHE UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT	27	4.3.2. Kommentar zu den Agrarkalendern bei Landberg und Serjeant	223
3.1. Überblick zu den kulturökologischen Rahmenbedingungen am G. Munebbih	27	4.3.3. Südlicher Hügelland	228
3.1.1. Naturräumliche Einordnung im Umland: Höhenstufen, Bergmassive und Hauptfluttäler	27	4.4. Zusammenfassung der vergleichenden Untersuchung des Agrarkalenders der Munebbih	233
3.1.2. Naturräumliche Begrenzungen und Subzonen des G. Munebbih	36	4.4.0. Methodische Zusammenfassung	233
3.1.3. Agroklimatische Verhältnisse am G. Munebbih	45	4.4.1. Analyse der räumlichen Verteilung von Kalendertypen und Terminologien	238
3.1.4. Agrarische Nutzungsräume am G. Munebbih	55	4.4.1.1. Kalendertypen	238
3.1.5. Demographische Faktoren, Raumkonzeption und Zusammenfassung	67	4.4.1.2. Räumliche Verteilung der Kategorien von arwä-Terminologie	241
3.2. Traditionelles landwirtschaftliches Produktionssystem und Agrarzyklus der Munebbih	76	4.4.1.3. Zur räumlichen Verteilung der qirān-Sequenz	242
3.2.0. Vorbemerkung	76	4.4.2. Interpretationen und Hypothesen zur räumlichen Verbreitung der südwestarabischen Agrarkalender	244
3.2.1. Landwirtschaftliches Produktionssystem	78	5. EPILOG: STERNENKALENDER, ZEITVERSTÄNDNIS UND TRIBALES WELTBILD	267
3.2.2. Agrarzyklus	102	6. ZUSAMMENFASSUNG, HYPOTHESEN UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	279
3.2.2.1. Zugvieh	103	6.1. Ethnographische und kulturhistorische Zusammenfassung	278
3.2.2.2. Der Getreideanbau im Jahreszyklus	109	6.2. Ethnologische Schlußfolgerungen	284
4. DER AGRARISCHE STERNENKALENDER DER MUNEbbIH. ANALYSE UND REGIONALER VERGLEICH	145	7. ANMERKUNGEN UND BIBLIOGRAPHIE	293
4.0. Methodische Vorbemerkung	145	7.1. Anmerkungen	293
4.1. Die "weißen Sterne" und die "Sterne des Himmelsgewölbes" der Munebbih. Beobachtungsgrundlage und Rechnungssystem	148	7.2. Bibliographie	323
4.2. Der Agrarkalender der Munebbih im "West-Ost"-Vergleich	178	8. INDEX ARABISCHER TERMINI	339
4.2.1. Bawṣān	178	8.1. Astronomische Bezeichnungen und Termini der geistigen Kultur	339
4.2.2. Umland von Sa'āda	186	8.2. Eigennamen von Personen, tribalen und anderen sozialen Gruppen	342
4.2.3. Abū 'Arīṣ	197	8.3. Orts- und Gebietsnamen	344
4.2.4. Zusammenfassung von 4.2.	200	8.4. Sachbegriffe aus Flora, Fauna, Klima, Landwirtschaft und materieller Kultur	346

1. Fortsetzung Gastvortrag: Südwestarabische Sternenkaleender



4.1. Die "weißen Sterne" und die "Sterne des Himmelsgewölbes" der Munebbih: Beobachtungsgrundlage und Rechnungssystem

Das islamische Kalenderjahr beruht auf Mondmonaten. Dieses Mondjahr ist daher um etwa 11 Tage kürzer als das Sonnen- und Vegetationsjahr. In der klassischen arabischen Literatur ist seit der islamischen Zeitrechnung die Beobachtung der Mondmonate auch mit dem System der sogenannten manāzil al-qamar, den "Mondstationen" oder "Stationsgestirnen" verknüpft.

Die Beobachtung dieser manāzil umfaßt zwei Aspekte: Die arabische Literatur faßt unter der Bezeichnung der manāzil jene 28 Sterne, Sterngruppen und Himmelsstellen zusammen, an denen (mehr oder minder regelmäßig) der Mond nacheinander vorübergeht, bei denen er also jeweils in einer anderen Nacht "Station macht". Die gleichen 28 Sterne, Sterngruppen und Himmelstellen gehen zugleich während jedes Sonnenjahres in 13-tägigen Abständen nacheinander auf und unter, sodaß an Hand ihrer sichtbaren Auf- und Untergänge das Vegetationsjahr in gleiche Abstände unterteilt werden kann.

Die Mondstationen können auf Grund der Mondbewegungen manchmal nur entfernt oder (etwa in den Perioden, in denen diese Sterne oder Sterngruppen nachts unsichtbar sind) auch überhaupt nicht beobachtet werden. Im Prinzip aber sieht die Theorie 28 solcher Mondstationen vor: Jede Nacht mache der Mond in regelmäßiger Abfolge bei einer anderen von ihnen Station; alle 13 Morgen durchlaufe eine von ihnen ihren Frühaufgang. Dementsprechend sind die Stationsgestirne in der arabischen Literatur mit Nummern von 1 bis 28 versehen worden.

Seit den Arbeiten von Pellat und Kunitzsch ist es zur wissenschaftlichen opinio communis geworden, daß die regelmäßige Ausgestaltung auf 28 Stationsgestirne mit Abständen zwischen ihren Frühaufgängen zu 13 Tagen als eine historisch relativ junge Entwicklung angesehen wird. "Die Mondstationen und ihre Namen stellen ein eigenartiges Konglomerat dar, das als zweifellos jüngere Schicht über den echten alten Namen lagert". Die Ausgestaltung dieser Schicht zu einem einheitlichen System dürfte nach Pellat und Kunitzsch in den letzten vorislamischen Jahrhunderten eingesetzt haben, "since the term manāzil is already mentioned in the Kurʾān (X, 5; XXXVI, 39)".

Die ausschließliche Beachtung des Mondjahres würde für islamische Bauern unlösbare Schwierigkeiten mit sich bringen, da sich Vegetationszyklen und die

damit verbundenen Anbau- und Erntezeiten nach dem Sonnen- und nicht nach dem Mondjahr richten. Das System der manāzil kann daher als eine Möglichkeit interpretiert werden, um diese und ähnliche Schwierigkeiten zu lösen: "... der Umlauf des Mondes (wird) auf 28 Sterngruppen bezogen, die jeweils einem Tag des Mondlaufs entsprechen, also durchschnittlich einen Bogen von 13° decken. Die heliakischen Untergänge dieser Stationen, arabisch Nawʾ, pl. Anwāʾ, sind für den Eintritt und die Vorhersage der Witterungserscheinungen und der dadurch bedingten Fruchtbarkeit oder Unfruchtbarkeit, also für den Bauernkalender, von ausschlaggebender Bedeutung." 28 (anwāʾ der manāzil) x 13 (12 Abstände zu 13 + einem zu 14 Tagen) + 1 ergibt 365 Tage, also etwa die Tage des Sonnenjahres. Dies böte auch einfachen Bauern theoretisch die Möglichkeit, auf der Grundlage der Mondmonatsrechnung zugleich und darüber hinaus auch den Zeitablauf des Sonnenjahres zu beachten. Tatsächlich ist dies in mehr oder minder starkem Maße auch der Fall, allerdings weniger in Südarabien als eher in Nord- und Zentralarabien, wo das arabisch-islamische System der Mondstationen ja historisch entstanden und auch ausgebildet worden sein dürfte. Aber auch dort scheinen die frühesten schriftlichen Quellen auf die Verwendung eines bloß "fragmentarischen" Systems zu verweisen, welches nicht alle 28 Mondstationen, sondern nur einen Teil davon umfaßt.

Dies könnte erstens damit zusammenhängen, daß nicht alle 28 Stationen tatsächlich mit freiem Auge gut identifizierbar und sichtbar und daher für praktisch-phenomenologische Zwecke auch nicht in gleichem Maße geeignet sind (wie etwa Mondstationen 1 oder 22-25). Der "Fragmentcharakter" der frühen, als anwāʾ beobachteten manāzil ist zweitens in Zusammenhang mit der Tatsache zu sehen, daß die Stern- und Himmelsbeobachtung für die praktischen Arbeitsphasen des Agrarjahres nicht zu allen Jahreszeiten in gleicher Weise nötig ist, sondern nur in bestimmten wirtschaftlichen Schlüsselperioden. Halten wir also nochmals fest, daß:

- die Beobachtung der Stationsgestirne oder manāzil zwei empirische Bezüge und damit gleichsam einen "Doppelcharakter" hat, nämlich einerseits die monatliche Beobachtung des Zusammentreffens dieser Gestirne mit dem Mond und zweitens die Unterteilung des Sonnenjahres in regelmäßige Abstände zu 13 Tagen, an Hand der Horizontereignisse derselben Sterne und Sterngruppen.
- dieses System der Stationsgestirne eine relativ späte Entwicklung darstellt und eher in Zentral- und Nordarabien als in Südarabien verbreitet ist.

Selbst dort ist es aber in seiner vollen Ausgestaltung auf 28 Teile eher theoretischer Bestandteil schriftlicher Überlieferungen und der klassischen arabischen Literatur, während man sich im bäuerlichen Alltag eher auf die weniger komplexe Beobachtung von zeitlich passenden und gut sichtbaren Fragmenten beschränkt, die daher weniger als 28 Elemente umfassen.

Unter diesem Gesichtspunkt überrascht es nicht, daß die bäuerlichen Agrarkalender im entlegenen Süd- und Südwestarabien noch stärker von den 28 Stationsgestirnen abweichen. Bereits E. Glaser hat auf diese Gegebenheiten im Jemen ausdrücklich verwiesen: "Dabei ist bemerkenswert, dass die eigentliche arabische Astronomie mit ihren Burūdġ (Tierkreiszeichen, A.G.) und Manāzil des Mondes sowohl als der Sonne hier nur bei den gelehrten Städtern bekannt ist und verhältnismässig wenig bei dem System der Kabylen mitspielt. Die beispielshalber im Naġd sehr geläufigen Bezeichnungen Sa'd el Bula°, Sa'd el Akhbġja, Sa'd es Su'ūd, die dort zur Abgrenzung von Jahreszeiten dienen, sind unseren Beduinen im Jemen unter diesem Namen gegenwärtig fast unbekannt."

Für Südwestarabien stellt sich daher die Aufgabe, diese Abweichungen vom System der manāzil hinsichtlich ihrer himmelskundlichen Identifikation, ihrer daraus resultierenden Datierung und der damit verbundenen lokalen Terminologie zu dokumentieren, was bei weitem noch nicht wissenschaftlich vollzogen ist und wozu daher in dieser Arbeit ein Beitrag geleistet werden soll. Erst auf Grundlage derartiger Dokumentationen kann daran gegangen werden, den Charakter dieser Abweichungen auch umfassend zu beurteilen und zu interpretieren. D. Varisco hat auf der Basis von nur zwei jemenitischen Kalendern meines Erachtens zu voreilig geschlossen, daß die südarabischen Abweichungen lokale Substitutionen sind, womit man im Jemen das zu komplizierte System der manāzil fallweise durch einfacher beobachtbare lokale Sterne ersetzt habe. In Variscos Interpretation wird also davon ausgegangen, daß dieses System der Stationsgestirne auch im Jemen historisch älter als eine angenommene spätere Substitution durch abweichende Lokalsterne sei.

Ich selbst kann mich dieser Hypothese nicht a priori anschließen. Rein theoretisch ist es mindestens ebenso denkbar, daß diese süd- und südwestarabischen Abweichungen selbst aus einer historisch älteren Schicht als jene der Mondstationen stammen, daß deren Tradierung in dieser alten Agrarregion bis heute fort dauert und vom komplizierten System der Stationsgestirne zu einem späteren Zeitpunkt zwar manchmal überlagert, aber nie völlig verschüttet worden sein

könnte. Wir werden daher am Ende dieses Kapitels auch diese zweite Interpretationsmöglichkeit in Erwägung zu ziehen haben, nach Abschluß der davor notwendigen Analysen und Vergleiche des Agrarkalenders der Munebbih.

Unter diesen Prämissen gilt es vorerst, die beiden in Tab. 7 präsentierten Teilsysteme der "weißen Sterne" und der "Sterne des Himmelsgewölbes" näher zu untersuchen, aus denen der Agrarkalender der Munebbih zusammengesetzt ist. Schon diese Zusammensetzung selbst ist bereits eine auffällige Abweichung von der homogenen und kodifizierten Fassung der 28 Stationsgestirne, die durchgehend nach einem einheitlichen Gesichtspunkt aufgebaut sind. Wir behandeln zunächst jedes dieser beiden Teilsysteme gesondert.

Die "weißen Sterne" werden von den Munebbih manchmal auch "am anwā", sing.: am naw' genannt. Dies bezeichnet hier aber, wie erwähnt, häufiger die Himmelsrichtung Westen und die von dort kommenden Regenwinde zu Winterbeginn. Mit dem in arabischer und westlicher Literatur gebräuchlichen Terminus anwā' ist zugleich auch die Phänomenologie und Funktionsweise dieses Kalenderteils im Prinzip expliziert, für den in der Folge auch für den Fall der Munebbih die Kurzform anwā' gebraucht wird.

In der klassischen arabischen Lexikographie und Astronomie bezeichnet "naw" meist den Frühuntergang eines Sternes oder einer Sterngruppe und den gleichzeitigen Frühaufgang seines (ihres) Gegenübers, des raqġb. In West- und Südwestarabien wie auch in manchen literarischen Belegstellen meint "naw" ebenso häufig aber auch den Spätauf- und -untergang. Damit kann "naw" im Prinzip die vier möglichen Arten von Horizont-Ereignissen bezeichnen, die derselbe Stern oder die dieselbe Sterngruppe während eines Jahres durchläuft. In der Terminologie von Ideler und P. V. Neugebauer sind in dieser zeitlichen Reihenfolge im Jahr zu unterscheiden: Spätuntergang (Westen), Frühaufgang (Osten), Frühuntergang (Westen), Spätaufgang (Osten). Die für den Munebbih-Kalender (und alle anderen gegenwärtigen jemenitischen Agrarkalender) beobachteten ekliptiknahen Sterne und Sterngruppen sind in der Zeit zwischen ihrem Spätuntergang und dem darauf folgenden Frühaufgang mindestens 6 Wochen unsichtbar. Jede(r) dieser Sterne oder Sterngruppen durchläuft also zu vier verschiedenen (sich nur langfristig verändernden), relativ konstanten Zeitpunkten im Sonnenjahr jeweils eines der genannten Horizontereignisse, einen seiner naw'/anwā'. (Die Sternkarte zeigt für das Jahr 1986 den Spätaufgang der Plejaden am Osthorizont ohne Sichtungsbogen an). Die beiden Unter-

gänge eines ekliptiknahen Stermes (Sterngruppe) ereignen sich in einem Abstand von etwa einem halben Jahr, ebenso die beiden Aufgänge.

Im übertragenen Sinn bedeutet *naw'* den Zeitabstand zwischen zwei aufeinander folgenden Auf- oder Untergängen zweier Sterne (Sterngruppen). Mit wenigen Ausnahmen sind die 18 *naw'*-Phänomene in der Sequenz der "weißen Sterne" der Munebbih Spätuntergänge (*gurüb*) (während die Sterne der 28 Mondstationen meist als Frühauf- oder untergänge beschrieben werden).

Die Pluralform *anwä'* bedeutet somit eine Vielzahl derartiger stellarer Horizont-Ereignisse, also meist eine Serie oder Abfolge davon; weiters wird mit *anwä'* das gesamte System der Zeitrechnung nach diesen Zeitabschnitten zwischen *naw'*-Ereignissen bezeichnet. Nochmals sei klargestellt, daß zwar jeder Stern der *manāzil* ebenfalls *anwä'* durchläuft, daß aber umgekehrt nicht jeder Stern, der einen *naw'* durchläuft, auch Stationsgestirn ist.

Damit ist die Methode der Zeitrechnung nach den *anwä'* bei den Munebbih im Prinzip bereits charakterisierbar. Der Stern (oder die Sterngruppe), der in das betreffende Horizont-Ereignis eintritt, gibt dem aktuellen Zeitabschnitt den Namen. Dieser währt bis zum Beginn des nächsten Horizontereignisses eines anderen Stermes (Sterngruppe). Im Fall der "weißen Sterne" der Munebbih blickt der Beobachter also in der Regel (bei Spätuntergängen) abends nach Westen,

STERNKARTE

Spätaufgang der Plejaden (Fadenkreuz) auf der geographischen Breite des Nordwestens der AR Jemen.

Die Sonne steht 28° unter dem Horizont, die Karte zeigt Sterne bis $+5,0^{\text{mag}}$. Ausdruck: Ing. M.Pietschnig, Wien, *URANI STAR / STERNKARTE*.

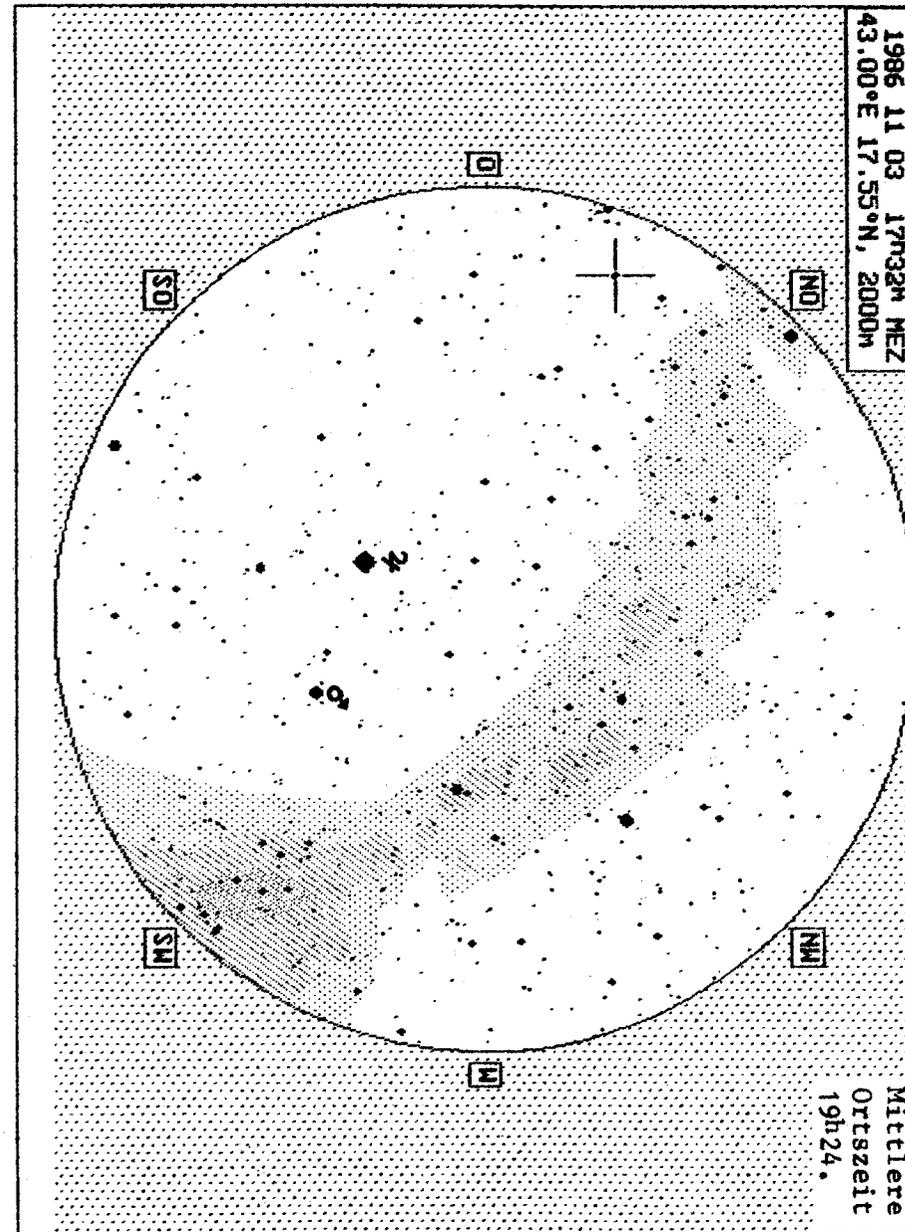


Tabelle 7: Agrarzyklus, Sternenkalender und Klimaerfahrungen der Munebbih

I: ARBEITSPHASEN DES GETREIDEANBAUJAHRES	II: SEQUENZEN UND TERMINOLOGIE DER STELLAREN JAHRES-ABSCHNITTE	III: KLIMAERFAHRUNGEN UND JAHRESZEITEN
HIRSE/HÜLSENFRÜCHTE Brache; Düngen Aufreißen, Aufpflügen Durchlockern, Glätten Pflügen Aussaat ayyām am sitt Ausspflücken Dazwischenpflügen der Boden wird lehmig (lamarraḥa) Jäten Erntewache, das Korn reift (tajla ^c am hebb) Hülsenfruchternte Hirsehalmernte Hirsekopfernte, Garbenbinden, Drusch, Worfeln, Sieben, Lagern WEIZEN (EMMER)/GERSTE Brache; Düngen Pflügen, Lockern bei oder nach waṣmi: Aussaat Jäten Erntewache Ernte, Drusch, Worfeln, Sieben, Lagern HIRSE/HÜLSENFRÜCHTE	<p style="text-align: center;">NUḠOM</p> <p>AM SIMT (qirānāt) qirān 5 (März)</p> <p>qirān 5 (April)</p> <p>qirān 3 (März)</p> <p>(qirān 17) (Oktober)</p> <p>qirān 15 (November)</p> <p>qirān 13 (Dezember)</p> <p>qirān 11 (Jänner)</p> <p>qirān 9 (Feber)</p> <p>qirān 7 (März)</p>	<p>AM BAYZAY (anwā')</p> <p>am Kāma (7.-11.4.) am Kāib (20.-24.4.) am Ġawzā' (3.-7.5.) am Mirzam (16.-20.5.) am Dira^c (29.5.-2.6.) am Šabūb (11.-15.6.) Alīb (24.-28.6.) am Šadd (7.-11.7.) Suhayl (20.-24.7.) Hāmis 'Allān</p> <p>am Sādi am Sābi^c</p> <p>am Tāsi^c 'Asir 'Allān</p> <p>am Hādī 'Ašwa</p> <p>am naw' (Westwind) bringt Winterregen (waṣmi) bei Wetterleuchten</p> <p>Kälte (bardin)</p> <p>RABI^cIN ("FRÜHLING")</p> <p>Nieseregen, Rückgang der Kälte (inḥafaza-m bard)</p> <p>Sonne (šamsin)</p> <p>STĒFIN ("Sommer")</p>
	<p>STĒFIN ("Sommer") ariyāh yamaniya, Südwinde bringen Frühjahrsregen</p> <p>danach trocken (yābis)</p> <p>ariyāh šarqiya (Ostwinde)</p> <p>nuḡūm am gubra (Nebel)</p> <p>nuḡūm am harr (Hitze)</p> <p>ayyām am maqṣūm (geteilte Tage) HARIF ('ALLĀN, "Herbst")</p> <p>"zwei Regensterne": šarqiya^c 'Allān ('Allān-Ostwind) trocken, warm</p> <p>ŠTAYIN ("Winter") am naw' (Westwind) bringt Winterregen (waṣmi) bei Wetterleuchten</p> <p>Kälte (bardin)</p> <p>Nieseregen, Rückgang der Kälte (inḥafaza-m bard)</p> <p>Sonne (šamsin)</p> <p>STĒFIN ("Sommer")</p>	

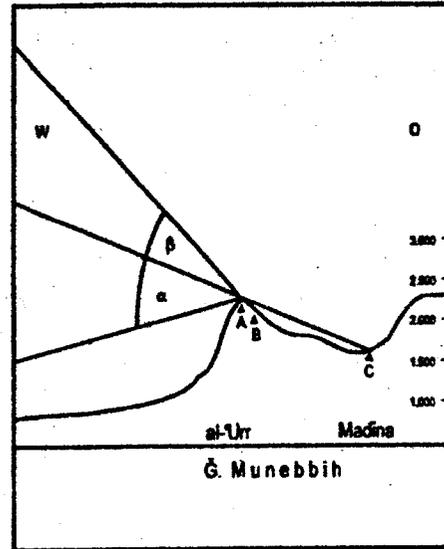
um zu erkennen, welcher der ihm bekannten Sterne gerade untergeht. Dieser gibt dem aktuellen Zeitabschnitt seinen Namen. Der Umgang mit der anwā'-Zeitrechnung beruht in seinem Kern auf diesem relativ einfachen, auf Erfahrung und Wissen beruhenden Beobachtungsvorgang.

Die Munebbih, ebenso wie die im zweiten Abschnitt dieses Kapitels erörterten Ġumāra- und Šahār-Verbände, bezeichnen (bei Spätuntergängen) den jeweils aktuellen Zeitabschnitt nach demjenigen "weißen" Stern, der als nächster untergehen wird: Ein anwā'-Zeitabschnitt der Spätuntergänge endet also, wenn der entsprechende Stern (Sterngruppe) am Abend bereits untergegangen ist. Der aktuelle anwā'-Zeitabschnitt ist nach jenem Stern (Sterngruppe) benannt, der als nächster im Westen untergeht. Der Zeitabschnitt geht also dem sichtbaren Ereignis (von Stern oder Sterngruppe gleichen Namens) in diesem Fall voran, während es sich beim Früh- und Spätaufgang umgekehrt verhält: Hier eröffnet das erste Sichtbarwerden des Sternes (Sterngruppe) in Horizontnähe den darauf folgenden, gleichnamigen Zeitabschnitt. Unter den bei den Munebbih beobachteten 18 naw'-Ereignissen befinden sich nur ein Spätaufgang und zwei Frühaufgänge.

Der sichtbare Spätuntergang beendet also den gleichnamigen Zeitabschnitt, der sichtbare Frühaufgang, der zu einem ganz anderen Zeitpunkt im Jahr stattfindet, eröffnet ihn. Eine Reihe von Datierungsschwierigkeiten mit südarabischen Kalendern scheint darauf zu beruhen, daß man all diese Gegebenheiten bei der Erhebung nicht genügend bedachte und manchmal überhaupt nicht erfragt wurde, welche der vier möglichen Arten von Horizont-Ereignissen die untersuchte Gruppe beobachtet.

Im Übrigen ist es selbstverständlich, daß in einem bäuerlich-tribalen Gemeinwesen, wie dem der Munebbih, ausschließlich das optische, also sinnlich wahrnehmbare stellare Ereignis und nicht das mathematisch-astronomische Phänomen mit naw'/anwā' gemeint ist. Dementsprechend finden die hier einzig interessierenden "sichtbaren" Ereignisse elliche Tage früher (Spätaufgang, Spätuntergang) oder später (Frühaufgang, Frühuntergang) als ihre exakten, mathematisch-astronomischen Korrelate statt. Diese "Sichtbarkeit" über dem Horizont ist durch den sogenannten "Sichtungsbogen" charakterisiert. Er ist in erster Linie bestimmt durch die konkrete Landschaftsgliederung, darüber hinaus aber auch bei wolken- und nebefreiem Wetter durch atmosphärische Trübungen am Horizont wie Luft oder Staub über Sandflächen und Dunst über dem Meer. In einer derart extrem kleingekammerten Landschaft, wie jener des Munebbih-Stammes-

Kartenskizze 5: 3 Beispiele für "Sichtungsbögen" im Stammesgebiet (Querschnitt)



des Sichtungsbogens: Bei vorwiegend gegebener Beobachtung des Westhorizontes differieren die Sichtwinkel um α) oder maximal $\alpha+\beta$) von der Sicht in Gipfel- oder Hauptkammlage.

Die Munebbih-Bauern mit Dorf-Standorten in mittleren Osthängen sehen die Spätuntergänge derselben Sterne (Sterngruppen) also um bis zu vier Tage früher als jene am al-Urr oder in Hauptkammlage. Soweit ich feststellen konnte, ist dies die maximale Datierungsdifferenz, die im Stammesgebiet horizontbedingt auftritt. Da man bei den Munebbih überall die gleichen Sequenzen stellarer Horizont-Ereignisse beobachtet, werden diese von den verschiedenen Siedlungsgruppen aus je nach Standort zu (maximal um vier Tage) differierenden Zeitpunkten wahrgenommen.

Dabei ist aber zu berücksichtigen, daß diese landschaftsbedingte maximale Differenz nicht zu jeder Jahreszeit gegeben ist. Wenn vom Gipfel des al-Urr aus der Horizont über dem Roten Meer mit einer dichten Dunstschicht überlagert ist, tritt der letzte von diesem Standort aus sichtbare Spätuntergang früher ein als bei klarer Sicht, was die Maximaldifferenz wiederum verringert. Tabelle 8 veranschaulicht nun einen derartigen Extremfall von "Maximaldifferenz": der 20.4. wird

gebietes (Höhendifferenzen bis zu 1700m innerhalb von maximal 17 km in der Ost-West-Richtung) und einer auf das Rote Meer hin orientierten Beobachtung spielt diese je nach Standort unterschiedliche Horizontausprägung eine nicht unwesentliche Rolle, wie Kartenskizze 5 veranschaulicht. Bei der Beobachtung der sichtbaren Spätuntergänge ergeben sich zwischen den in Kartenskizze 5 markierten Standorten in Gipfel- oder Hauptkammlage (A), jenen in mittleren Osthängen (B) und den Standorten unterhalb des Grabenrandes (C) deutliche Unterschiede

Tabelle 8: Maximale horizontbedingte Datierungsdifferenz am Beispiel Kama/Kalib

Gipfel- und Hauptkammlage	mittlere Osthänge	Gregorian. Kalender
7.	11.	17.4.
8.	12.	18.4.
9.	13.	19.4.
10.	1.	20.4.
11.	2.	21.4.
12.	3.	22.4.
13.	4.	23.4.
1.	5.	24.4.
2.	6.	25.4.

weiterhin der 20.4. wäre. In Tabelle 8 haben wir die maximale Spannweite dieser Datierungsunterschiede mit vier Tagen an einem Beispiel eingetragen. Diese Maximaldifferenz ist auch in Tab. 7 für die Anfänge der arwā'-Perioden eingesetzt.

Die Zeitrechnung nach den arwā' weist bei den Munebbih also dieselbe Terminologie und Sequenz, aber unterschiedliche, nicht auf den Tag genau übereinstimmende Datierung auf. Innerhalb desselben Stammesgebietes kann die Datierung vor allem "im Raum" variieren, und zwar je nach Standort und den daraus resultierenden Sichtwinkeln auf den vielgestaltigen Horizont.

In etwas geringerem Ausmaß kann die Datierung der arwā' aber auch "in der Zeit" von denselben Standorten aus variieren, nämlich von der Gipfelregion, der Kammlage und den hochgelegenen und auch noch den mittleren Westhängen aus: Von dort werden Spätuntergänge über dem Horizont des Roten Meeres beobachtet, der zu bestimmten Jahreszeiten durch die erwähnten atmosphärischen Trübungen besonders veränderlich sein kann. Diese zeitliche Veränderlichkeit der Datierung ist bei Standorten in den anderen Subzonen viel weniger wirksam, deren Westhorizont durch hochgelegene Bergrücken (G. Munebbih oder G. Fayfa) gebildet ist.

in einem Dorf im Osthang bereits als der erste Tag im Stern am Kalib berechnet, am Gipfel al-Urr (bei klarer Westsicht) hingegen als der zehnte Tag im Stern am Kama. Der erste Tag von am Kalib ist im einen Fall der 20.4., im anderen hingegen der 24.4. Bei dichtem Dunst über dem Roten Meer, dem Westhorizont der Gipfelregion, würde dort der Spätuntergang von am Kama eventuell schon am 22.4. gesehen werden können, so daß der 23.4. der erste Tag der Sternperiode von am Kalib wäre. Der hochgelegene Horizont für die Standorte am Fuß des Osthangs (nämlich die Linie des Hauptkammes) bliebe hingegen von dieser Dunstschicht über dem Meer unbeeinflusst, sodaß hier der erste Tag von am Kalib

Die Kalenderrechnung nach den anwā' ist bei den Munebbih also ein zeitlicher Bezugsrahmen, dessen Datierung nur mehreren benachbarten Dörfern oder Dorfgruppen mit annähernd gleicher West-Horizont-Sicht gemeinsam ist, aber nicht dem ganzen Stamm. Die relative, besonders in räumlicher Hinsicht ausgeprägte Variabilität dieses Aspektes der tribalen Zeitvorstellung ist für den westlichen Beobachter oder Leser zunächst irritierend. Sie verweist aber auf die empirische Grundstruktur dieser Art von Zeitrechnung: Die Kalenderrechnung nach den anwā' ist bei den Munebbih eine konkrete, sinnlich erfahrene und wahrnehmbare Zeitvorstellung. Die Stellung des jeweils sichtbaren konkreten Sterns (Sterngruppe) über dem Abendhorizont ist Signifikans im Hinblick auf den Zeitabschnitt bis zu seinem Verschwinden im Horizont; der Horizont selbst ist hier Signifikat. Dieser Zeitabschnitt ist optisch abzulesen als scheinbarer Raumabschnitt, der den betreffenden Stern am Abend noch von seinem Unsichtbarwerden im hellen Horizont trennt. Unter anderem ist diese Zeitvorstellung mit Hilfe der anwā' deshalb konkret und sinnlich, weil sie auf dem optischen Erkennen stellarer Konfigurationen und der Beobachtung ihrer räumlichen Distanz zum Horizont aufbaut - also pointiert formuliert: Weil sie sich die Zeit an Hand des Raumes vergegenwärtigt und vorstellbar macht.

Nun wird auch empirisch verständlich, warum diese anwā'-Rechnung bei den Munebbih den Namen "weiße Sterne" trägt: Die Beobachtung ist (mit drei Ausnahmen) jeweils auf denjenigen Stern (Sterngruppe) der Gesamtsequenz gerichtet, der sich als nächster dem Abendhorizont nähert und in ihm zu versinken scheint. Für die optische Wahrnehmung stellt sich dies so dar, daß er sich allabendlich aus dem bereits dunklen Abendhimmel immer mehr dem noch hellen Abendhorizont nähert, bis er in diesem schließlich nicht mehr erkennbar ist. Dann scheint der an sich schon helle Stern (Sterngruppe) im hellen Horizontstreifen aufgegangen oder "weiß geworden" zu sein.

Ein zweiter wichtiger Aspekt der Anschaulichkeit der anwā'-Zeitrechnung ist ihre allgemeine Einbindung in den Vegetationszyklus: Wenn es längere Zeit bewölkt oder neblig ist, und man daher keinen freien Blick auf den Horizont hat, blicken die Munebbih ebenso gut auf die Vegetation und nehmen das Austreiben verschiedener Zweige von Bäumen oder Sträuchern und das Aufknospen verschiedener Blüten als Anzeichen dafür, daß diese oder jene Sternperiode nun begonnen haben muß, obwohl man den Himmel nicht sieht. Insofern wird ein Zeitabschnitt der anwā'-Rechnung also nicht nur von den Sternen angezeigt, sondern deren Stand, und damit der Zeitabschnitt, kann ebenso durch die Vegetationsentwicklung "erkannt" werden. Allerdings ist dies bei den Munebbih weitaus

weniger ausgeprägt als etwa im W. *Ikwān bei Sa'da und in al-Ahḡur bei Kawkabān, wo das stellare Wissen viel weniger verbreitet ist oder überhaupt bei Spezialisten liegt, und die dortigen Bauern ihre Zeitorientierung offenbar in einem weitaus vageren diskursiven Wechselspiel zwischen Vegetations- und (fragmentarischer) Sternenbeobachtung gestalten. Bei den Munebbih tritt dieses Wechselspiel hingegen nur bei tatsächlichen, klimabedingten Sichtbehinderungen durch Nebel oder Bewölkung ein. Dann kann man etwa hören, daß der šawḥat-Strauch austreibe, die Zeit von am Šabūb müsse daher schon begonnen haben, was man aber wegen der gubra am Horizont nicht sehen könne.

Die anwā'-Zeitkonzeption der Munebbih ist eben deshalb variabel, weil sie konkret und anschaulich ist und dies wiederum, weil sie handfesten, limitierten praktischen Zwecken dient: In erster Linie dient sie als Erinnerungs- und Orientierungshilfe im Hirseanbau. Wir haben gesehen, daß dieser im wesentlichen durch Einzelhaushalte oder durch Kooperation von benachbarten Haushalten betrieben wird, also von benachbarten Gruppen mit ganzjährig stabilem Wohnort. Der Beobachtungsstandort zur Feststellung der aktuellen anwā'-Sternperiode ist das eigene Hausdach. Der primäre Anwendungsbereich des anwā'-Kalenders sind die eigenen Felder und jene von Verwandten und Nachbarn. Daher ist die Variabilität der Datierung dieses Kalendersystems in Raum und Zeit viel eher ein Problem des westlichen Beobachters als des einzelnen Munebbih-Haushaltes; dieser wendet die anwā' ohnedies nur in seiner näheren räumlichen Umgebung und bei meist gleichbleibenden Beobachtungsstandorten an. Zur zeitlichen Verständigung in anderen Sachfragen als dem des Hirseanbaus und mit weiter entfernt lebenden Tribalgruppen wird auf andere Zeiteinheiten und -konzepte zurückgegriffen, wie etwa auf den 7-Tage-Rhythmus des Wochenmarkt-Zyklus für kurzfristige Vereinbarungen oder die Mondmonate für längerfristige Pläne.

Diese Sach- und Ortsgebundenheit der Anwendung der anwā' erlaubt dem Munebbih-Bauern auch jenen "zeitlichen Pragmatismus", der ihn im übertragenen Sinn sagen läßt: "Ich hätte gedacht, daß wir heute den vorletzten Tag von am Šabūb haben, aber da er schon verschwunden ist, so ist heute wohl der erste Tag von am Tāmin"; oder eben "Der šawḥat treibt, also hat am Šabūb begonnen." Westlichem Alltagsdenken, das an die Ordnung, manchmal das Diktat exakter und allgemeinverbindlicher Zeitvorstellungen gewohnt ist, mag dieser "Pragmatismus" skandalös erscheinen - für den Munebbih-Bauern ist er selbstverständlich und nicht der Rede wert.

Theoretisch wäre es bei derartiger Ortsgebundenheit der anwā'-Beobachtung auch denkbar, daß in Lagen mit besonders guter Westsicht nur die Spätuntergänge, in Lagen mit besonders guter Ostsicht hingegen nur die Frühaufgänge beobachtet werden, also je nach Standort ein anderer der vier Typen von Horizont-Ereignissen. Tatsächlich ist derartige von mir aus dem südlichen Hiğāz dokumentiert worden, und zwar vom Ġ. Šadā' in der Provinz al-Bāḥa. Ähnliches scheint auch am Ġ. Haraz im Zentraljemen gegeben zu sein. Beide Berge sind, wie der Ġ. Munebbih, isolierte, dem Grabenrand vorgelagerte Tihāma-Berge. Allerdings ist der Ġ. Šadā' Siedlungsgebiet von Angehörigen zweier verschiedener Stämme (Ġarnid und Zahrān) mit diskontinuierlichen, ineinander greifenden Territorien am Berg. Aus diesem Vergleich läßt sich die Schlußfolgerung ableiten, daß das Festhalten an der Beobachtung ein und derselben Sequenz von stellaren Horizont-Ereignissen bei den Munebbih, und zwar trotz vorhandener Datierungsdifferenzen und trotz unterschiedlicher Sehmöglichkeit bei extrem unterschiedlichen Standorten, Ausdruck und Element der Integrationskraft der gemeinsamen tribalen Kultur ist.

Weitere Gesichtspunkte der Datierung hängen mit der Identifikation der einzelnen Sterne oder Sterngruppen der anwā'-Sequenz zusammen, der wir uns daher jetzt zuzuwenden haben, oder sie gelten in gleicher Weise auch für die qirānāt und werden im Anschluß daran erörtert.

Die Identifikation der meisten im anwā'-Teil des Agrarkalenders der Munebbih beobachteten Sterne und Sterngruppen habe ich mit Hilfe von Munebbih-Informanten und Sternkarten, die vor Ort gleichzeitig konsultiert wurden, versucht. Dies gilt vor allem für die meist gut sichtbaren Spätuntergänge in der Zeit meines Aufenthaltes. Bei anderen Sternen oder Sterngruppen glaube ich auf Grund der ja trotzdem (meist) möglichen Beobachtung am Himmelsgewölbe und mit Hilfe der Terminologie ebenfalls ein leidliches Maß an Sicherheit bei der Identifikation vorlegen zu können.

am Kāma:

Manchmal auch Kēyma genannt. Da im Munebbih-Dialekt K̄ = kl.ar.K, eigentlich Kāma, das im jemenitischen Hochland häufige Wort für kl. ar. Ṭurayyā, die Plejaden. Das Wort al-Ṭurayyā ist den Munebbih als Synonym für am Kāma bekannt. Ein früher jemenitisch-arabischer Beleg für Kāma liegt durch eine Erwähnung (als Teil eines Eigennamens) im 10. Jh. durch al-Hamdānī vor. Der Terminus Kāma wird dann in einem von E. Glaser zitierten Manuskript des 18. Jh. in einer jemenitischen 'urğūza und weiters von al-Qāḍī sowie ebenfalls im 18. Jh.

von C. Niebuhr erwähnt, und ebenso in al-'Ansī's Zusammenfassung zentraljemenitischer Kalenderformen von 1981. Aus dem nördlichen jemenitischen Hochland liegt hiermit aber der erste ethnologische Beleg für den Terminus vor.

Kāma ist ein sehr altertümliches Wort mit großer Verbreitung in den alten semitischen Sprachen, darunter mit der akkadischen Grundbedeutung "Familie". Kein anderer Sternname der anwā'-Sequenz der Munebbih kann derartige etymologische Zusammenhänge aufweisen wie die Plejaden. Die anwā'-Sequenz der Munebbih beginnt stets mit dieser markanten, deutlich sichtbaren Sterngruppe, die im klassischen manāzil-Modell die Mondstation (MS) 3 bildet. Auch die von Pellat gesammelten Sprichwörter und frühen arabischen anwā'-Sequenzen beginnen zumeist mit den Plejaden.

am Kālb:

also kl. ar. al-Kālb, "der Hund". Diese terminologische Sequenz, nämlich Kālb nach Kāma, ist im ganzen jemenitischen Norden des Hochlandes üblich, wie im zweiten Abschnitt erstmals dokumentiert wird. Bei manchen Munebbih gilt am Kālb als der Hund, der den Plejaden "nachfolge". Meine Identifikation für am Kālb ist al-Dabarān (Aldebaran oder α Tauri), der ja optisch tatsächlich den Plejaden "nachzufolgen" scheint. Als "Nachfolger" der Plejaden ist er terminologisch auch aus den kutub al-anwā' und aus den Agrarkalendern des südlichen Hiğāz bekannt. P. Kunitzsch verzeichnet überdies als literarischen Beleg unter "al-Kālbān" (im Dual) die zwei kleinen, schlecht sichtbaren Sterne ypsilon und kappa Tauri, was ebenfalls auf einen vielleicht literarisch umgeformten Bezug zwischen Taurus und "Kalb" hinweist. Wenn diese Identifikation korrekt ist, handelt es sich bei am Kālb um die Mondstation 4 (MS 4), was seinerseits in der Abfolge plausibel ist.

am Ġawzā':

Nach P. Kunitzsch ein aus Altarabien stammender "echter, ursprünglicher" Sternname. Das Gestirn gehört in die Reihe der 12 Tierkreisbilder und entspricht den antiken "Zwillingen", ist in Arabien jedoch im Orion gelegen (γ?). D. Varisco führt in einem Vergleich früher astronomischer Schriften aus, daß Ibn Qutayba im 10. Jh.u.Z. bereits al-Ġawzā' als Indikator für besonders altertümliche Terminologie benennt. Bei Abū Zayd Sa'īd al-Anṣārī (gest. 215/830) werden die Mondstationen 5 und 6, Haqfa und Haq'a, noch nicht voneinander unterschieden und getrennt genannt, stattdessen wird al-Ġawzā' als eine Einheit angeführt. Auch Kunitzsch stellt fest, daß Haqfa zu den Namen zählt, die mit al-Ġawzā' kombiniert wurden; "es sind unabhängige, wahrscheinlich jüngere Na-

men von Sternen, die innerhalb der al-Ġawzā'-Figur liegen, und die Verbindung mit dem Namen der al-Ġawzā' soll offenbar lediglich diese rein äußerliche örtliche Beziehung ausdrücken", wie sie etwa im Namen "Haq'at al-Ġawzā'" auftaucht. Innerhalb des Orion bezeichnet al-Haq'a drei kleine Sterne, sodaß sich al-Haq'a vermutlich als Metonym aus al-Ġawzā' herausentwickelt hat. Wir können konstatieren, daß al-Ġawzā' in der anwā'-Sequenz der Munebbih ein altertümlicher Terminus ist, der von der klassischen terminologischen Sequenz der 5. und 6. Mondstation abweicht und historisch älter als diese ist. Das ethnographische Vorkommen dieses Terminus als naw' ist meines Wissens bisher nur aus dem südlichen Hiǧāz belegt. Auch dort konnte ihn meine Erhebung ausschließlich in den dem Grabenrand vorgetragten, unzugänglichsten Teilen der Region nachweisen.

am Mirzam:

ist ebenfalls einer der bloß 13 von Kunitzsch angeführten "echten, ursprünglichen" arabischen Sternnamen. Landberg setzt al-Mirzam für die Daḥina und 'Amaqin mit Sa'd Bula' ident, was nur aus seiner fehlerhaften Gleichsetzung süd-arabischer Saatmarksterne mit zentral- und nord-arabischen manāzil al-qamar erklärbar ist, aber jeder sonstigen Grundlage entbehren dürfte. P. Kunitzsch hat hierzu klargestellt: "Wie die ausführlichen älteren Mondstationen-Beschreibungen erkennen lassen, haben hier Benennungen für drei Sternpaare vorgelegen, die später durcheinander gerieten". Mirzam habe ursprünglich je einen Stern dieser Paare bezeichnen können, und zwar β Canis Majoris, oder β Canis Minoris und eventuell auch γ Orionis. Bei den Munebbih ist damit nach meinen Informationen wahrscheinlich der Spätuntergang von β Canis Minoris bezeichnet. Den von Kunitzsch auch erwähnten Terminus "aš-širā" für dieses oder ein anderes Sternpaar konnte ich hingegen im nördlichen jemenitischen Hochland nicht ermitteln. Auch der Terminus al-Mirzam ist ethnographisch aus dem südlichen Hiǧāz dokumentiert, und zwar nach al-Ġawzā' in gleicher terminologischer Sequenz und in den auch dafür oben genannten Gebieten. Am Mirzam ist damit ebenfalls ein altertümlicher arabischer Sternname, der bei den Munebbih wie bei einigen frühen arabischen Autoren einen Stern bezeichnet, welcher keine Mondstation bildet und auch keinen Bezug zur 6. Mondstation aufweist.

am Dirā':

Von manchen Informanten wurde auch auf am Dirā'en, also (im Dual) auf ein Paar dieses Namens, selten sogar auf dirā'en am asad (die beiden Pfoten des Löwen) verwiesen. Dirā' ist MS 7 und bezeichnet auch bei den Munebbih α und

β Geminorum (Castor und Pollux). Diese nördlichere, ekliptiknähere Dirā' wird in der arabischen Literatur (mit Bezug auf das bildhaft ausgeschmückte Sternbild des Löwen) al-mabsūta genannt, die "ausgestreckte Vorderpfote", welcher ad-Dirā' al-maqbūda, "die angezogene Vorderpfote des Löwen" (α = Procyon und β Canis Minoris, südlicher und ekliptikferner), gegenübergestellt wird. Die fallweise Verwendung des Duals bei den Munebbih ist also auf das Bild dieser beiden Vorderpfoten bezogen.

am Šabūb:

sind γ , δ und ϵ Cancri. Diese bilden MS 8 in der klassischen arabischen Literatur, wo sie an-Naṭra "die Nasenspitze des Löwen" genannt werden. Dieser Terminus ist den Munebbih zwar bekannt, wobei manche auch über den gleichfalls vorhandenen bildhaften Bezug von MS 7 und 10 zum "Löwen" verweisen. Von den Munebbih selbst wird aber nur der Ausdruck "am Šabūb" verwendet.

Šabb ist im Jemen auch ein sehr häufiger Name für verschiedene Getreidesorten, insbesondere für Sorghum- und "millet"-Hirse, die zu verschiedenen Zeiten ausgesät werden, und als Name für dunkle Hirse literarisch seit dem 13. Jh. dokumentiert. Ausdrückliche Bezüge zwischen Naṭra und š-b-b finden sich bisher bei as-Sirāḡ und Serjeant, die auf die Aussaat von Šabb-Arten zur Zeit von an-Naṭra verweisen. Im W. Ġazān sät man eine Šabb-Art gegen Ende von Dirā' und zu Beginn von Naṭra aus. Serjeant meint, daß im W. Ġazān Šabb vor allem ein Name für Dirā'-sei. Bei den Munebbih trägt keine Hirseart den Beinamen "Šabb"; mir wurde der Sterngruppen-Name aus š-b-b, "heranwachsen", abgeleitet: Dies sei jene Sternperiode, in der die Hirseaussaat "heranwachsen". Wir kommen auf diese Frage zu Ende des zweiten Abschnittes nochmals zurück.

'Alib:

wurde schon von E. Glaser als Sirius vermutet, was D. Varisco bei 'Umar b. Yūsuf im 13. Jh. bestätigt fand. Dem ist bisher in der Literatur nicht widersprochen worden. Ich schließe mich dieser Identifikation nur mit Vorsicht an, da mir für 'Alib, im Gegensatz zu allen vorherigen anwā', ein Frühaufgang (tuḥr) gezeigt wurde, den ich unter diesen geänderten Umständen am Morgen im Osten nur schwer in seinem Umfeld identifizieren konnte. Meine Frage, warum denn zu diesem Zeitpunkt kein Abenduntergang beobachtet würde, ergab bloß die pragmatische Antwort, daß es keinen geeigneteren gäbe, und man eben 'Alib gut sähe; tatsächlich handelt es sich um einen sehr hellen Einzelstern. Zwischen dem vorhergehenden naw' am Šabūb (MS 8, der "Nase des Löwen") und dem nachfolgenden naw' (von MS 10, seiner "Stirn") läge nach der Tradition der

manāzil die Mondstation 9, α -Tarf = χ Cancri und λ Leonis, zwei - besonders im Vergleich zu Sirius, dem hellsten Stern überhaupt - tatsächlich weniger gut sichtbare Sterne. Dieses Abweichen gegenüber der Tradition der manāzil, welche geringeren Wert auf Sichtbarkeit und größeren auf Regelmäßigkeit und bildhafte Ausgestaltung (hier: des Löwenbildes) legt, ist im Fall von ϵ Alib nicht nur bei den Munebbih gegeben: Wie in Abschnitt drei zu zeigen sein wird, ist ϵ Alib ein für das gesamte nord- und zentraljemenitische Hochland typischer Sternname. Wenn ϵ Alib mit Sirius identisch ist, so bildet auch dieser keine Mondstation. Daher wäre der naw' von ϵ Alib im Agrarkalender der Munebbih Bestandteil einer jemenitischen Hochlandtradition, die wiederum von den manāzil al-qamar abweicht. Allerdings wird der naw' von Sirius (unter dem Terminus širā) offenbar auch in Zentral- und Nordarabien manchmal beobachtet, wie die von Pellat gesammelten literarischen Belege beweisen.

am Stadd:

also von den Besonderheiten des Munebbih-Dialektes "entkleidet": α -Sadd, die Front, der Damm oder auch die Stirn. Mir wurden dafür die scheinbar entlang einer "Linie" liegenden ξ , γ , η und α Leonis gezeigt, was nach Kunitzsch exakt mit der Identifikation von α -Soff (10. Jh.) übereinstimmt. Dort und in anderen klassischen Werken heißt diese Sterngruppe al-Ġabha oder Ġabhat al-asad, die "Stirn des Löwen". Sie bildet die 10. Mondstation. Den Munebbih war dieser Sternname als direktes Synonym für ihr am Stadd, das bei ihnen auch die Stirn beim Nutzvieh bezeichnet, geläufig. Bei am Stadd wird wieder der Spätuntergang beobachtet.

Suhayl:

ist Canopus (α Carinae), der in ganz Arabien gebräuchlichste Name für diesen südlichen, zweithellsten Stern. Nach Kunitzsch zählt auch dieser zu den "echten, ursprünglichen" Sternnamen. Wie im Fall von ϵ Alib wurde mir von den Munebbih auch hier ein Frühaufgang genannt. Canopus bildet keine Mondstation und ist wie ϵ Alib konstanter Bestandteil jemenitischer Hochlandkalender nach dem anwā'-System, tritt aber auch im südlichen Hiġāz in den dortigen Agrarkalendern auf; die Inkorporation des Suhayl in bäuerliche Agrarkalender ist nicht nur für den Jemen typisch, sondern auch darüber hinaus in Arabien verbreitet. Dem entspricht, daß die Beobachtung des naw' von Suhayl statt oder nach al-Ġabha ihren Niederschlag auch in der arabischen Literatur gefunden hat, etwa bei Ibn Qutayba (10. Jh.) oder Marzūqī (Mitte 11. Jh.).

ϵ Allān: *Hāmis, Sādis, Sābi', Tāmin, Tāsī', ϵ Asīr, Hādī*

Unter dieser Terminologie wurden mir von den Munebbih die Hauptsterne der Ursa Maior gezeigt. Ihre Gesamtfigur wäre demnach ϵ Allān, dessen hellste Teile in ihrer Abfolge als Spätuntergänge die Ordinalattribute "der 5., 6., 7., 8., 9., 10. und 11." des ϵ Allān erhalten haben. Die Einzelsterne werden entweder nur mit diesem Ordinalnomen oder auch im status constructus bezeichnet. Der Terminus ϵ Allān ist der klassischen arabischen astronomischen Literatur offenbar unbekannt, aber unter den Agrarkalendern des jemenitischen Hochlandes außerordentlich weit verbreitet und für sie ganz besonders typisch (siehe Abschnitt drei). In der jemenitischen islamischen Literatur findet er bereits im Agrarlehrbuch "Bugyat al-Fallāhīn" des Rasūlidsultāns al-Malik al-Afdāl al- ϵ Abbās b. ϵ Alī um 1370 ausführliche Erwähnung, wo seinerseits altes jemenitisches Agrarwissen des südlichen Hochlandes zusammengestellt ist. In den "Bugyat al-Fallāhīn" wird überdies expliziert, daß ϵ Allān der Name einer Sterngruppe ist, von denen der "3.", "5." und "7." erwähnt werden, und daß die Namen einiger Getreidesorten mit denselben Radikalen davon abgeleitet sind. Damit ist auch klargestellt, daß die Namen verschiedener Getreidesorten sowie von Jahres- und Regenzeiten im Jemen zumindest seit dieser Zeit nach dem anwā' im ϵ Allān benannt sind, und nicht umgekehrt.

Wiederum ist es das Verdienst von E. Glaser, auch die ϵ Allān-Gruppe identifiziert zu haben: "... die Rawāba'a, und zwar die Rawāba'a el awwalīn und die Rawāba'a el ākhirīn, ferner der Khāmis, der Sādis und der Sābi' (...) "sind die sieben Hauptsterne des Großen Bären." Zumindest teilweise entspricht diese Sterngruppe den klassisch-arabischen Banāt Na'ā. Varisco schließt sich dieser Identifikation ebenso an, wobei schon aus der bisherigen Aufzählung die Unterschiedlichkeit der Ordinalattribute für ϵ Allān deutlich geworden ist. Die von Glaser angeführten ersten und zweiten Rawābi' ("Vierten"), der 5., 6., und 7. sind im Zentraljemen die häufigste Form; in den "Bugyat al-Fallāhīn", mit stärkerem Bezug zum südlichen Hochland und zur Tihāma im nördlichen Hochland fehlt hingegen die Bezeichnung Rawābi'. Diese regionale Verschiedenheit der Ordinalattribute zu ϵ Allān könnte mit der Verschiedenheit der jeweils beobachteten Art von Horizont-Ereignissen oder der beobachteten Einzelsterne der Ursa Maior zusammenhängen. In jedem Fall handelt es sich aber um Teilelemente von ϵ Allān, die beobachtet werden. ϵ Allān ist somit ein typischer Sternname des zentralen und nördlichen jemenitischen Hochlandes. Dieser Name ist bereits im himyaritischen Kalender nachgewiesen.

‘Ašwa:

ist der Name der Munebbih für den Abendaufgang der Plejaden, dafür auch manchmal ‘Ašwat am Kāma“ genannt. In den "Būḡyat al-Fallāḥin" findet sich bereits ein Hinweis auf ‘išā’ der Turayyā; es handelt sich also um ein seit vielen Jahrhunderten im Jemen beobachtetes stellares Ereignis, das ethnographisch und in jemenitischen Manuskripten auch durch die danach benannten Getreidesorten (‘išwī-Weizen oder manchmal auch -Hirse, etwa der erwähnte ‘išwī-Weizen der Gipfelregion bei den Munebbih) durch zahlreiche Hinweise belegt ist, die D. Varisco zusammengestellt hat.

Mit dem Abendaufgang der Plejaden zu Anfang November schließt die anwā'-Sequenz bei den Munebbih.

Auf der Basis dieser kommentierten Identifikation der Einzelelemente, aus denen sich die anwā'-Sequenz im Agrarkalender der Munebbih zusammensetzt (und der darauf bezogenen Termini) ergeben sich zunächst folgende Schlußfolgerungen, die die einleitenden Ausführungen dieses Abschnittes fortsetzen:

1. Diese anwā'-Sequenz umfaßt die Beobachtung von 17 Einzelereignissen. Darunter befinden sich 14 Spätuntergänge, zwei Frühaufgänge und ein Spätaufgang, sodaß bei Dominanz der Spätuntergänge (82%) drei der vier möglichen Arten von Horizont-Ereignissen beobachtet werden. Die beiden einzigen Frühaufgänge betreffen die beiden hellsten Sterne Sirius und Canopus. Der einzige Spätaufgang betrifft die Plejaden, zudem die einzige Sterngruppe (und Stern), die in dieser Sequenz zweimal beobachtet wird: Sie bildet deren Anfang und Ende.
2. Von den 16 anwā'-Sternen (Sterngruppen) der Munebbih-Sequenz bilden bloß fünf auch Mondstationen (und zwar: MS 3,4,7,8,10), also nur eine Minderheit von weniger als einem Drittel der Gesamtsequenz. Diese Mondstationen sind entweder mit den Plejaden (MS 3,4) oder mit dem Sternbild des Löwen (MS 7,8,10 als Fragmente davon) bildhaft verbunden. Daraus kann nur ein sehr untergeordneter Zusammenhang oder Einfluß des Systems der Mondstationen bezüglich der anwā'-Sequenz der Munebbih abgeleitet werden. Zwei Resultate dieser untergeordneten Präsenz der Mondstationen auf die Datierung der anwā' der Munebbih sind:

3. a) Die Zeitabschnitte zwischen den naw'-Ereignissen sind nur in zwei Fällen, nämlich zwischen Mondstation 3 und 4 sowie zwischen Mondstation 7 und 8 einigermaßen genau 13 Tage, da nur das System der Mondstationen auf dieser regelmäßigen, standardisierten Abfolge von Zeitabschnitten aufbaut.
b) alle anderen Zeitabschnitte zwischen je zwei naw'-Ereignissen, von denen wenigstens eines keine Mondstation umfaßt, sind per definitionem auch bei gleichem Sehungsbogen länger oder kürzer als 13 Tage. Das anwā'-Teilsystem der Munebbih umfaßt also mehrheitlich solche Zeitabschnitte, die tatsächlich etwas länger oder kürzer als 13 Tage wären (obwohl die Munebbih selbst den 13-Tage-Rhythmus als ungefähre Richtschnur verwenden).
4. Mit am Ġawzā', am Mirzam und Suhayl enthält die anwā'-Sequenz der Munebbih drei von insgesamt 13 (23%) der von P. Kunitzsch ermittelten "echten, ursprünglichen" Sternnamen Arabiens. Zusätzlich ist am Kāma nach W. Müller ein alter semitischer Name, und ‘Allān, der Name der Ursa Maior, ist bereits im Himyaritischen belegt. Die anwā'-Sequenz der Munebbih umfaßt zehn verschiedene Sternnamen; von diesen sind fünf, immerhin die Hälfte, als altertümliche Termini zu qualifizieren.

Damit liegt bei den Munebbih ein anwā'-Fragment aus weniger als 28 Elementen vor, welches 1.) einen untergeordneten Einfluß der manāzil aufweist, 2.) folglich einen dominanten Anteil an solchen anwā' enthält, die keine Stationsgestirne sind und 3.) daher auch ungleich lange Zeitabschnitte umfaßt sowie 4.) schließlich durch einen bemerkenswert hohen Anteil von 50% an altertümlichen Termini charakterisiert ist.

Die anwā'-Sequenz beginnt und endet mit den Plejaden. "am Kāma" ist der einzige Sternname der Munebbih, der bisher kaum in der älteren arabischen Literatur und auch noch nicht aus altsüdarabischen Inschriften belegt ist, der aber etymologisch auf alte (eventuell äußere) semitische Einflüsse verweist.

Nun ist aber gerade am Kāma neben dem Mond das entscheidende Himmelsphänomen, das auch in der zweiten Hälfte des Agrarkalenders der Munebbih beobachtet wird, den "Sternen des Himmelsgewölbes", dem wir uns nun zuwenden.

Die Plejaden sind "ein offener Sternhaufen" im (ptolemäischen) "Sternbild Stier", der "mit dem bloßen Auge leicht sichtbar" ist, und zwar meist sechs seiner mindestens 130 Sterne.

Beobachtungsgrundlage des Kalenders der "Sterne des Himmelsgewölbes" sind die allmonatlichen Vorübergänge des Mondes an den Plejaden. Gemäß der einheimischen Theorie wiederholt sich dieses optische Ereignis in jedem Mondmonat, in dem die Plejaden sichtbar sind; das sind etwa neun Mondmonate vor (einschließlich) jenem, in dem der Spätuntergang der Plejaden eintritt. Danach seien die Plejaden einige Zeit unsichtbar; nach ihrem Wiedererscheinen würden die Vorübergänge des Mondes nicht sofort, sondern erst um die Zeit des Spätaufganges der Plejaden wieder beachtet. Dieser Sicht der Munebbih entspricht die bereits erwähnte Tatsache, daß ekliptiknahe Sterne oder Sterngruppen, wie die Plejaden, fast das ganze Jahr über am Nachthimmel sichtbar sind. Nur in der Zeit zwischen ihrem letzten sichtbaren Spätuntergang und dem ersten sichtbaren Frühaufgang sind sie tatsächlich für eine Periode, die je nach Horizont und geographischer Breite bis zu drei Monaten währen kann, der nächtlichen Beobachtung gänzlich entzogen. In allen anderen Mondmonaten sind die monatlichen Vorübergänge des Mondes an den Plejaden die Basis der Monatsbenennung.

Das Wort qirān bedeutet im allgemeinen die Konjunktion von Sternen, insbesondere aber von Planeten. Bei den Munebbih wird nur diese spezifische Form von "Konjunktion", präziser des Vorüberganges des Mondes an den Plejaden, mit diesem Ausdruck bezeichnet. Der allgemeine Ausdruck für Mond und für Vollmond ist qamar und für die erste Mondsichel nach Neumond šahr, ebenso heißt der Mondmonat šahrin. Aus der Sicht der Munebbih ist dies darin begründet, daß der Monatsbeginn durch den neuen Mond angezeigt ist. Diese Bedeutung tritt schon in Qur'an 2, 185 auf. Bei den Munebbih wird der Beginn eines šahr mit dem ersten Erscheinen der Mondsichel am Abendhimmel nach Neumond angezeigt, also auf die gleiche Art, die auch in Qur'an 10, 5 angesprochen ist. Der šahr (Monat) beginnt demgemäß stets mit dem šahr (neuer Mond). Ibrahim al-Selwi, Schüler von W. Müller, hat jüngst darauf verwiesen, daß dies möglicherweise ein Lehnwort aus dem Südarabischen ist. Schon im Altsüdarabischen hatte šahr nämlich diese Bedeutung, ebenso šahr im Mehri, šer im Šeri und šahr auf Äthiopisch.

In jedem derart konzipierten Mondmonat wird der Vorübergang des Mondes an den Plejaden erwartet. Die qirānāt treten dabei nicht in der gleichen Nacht jedes dieser Mondmonate ein, sondern in jedem Mondmonat um etwa zwei Nächte früher als im vorangegangenen. Dies ist die Basis der im qirān-System verwendeten Kardinalzahl-Terminologie. Wenn in einem Mondmonat ab der ersten Nacht nach dem Neumond 17 Nächte vergehen, bis die qirān eintreten, so sind

es im darauf folgenden Mondmonat 15 Nächte, im nächsten 13, im darauf folgenden 11, dann 9, dann 7, dann 5, dann 3, dann manchmal noch eine Nacht. Darauf bezieht sich auch die Terminologie in Tabelle 7, wo qirān hamista^{ca}š mit "qirān 15", qirān jalatta^{ca}š mit "qirān 13" usw. notiert ist. Daher werden im qirān-Teilsystem der Munebbih Mondmonate (synodische Monate) jeweils mit einer Zahl bezeichnet. Diese gibt die Zahl der Nächte an, die in diesem šahr vergehen, bis die qirān eintreten. Verkürzt formuliert wird also jeder Monat nach dem Mondalter (gemessen in der Zahl seiner Nächte, aber exklusive der letzten Neumondnacht) benannt, zu dem sich die qirān ereignen. Häufig hört man bei den Munebbih auch die Formulierungen šahr 15, šahr 13, usw., also Mondmonat 15 oder Mondmonat 13. In dieser Terminologie wird somit von den höheren zu den niederen ungeraden Kardinalzahlen heruntergezählt, wobei man die geraden Zahlen überspringt. Vor die Zahl wird der Ausdruck qirān oder šahr gesetzt; jeder so formulierte Terminus bezeichnet einen anderen Mondmonat. Phänomenologisch-empirische Grundlage dieser Terminologie ist die Differenz zwischen synodischem und siderischem Monat um etwa zwei Tage.

"Der synodische Monat ist die Zeitspanne zwischen zwei gleichartigen Mondphasen (z.B. von Neumond zu Neumond) und dauert durchschnittlich 29 d 12 h 44 m 2,9 s. Ein synodischer Monat wird auch als Lunation bezeichnet." "Der siderische Monat ist die Zeitspanne zwischen zwei aufeinander folgenden Vorübergängen an demselben Stern (genauer: durch denselben Stundenkreis des Sternes). Er dauert 27 d 7h 43 m 11,5 s." "Die besonders lange Dauer des synodischen Monats gegenüber dem siderischen Monat ist eine Folge der Erdbewegung um die Sonne bzw. der scheinbaren Sonnenbewegung durch die Ekliptik." Diese Differenz beträgt gerundet 2,21 d.

Die Vorübergänge ("Konjunktionen") des Mondes an (mit) der Sterngruppe der Plejaden finden also in aufeinanderfolgenden Monaten nicht zur selben Mondphase statt. Wenn sich in einem gegebenen Mondmonat der Vorübergang des Mondes an den Plejaden in der 15. Nacht ereignet (qirān 15), so geht der Mond im darauffolgenden Mondmonat bereits um 27 Tage später an den Plejaden vorbei, also in der 13. Nacht nach Neumond.

Auf der Basis des bisher Gesagten kann das Synonym "nušūm am simt" erläutert werden, welches die Munebbih für die qirānāt gebrauchen.

Qirānāt leitet sich, wie bereits erwähnt, von jener Wurzel q-r-n ab, die auch kl. ar. "Verbundensein" von Zweierlei bedeutet, also das Verbundensein von Mond

mit Plejaden. Die "Sterne des Himmelsgewölbes" bezeichnen die einzige Sterngruppe dieses Kalenderteils, nämlich die Plejaden. Diese sichtbaren Vorübergänge ereignen sich in der Regel in dunkler Nacht und weit über dem Horizont, so daß der Beobachter den Blick heben und auf das "Himmelsgewölbe" richten muß. Mit Ausnahme der wenigen qirānāt, die sich in Horizontnähe ereignen, finden diese sichtbaren Vorübergänge also tatsächlich über dem Kopf des Beobachters statt, die Beobachtung ist hier normalerweise nicht horizontabhängig.

Selbst wenn der Blick auf die qirān von einem bestimmten Standort aus verstellt ist, kann die Zählung durch Induktion fortgesetzt werden. Man weiß, daß der letzte Monat etwa šahr 7 war; man weiß außerdem, daß der letzte Spätuntergang der Plejaden (der Beginn der Periode ihrer Unsichtbarkeit) noch nicht bevorsteht; also wäre nach qirān 7 der laufende Monat qirān 5 und der nächste Monat qirān 3.

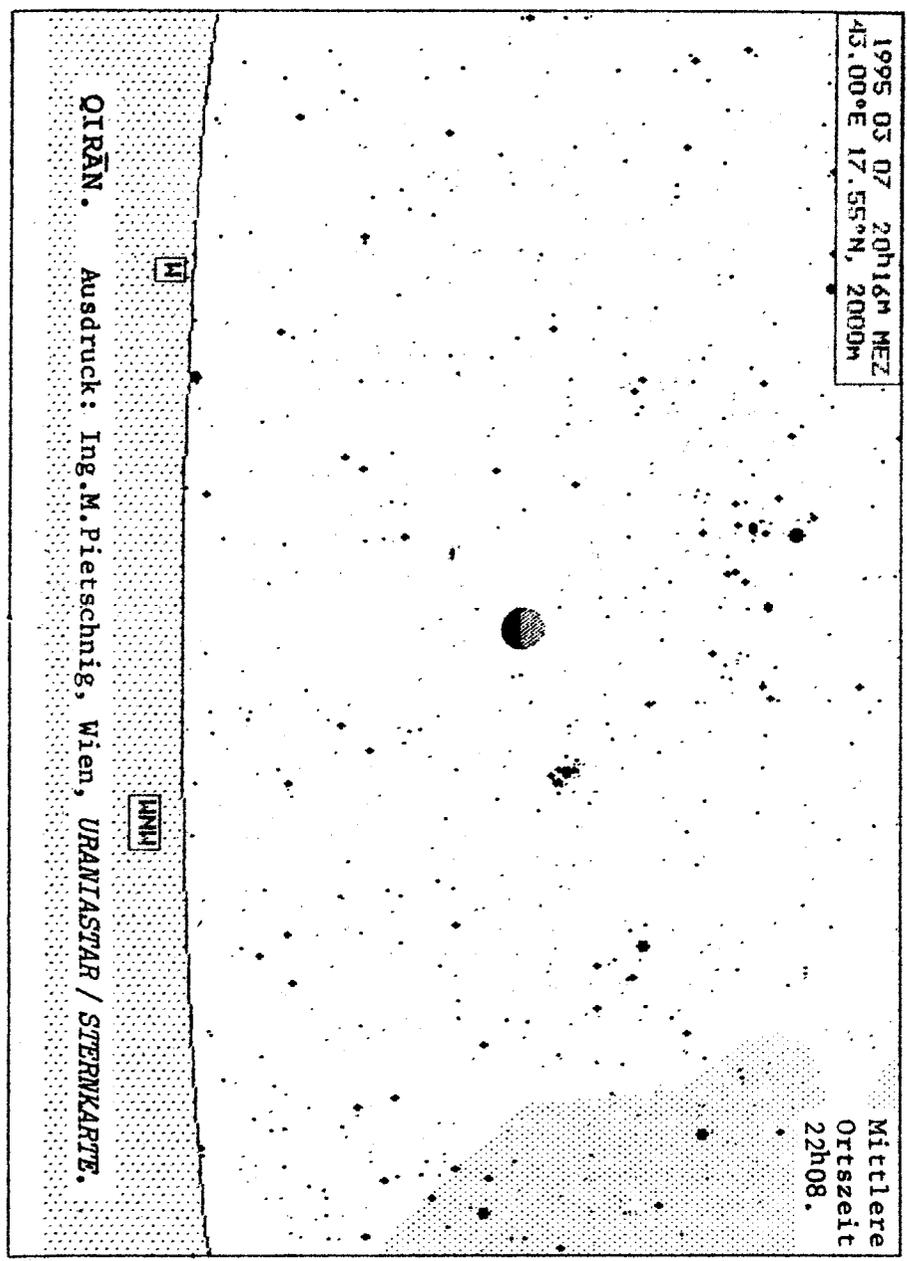
Im Prinzip ist die Datierung nach den qirānāt also für alle Beobachtungsstandorte im Stammesgebiet gleich: Von einem Hausdach in Hauptkammrlage aus sieht man das Ende des Neumondes nicht zur selben Stunde, aber in derselben Nacht wie von einem anderen Haus am Fuß des Grabenrandes aus. Dasselbe gilt in der Regel für die Vorübergänge des Mondes an den Plejaden, die jeweilige Nacht der qirān. Dem Teilsystem der qirānāt sind somit kaum Datierungsverschiebungen im Raum inhärent: Unter Zuhilfenahme der Induktion bei horizontnahen qirānāt können diese Himmelsphänomene ansonsten von jedem Standort im tribalen Gebiet aus zur selben Zeit beobachtet werden. Nur die Beobachtung des ungefähren Anfangs und Endes der qirānāt-Sequenz, also der Spätuntergänge und Spätaufgänge der Plejaden, ist wieder horizontgebunden. Ihre Datierung kann im Raum variieren, was aber für die Datierung und Benennung der qirān-Monate unwesentlich ist. Derjenige Monat, in dem sich der letzte Spätuntergang der Plejaden ereignet, läuft bis zum Ende seines Neumondes weiter, dann bricht die qirānāt-Sequenz im Jahr ab. Spätestens nach dem ersten Spätaufgang der Plejaden wird nach dem darauffolgenden Neumond wieder mit der qirān-Zählung im Jahr begonnen. Im qirān-Kalender können unterschiedliche Sichtungsbögen für die Spätunter- und -aufgänge der Plejaden also nur dazu führen, daß in manchen Teilen des Stammesgebietes um einen Monat früher mit der qirān-Rechnung abgebrochen, oder um einen Monat später damit begonnen wird. Ansonsten sind Datierung und Benennung der qirān-Monate aber im Raum nicht variabel und daher für alle Stammesmitglieder in gleicher Weise gegeben. Für das Jahr 1986 habe ich im Feld während der Erhebungszeit die folgenden Neulicht- und qirān-Daten notiert und später mit Hilfe des Wiener Planetariums

Tabelle 9: Neumond und qirānāt im Jahr 1986

1. sichtbare Mondsichel nach Neumond	qirānāt	Terminologie
13.1.	21.1.	qirān 9
11.2.	17.2.	qirān 7
12.3.	16.3	qirān 5
11.4.	13.4	qirān 3
10.5.	21.4	(qirān 1)
10.6	Spätuntergang der Plejaden	
10.7.	Frühaufgang der Plejaden	
7.8.	(27.8.)	(qirān 21)
5.9.	(23.9.)	(qirān 19)
5.10.	(21.10.)	qirān 17
3.11.	17.11. Spätauf- gang der Plejaden	qirān 15
2.12.	14.12.	qirān 13

überprüfen und für den Rest des Jahres feststellen lassen. Die Angaben sind im Gregorianischen Kalender formuliert, bei den Munebbih beginnt ein Tag nach alter arabischer und orientalischer Tradition schon bei Sonnenuntergang des (nach westlicher Terminologie:) vorangegangenen Tages.

Tabelle 9 stellt erstmals seit der Befassung von E. Glaser mit den qirānāt (1885) für ein konkretes Jahr die "emischen", lokalen qirān-Angaben den "etischen" (Gregorianischen Kalender-)Daten gegenüber. Auf der Grundlage



dieser Tabelle läßt sich nochmals explizieren: qirān 9 währte 1986 vom ersten sichtbaren Mond am 13.1. bis zum Neumond vor dem 11.2., also nahezu eine Lunation. Qirān 9 heißt so, weil sich in diesem Mondmonat der Vorübergang des Mondes an den Plejaden neun Nächte nach dem 13.1. (diesen mitgezählt) ereignete, nämlich am 21.1. Analog währte šahr 7 vom 11.2. bis zum Neumond vor dem 12.3. und heißt so, weil die qirān in diesem Mondmonat sieben Nächte nach dem 11.2. eintraten, nämlich am 17.2.

Nach dem (letzten sichtbaren) Spätuntergang der Plejaden (also mit dem Ende der ersten anwā'-Sequenz am Kāma), der Ende April/Anfang Mai eintritt, beginnt die Periode, in der die Plejaden unsichtbar sind. Sie setzte 1986 noch vor dem nächsten Neumond, also vor Beginn des daher nur induzierten šahr 1 ein. Die Periode bis zum nächsten sichtbaren Frühaufgang der Plejaden im Osten (erste Julihälfte) heißt bei den Munebbih am Kīnna, was kl.ar. al-kinna, "die Bedekung, das Verhülltsein" entspricht - ein Ausdruck, der für diese Zeit des "Verborgenseins der Plejaden" bereits im südlichen Hiğāz und der daran anschließenden Tihāma dokumentiert ist. Diese Periode entspricht im Prinzip dem, was E. Glaser und E. Betzler im Zentraljemen unter dem - anr etwas zweifelhaft erscheinenden - Begriff "tayla wa lās" gehört haben. Wir werden sehen, daß am Kīnna auch bei den Munebbih eine wichtige Periode ist.

Wie schon gezeigt wurde, setzt vor dem Spätuntergang der Plejaden der anwā'-Zyklus der Munebbih ein. Im Juli und August wird daher auch nach dem ersten sichtbaren Wiedererscheinen der Plejaden im Frühaufgang der Vorübergang des Mondes an ihnen noch nicht explizit beobachtet. Es gilt zu betonen, daß sich nach dem Frühaufgang von am Kāma sehr wohl qirānāt ereignen (1986: 31.7., 27.8.); diese werden aber nicht als Elemente des Kalenderteilsystems geführt. Die Unterbrechung des qirān-Teilsystems hat also sowohl astronomische wie nicht-astronomische Ursachen.

Die astronomischen Faktoren, die eine Unterbrechung des qirān-Zyklus verursachen oder zumindest nahelegen, sind von zweierlei Art. Zunächst sind die Plejaden in der Periode am Kīnna überhaupt "verborgen", sie können in dieser Zeit auf keinen Fall beobachtet werden. Das Ende der anwā'-Periode von am Kāma ist der Beginn von am Kīnna, und diese faktische Zeit des "Verborgenseins" ist der erste Teil der Gesamtdauer bis vor 'Ašwa, in der die qirānāt nicht beobachtet werden. Zweitens sind die nuḡūm am simt eine Art von Mondkalendar, ein šahr umfaßt eine Lunation. Damit würden sich im qirān-Kalender bei ununterbrochener Zählung alle Probleme stellen, die jedem Mondkalendar in-

härent sind: Das mittlere Mondjahr ist etwas länger als 354 Tage und weicht damit vom Sonnenjahr erheblich ab. Daher würde eine ununterbrochene qirān-Zählung alljährlich eine Verschiebung gegenüber dem Vegetations- und Agrarzyklus bedeuten, was dem praktischen Hauptanwendungsbereich dieses Teilsystems entgegenstünde. Der Abbruch der qirān-Zählung und ihre Wiederaufnahme zu einem geeigneten, regelmäßig im Agrarjahr wiederkehrenden Zeitpunkt (‘Ašwa), bietet hingegen die Möglichkeit, sowohl diese Problematik abzuschwächen, wie auch komplexe und überdies im Islam untersagte Schaltmechanismen zu umgehen, welche die Existenz schriftlicher Aufzeichnungen erfordern würden. In der Zeit der Nicht-Zählung wird die große Differenz zwischen Mond- und Sonnenjahr ausgeglichen, und zu einem im Agrarjahr stabilen naw', nämlich ‘Ašwa, wird erneut mit der qirān-Zählung begonnen. Insofern sind also am Kāma und ‘Ašwa notwendige Bestandteile auch des qirān-Teilsystems. Sie markieren im Agrarjahr stabil Anfang und Ende des qirān-Zyklus und seiner Unterbrechung. Ohne diese Unterbrechung würde die qirān-Zählung keinerlei Nutzen für den bäuerlichen Lebensrhythmus haben.

Nicht-astronomische Ursachen für die Dauer dieser "Unterbrechung" (die ihr Gegenstück in der "Überlappung" der beiden Fragmente im stefin hat) liegen im Produktionsablauf in der Periode am Kīna und danach. Hier hat der Hirsezyklus seinen Höhepunkt erreicht, und das andere Teilsystem der anwā' wird vor allem für diese Zeit angewendet. Aufgrund seiner eigenen inneren Eigenschaften könnte das qirān-Teilsystem wesentlich früher wieder einsetzen, als dies tatsächlich geschieht, nämlich nach einer ersten Zählung im Juli bereits im August. Praktisch jedoch beginnt die qirān-Zählung frühestens im Oktober, dem Monat der Hirseernte, und eigentlich erst mit dem Spätaufgang der Plejaden. Dieser gilt als eigentlicher Anzeiger für den Neubeginn dieses Teilsystems und zugleich - wie wir sahen - für die Winterregen und die Winteraussaat. Vor ‘Ašwa, so erklärte man mir, gäbe es zwar auch qirānāt, aber außer im letzten šahr vor ‘Ašwa würde man sie nicht zählen. Da ß also eine stabile Unterbrechung im qirān-System erfolgt, ist dem Prinzip des Mondkalenders inhärent. Wann diese Unterbrechungen erfolgen, ist durch den Hirsezyklus mit bedingt und wird durch die ohnedies gegebene Beobachtung der Plejaden nahegelegt, deren zwei markante Horizont-Ereignisse (am Kāma und ‘Ašwa) sich anbieten, seit sie auf den Beginn der Sommer- und Winteraussaat fallen. Diese konkrete Möglichkeit hat also eine bestimmte historische Tiefe.

Während der letzten ‘Allān-Sterne, vor ‘Ašwa, werden die Nächte bis zum ersten Vorübergang des Mondes an den Plejaden tatsächlich mitgezählt. Dieses

"Mitzählen" (hasaba, hisābin) ist nur ein einziges Mal im qirān-Zyklus notwendig; danach erhält jeder folgende Mondmonat den entsprechenden nächsten Namen der absteigenden Kardinalzahlenreihe.

Wir erkennen an Tabelle 7, daß das Jahr 1986 mit qirān 13 endete, und daher unser Jahr 1987 (keine Erhebungszeit) mit qirān 11 begonnen haben muß, und zwar nach dem Neumond vom 31.12. mit qirān am 11.1. Aus dieser (nicht im Feld erhobenen, sondern errechneten) Schlußfolgerung ergibt sich, daß der Jänner 1987 mit qirān 11 begann, während im Jänner 1986 qirān 11 schon am 12.1. endete: Die Kardinalnummern der Mondmonate verschieben sich also alljährlich mit diesen gegenüber dem Agrarjahr. Dieser theoretischen Schlußfolgerung entspricht die mir im Feld mitgeteilte Aussage der Munebbih, daß langfristig alle ungleichen Zahlen "zwischen 27 oder 25 und 1" zu Attributen der Mondmonate werden können, was daher auf der Zahl der Nächte (nämlich: 27) zwischen zwei Neumonden, in denen sichtbare qirānāt eintreten können, beruht. Bei dieser Terminologie eignet sich das qirān-Teilsystem daher nicht für allgemeine Aussagen von der Art, daß etwa Düngung für die Hirseaussaat "immer zu qirān 5" erfolge, diese Aussage trifft nur für das Jahr 1986 zu.

In der bei den Munebbih vorherrschenden Form werden die qirānāt also einmal im Jahr vor ‘Ašwa tatsächlich "beobachtet" und abgezählt; die Zahl dieses ersten Monats ist danach die Ausgangsbasis für die Benennung der folgenden Monate.

Vereinzelt stieß ich auch bei den Munebbih auf Ansätze einer "Standardisierung" der Zählung im qirān-Teilsystem. In dieser "standardisierten" Form wird in jedem Jahr der erste Mondmonat nach ‘Ašwa stets als "šahr 15" bezeichnet und von da an monatlich weiter bis am Kāma gezählt, also bis qirān 3 oder 1. Diese standardisierte Form verzichtet folglich auf das erste konkrete Mitzählen der Nächte bis zu den qirān bei ‘Ašwa und setzt den Namen des ersten Mondmonats nach ‘Ašwa einfach stereotyp, ohne jede wirkliche Beobachtung der qirānāt, mit 15 fest. Der Vorteil dieser bei den Munebbih seltenen Terminologie liegt in einer etwas stärkeren langfristigen Konstanz der Monatstermini im Agrarjahr und einer ausschließlichen Orientierung auf den Mond. Voraussetzung dafür ist allerdings, daß auf die Beobachtung der Plejaden (und die damit einhergehenden Konnotationen) weitgehend verzichtet wird.

Tabelle 13: "Winter"- und "Sommersterne" im Umland von Şa'ḍa

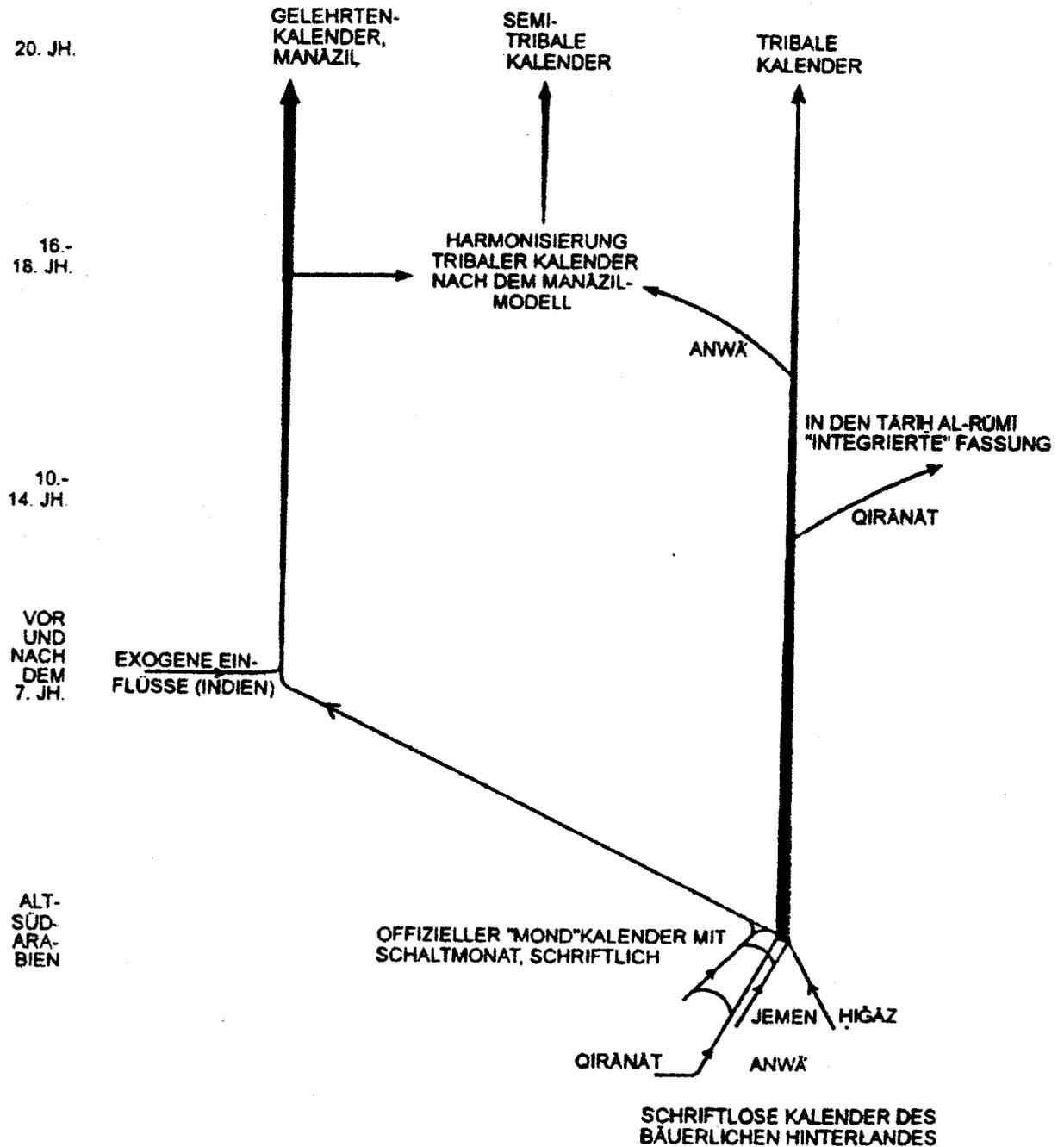
Wādī al-ʿAbdīn	Wādī ʿIkhwān
I. Nuḡūm as-Şayf	
1) an-Naḥ	en natah eṣ-şēf
2) al-Buṭayn	el-baṭen
3) at-Turayyā	eṭ-ṭorayā
4) al-Kalb	el-keḷb
5) al-Ġawzā'	ej-jawzā
6) al-Hanʿa	el-hanaʿah
7) aḍ-Ḍirāʿ	eḍ ḍirāʿ
8) aš-Şabūb	eš-šabūb
9) ʿAlib	ʿaleb
10) al-Ġabha	shayl
11) Suhayl	er-rābiʿ
12) Ḥāmis ʿAllān	el-ḥāmis
13) Sādis ʿAllān	es-sādis
14) Sābiʿ ʿAllān	es-sābeʿ
II. Nuḡūm as-Şitā'	
an-Naḥ	natah eš-šitā'
al-Buṭayn	à nouveau la
at-Turayyā	même succession
al-Kalb	des étoiles
al-Ġawzā'	jusqu'
al-Hanʿa	es-sābeʿ
aḍ-Ḍirāʿ	
aš-Şabūb	
ʿAlib	
al-Ġabha	
Suhayl	
Ḥāmis ʿAllān	
Sādis ʿAllān	
Sābiʿ ʿAllān	

Munebbih - Dialektformen

Tabelle 14: Aufbau und Kontext der nord- und nordwestjemenitischen Agrarkalender

		GELEHRTEN-KALENDER (Abū ʿArīš)	SEMI-TRIBALER KALENDER (Şa'ḍa-Typus)	TRIBALER KALENDER (Munebbih, Bawṣān)
KALENDERSYSTEME	manāzil	1 (naw'-Typ) x 28; davon alle 28	(mindestens) 2 (naw'-Typen) x 14 davon 8 (9) aus 14	3 naw'-Typen in 16 Ereignissen davon 5 (6) aus 16
	anwā'	ganzjährig, identisch mit manāzil, 1 regional typischer Name	zwei Halbjahre; 5 (6) sind keine manāzil; 2 altertümliche und 2 regional typische Namen	halbjähriges Teilsystem; 10 (11) sind keine manāzil; 5 (4) altertümliche und 2 regional typische Namen
	qirānāt	nicht dokumentiert	vereinzelt dokumentiertes Fragment in standardisierter Fassung	halbjähriges Teilsystem in beobachteter oder standardisierter Fassung
SOZIO-ÖKONOMISCHER KONTEXT	Sozialstruktur	detribalisiert, städtisch	tribales Umland zu detribalisiertem Stadtgebiet	tribal, relativ stadtfremd
	soziale Träger agrostelaren Wissens	gelehrte Spezialisten; Fragmente von bäuerlichem Wissen	tribale Spezialisten oder Stammesmitglieder	Stammesmitglieder (außer Vollnomaden und Häuptlingslinie)
	agrari-sche Wasser-zufuhr	Flut- oder Brunnenbewässerung	Flut- oder Brunnenbewässerung	Regenfeldbau
	Hauptbauprodukte	Getreide, Gemüse, Baumwolle	Gartenbau (Trauben, Nutzhölzer) oder Getreide	Getreide

Diagramm 9: Hypothese zur relativen Chronologie südwestarabischer Typen von Agrarkalendern



Univ.-Dozent Dr. Andre Gingrich
Institut für Völkerkunde der
Universität Wien
Universitätsstraße 7
A-1010 Wien

**Referat: Geographische Koordinaten astronomisch-phänomenologisch
bedeutender Orte**

1.Überblick

Der Anblick des gestirnten Himmels hat die Menschen offenbar seit jeher fasziniert. Ohne weitere Hilfsmittel und tiefere Kenntnisse konnten periodische Erscheinungen (Bewegung von Sonne, Mond und Planeten vor dem Hintergrund der "Fixsterne"; Sichtbarkeitsperioden) wahrgenommen und im Laufe der Zeit auch vorhergesagt werden. Jahrtausende alte Aufzeichnungen von Auf- und Untergängen heller Sterne und Planeten, bzw. Sonnen- und Mondfinsternissen im historischen Horizont- und Zeitsystem können uns heute zu vielfältigen wissenschaftlichen Aussagen verhelfen. Natürlich zielten die Sumerer, Ägypter und Chinesen mit ihren Beobachtungen nicht zentral auf die Lösung von Positionierungsaufgaben, sondern folgten dem Wunsch Himmelserscheinungen mit Vorkommnissen des täglichen Lebens (z.B. Aussat) in Beziehung zu setzen. Auch andere Beweggründe wie die Datierung von Kulthandlungen oder der Versuch Glücks- bzw. Unglücksfälle vorherzusehen waren gegeben.

Spätestens zur Zeit der großen griechischen Astronomen und Philosophen wurden Himmelserscheinungen auch zu durchaus vermessungstechnischen Aufgaben benützt, wie die Versuche zur Bestimmung von Gestalt und Größe der Erde zeigen. Eine Bewertung antiker Schriftstücke astronomischen Inhalts im heutigen Sinn wurde allerdings erst durch die Schaffung geeigneter Referenzsysteme möglich. So wäre wohl ein Datierungsproblem, wie das der Papyrusedokumente von ILLAHUN (siehe Gastvortrag: Altägyptische Sirius- und Monddaten aus dem 19. und 18. Jahrhundert vor Christi Geburt; Sternfreunde-Seminar 1994) selbst bei korrekter Lesung der hieratischen Texte nicht lösbar, solange wir dem Beobachtungsort keine gesicherten geographischen Koordinaten zuordnen können. Logischerweise ist das Ortungsproblem, also die Umkehrung obengenannter Aufgabe, nicht ohne Kenntnis der Beobachtungsepoche in einem uns geläufigen Zeitsystem möglich (siehe Kapitel 2). Beide Berechnungsvorgänge stützen sich zudem noch auf die Vorgabe sphärischer Richtungen der beobachteten Himmelskörper (Sterne, Planeten) in einem raumfesten Himmels-Koordinatensystem (Äquatorsystem, Ekliptiksystem).

So stehen erdgebundene und raumfeste Referenzsysteme in einer permanenten iterativen Wechselbeziehung, wobei jede Innovation in einem der Systeme (genauere Koordinatenfestlegung, bessere Realisation) sofort präzisere Schlüsse im anderen System erlaubt. Wenngleich moderne Meßmethoden sich weitgehend nicht mehr vordergründig an der Beobachtung natürlicher Himmelskörper orientieren (Ausnahme VLBI= Very Long Baseline Interferometry; Zielobjekte meist Quasare) sondern künstliche Erdsatelliten als Richtungsgeber im Raum benützen (siehe Kapitel 3), hat das obengenannte Prinzip seine Gültigkeit seit mehr als 2000 Jahren beibehalten.

1. Fortsetzung Referat: Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

Die im Anhang gegebenen Tabellen 1 und 2 sind als Hilfsmittel zur Berechnung verschiedenster Sichtbarkeitsprobleme gedacht. Tabelle 1 umfaßt eine Liste der geographischen Koordinaten (auf Bogenminuten genau) von ca. 650 zeitgenössischen Städten und bekannten Orten. Für die Aufnahme in die Liste läßt sich kein numerisches Kriterium angeben (wie z.B. die Einwohnerzahl, die Fläche, etc.). Es wurde vielmehr versucht den Kriterien Bekanntheitsgrad und globale Verteilung Rechnung zu tragen, wenngleich sich der Verfasser durchaus bewußt ist, daß selbst diese subjektive Einteilung nicht vollständig gelingen konnte (z.B. Überhang nordamerikanischer Eintragungen). Demgemäß kann Tabelle 1 keinesfalls Anspruch auf Vollständigkeit in jedem noch so engem Sinn erheben. Auf die Angabe von Meereshöhen wurde bewußt verzichtet, da die erwünschte Genauigkeit von ± 50 m trotz Vorlage von reichhaltigem Kartenmaterial nur in küstennahen Gebieten einzuhalten wäre und Fehlerbeträge von bis zu 300m dem Benutzer der Tabelle nicht zumutbar erscheinen.

Tabelle 2 stellt den eigentlichen Kern der Referatsarbeit dar. Es wurde ähnlich Tabelle 1 ein alphabetisch geordnetes Verzeichnis historisch bedeutsamer Orte (ca. 270) erstellt. Die Auswahl erfolgte basierend auf geschichtlichen Erwähnungen und damit wieder nach Kriterien des Bekanntheitsgrades. Es handelt sich entweder um Stätten archäologischer Grabungen bzw. sofern die Zuordnung gesichert gelungen ist, um die Koordinaten aktueller Orte mit Angabe des historischen und des zeitgenössischen Namens. Neben den geographischen Koordinaten wurde diesmal doch versucht Angaben über die Meereshöhe beizufügen, wenngleich auch hier die obengenannten Einschränkungen Gültigkeit haben. Eine spezielle Codierung in der Rubrik "Meereshöhe" (*) weist auf eine schwach gesicherte Höhenangabe hin. Die Rubrik "Code" enthält wieder eine Kurzbezeichnung zur groben geographischen Einordnung des eingetragenen Ortes. Hier haben sich allerdings Gruppierungen nach Einflußbereichen und geschichtlichen Epochen (von den Anfängen der Überlieferungen aus dem Euphrat-Tigris-Gebiet bis hin zum römischen Reich) sinnvoller erwiesen als die heute übliche strikte Trennung nach Kontinenten.

Diese Liste ist als erste Hilfestellung zur astronomischen Behandlung archäologischer Schriftquellen gedacht. Ob sie diesem Bedarf in der vorliegenden, einer erweiterten oder geänderten Form gerecht werden kann, ist von den befaßten Fachleuten zu beurteilen. Beide Tabellen liegen jedenfalls zusätzlich in digitaler Form vor, und erlauben somit eine einfache Erweiterung und Veränderung des Datenbestandes.

2. Astronomische Ortsbestimmung

Die klassische geodätische Netzausbreitung ist das Standardverfahren zur Verdichtung von Punktfeldern an der Erdoberfläche und für Gebiete geringer Ausdehnung durchaus zufriedenstellend. Absolute Zenitrichtungen sind allerdings durch diese fortgesetzte terrestrische Dreiecksmaschenmessung nicht bestimmbar, sondern nur der astronomischen Ortsbestimmung zugänglich. So ist es keinesfalls verwunderlich, daß sich jede Landesvermessung auf ein Grundnetz astronomisch festgelegter Stationen stützt. Neben diesen Aufgaben in der Vermessung war es bis vor wenigen Jahren vorallem die Navigation (z.B. in der Seefahrt), welche die Methoden der astronomischen Punktbestimmung in wesentlich breiterem Rahmen zu nutzen wußte.

2. Fortsetzung Referat: Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

Eine vollständige Behandlung der ersonnenen Verfahren der astronomischen Ortsbestimmung würde den Rahmen dieses Kapitels bei weitem übersteigen. Selbst ihre alleinige Aufzählung wäre übermäßig. Im folgenden seien deshalb einzig 4 Methoden erwähnt, die dem Verfasser als historisch wesentlich und heute auch noch durchaus praktikabel erscheinen. Anschließend wird das Verfahren 2a näher erläutert.

- 1a) Die astronomische Breitenbestimmung aus Meridianzenitdistanzen
- 1b) Die astronomische Breitenbestimmung aus Meridianzenitdistanzen nach Horrebow-Talcott (für höhere Ansprüche und aufwendiger)
- 2a) Die Simultanbestimmung von geographischer Länge und Breite mit Hilfe von Zeitbestimmung und Zenitdistanzmessungen in verschiedenen Azimuten
- 2b) Die Simultanbestimmung von geographischer Länge und Breite aus Almukantaratdurchgängen von 3 oder mehreren Sternen. (aus 2a abgeleitet)

ad 2a) Eine gemessene Zenitdistanz zu einem Stern mit bekannten Koordinaten liefert einen Kleinkreis als geometrischen Ort für den gesuchten Zenitpunkt. Dieser Kleinkreis ist somit die Gesamtheit aller Punkte der Erdoberfläche, welche den betrachteten Stern unter dem Zenitwinkel z sehen.

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t \quad (1)$$

mit z ... Zenitdistanz = $90 -$ Höhe
 $t = \Theta - \alpha$... Stundenwinkel
 $\Theta = \Theta(\lambda)$... Sternzeit

φ ... geographische Breite
 α, δ ... Rektaszension, Deklination
 λ ... geographische Länge

Zur Lösung nach den Unbekannten φ, t sind zumindest zwei Beobachtungen in möglichst um 90 Grad differierenden Azimuten nötig (kein schleifender Schnitt). Da jedoch weder φ noch t in (1) linear auftreten und logischerweise eine vernünftige Überbestimmung des Problems anzustreben ist, sind im allgemeinen $n \geq 3$ Messungen zu verschiedenen Sternen durchzuführen und in der Folge die Unbekannten mittels Ausgleichung zu bestimmen. Durch Linearisierung von (1)

$$\text{mit } \varphi = \varphi_o + d\varphi, \quad \Theta = \Theta_o + d\Theta = \Theta_o + d\lambda \quad (2)$$

werden die Kleinkreise durch ihre Tangenten, die sogenannten **Standlinien** ersetzt. Diese gehorchen den Gleichungen

$$\cos a_i x + \sin a_i y + dz_i = 0 \quad i = 1..n \quad (3)$$

wobei die Azimute aus den Näherungen (4) berechenbar sind

$$\sin a_i = -\cos \delta_i \sin t_i / \sin z_i \quad (4)$$

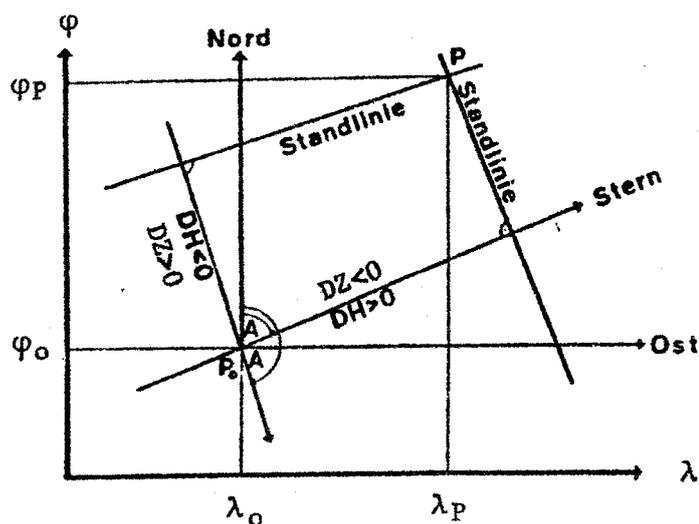
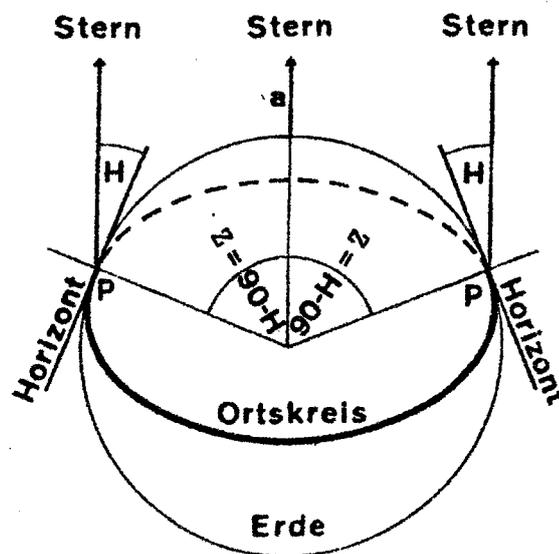
und dz die Differenz einer beobachteten Zenitdistanz und der mittels des genäherten Standpunktes $P_o(\varphi_o, \lambda_o)$ errechneten Zenitdistanz ist. Die Lösung der Gleichungen (3) nach den Unbekannten $x = d\varphi, y = \cos \varphi d\lambda$ liefert den gesuchten Standpunkt.

3. Fortsetzung Referat; Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

Die Lösung ist übrigens auch sehr elegant auf graphischem Wege zu erhalten. Man wähle ein ebenes, kartesisches, rechtsdrehendes Koordinatensystem mit dem approximativen Ort P_0 im Ursprung. Die positive x-Achse weise in Richtung steigender Breite, auf der positiven y-Achse wird das Produkt $d\lambda \cos \varphi$ aufgetragen. Man zeichne nun ausgehend vom Ursprung für jeden beobachteten Stern einen Strahl in Richtung seines Azimuts und fälle jeweils im Abstand dz die Normale auf diesen Strahl. dz ist abhängig vom Vorzeichen entweder in Richtung auf den Stern, oder entgegengesetzt aufzutragen. ($dz < 0$ in Richtung Azimut; $dz > 0$ entgegengesetzt; Achtung: Für Höhenwinkel anstelle der Zenitdistanzen gilt die umgekehrte Vorzeichenkonvention). Im Schnittpunkt aller Normalen (Standlinien) liegt der gesuchte Beobachtungsort.

Nähere Informationen können den Unterlagen zum Sternfreundeseminar 1992/1993 ("Höhenstandlinienverfahren") entnommen werden. Schlußendlich sei der Arbeitsablauf noch stichwortartig beschrieben.

- Sternauswahl
- Messung von Zenitdistanzen zu $n \geq 3$ Sternen
- Berechnung der dz und Näherungszimute mit (3)
- graphische Lösung



3. Das "Global Positioning System" (GPS)

Als am 22. Februar 1978 der erste Satellit eines im Aufbau befindlichen weltweiten Navigationssystems in seine Umlaufbahn gebracht wurde, war wohl selbst für die kühnsten Optimisten die revolutionierende Bedeutung dieses Neubeginns für jeden Bereich der Positionsbestimmung an der Erdoberfläche und im Raum unabsehbar.

GPS wurde grundsätzlich als militärisches System der vereinigten Staaten konzipiert und sollte das veraltete Transit-Doppler-System ablösen. Ziel war deshalb vorerst einzig die weltweite Fahrzeug-Echtzeit-Navigation auf ± 10 m. Die Möglichkeiten für private Nutzer (Vermessung, Fahrzeugleitsysteme, Expeditionspositionierung, etc.) wurden erst im Laufe der letzten Jahre erkundet und entwickelt. Zur folgenden groben Beschreibung des Systems bietet sich eine logische Dreiteilung in Raumsegment, Kontrollsegment und Nutzersegment an.

a) Das Raumsegment

Das Raumsegment besteht im Vollausbau (dieser wurde am 1. Februar 1994 erreicht) aus 24 operationellen Block II - bzw. Block IIR- Satelliten, welche eine Weiterentwicklung der ersten Generation darstellen und in den Jahren 1989-1994 in die Umlaufbahn gebracht wurden. Die Satelliten bewegen sich in ca. 20200 km Höhe (dies entspricht einer großen Halbachse von ca. 26600 km) mit einer Umlaufzeit von 12 Stunden und einer Neigung von $i \approx 54$ Grad auf relativ kreisnahen Bahnen. Da das Meßsystem auf hochgenauer Zeitmessung basiert und eine eigene GPS-Zeitskala existiert, ist jeder Satellit mit speziellen Oszillatoren (Cäsium- oder Rubidium-Normal; $\Delta f \leq 10^{-13} s^{-1}$) ausgestattet. Alle Satelliten senden permanent auf zwei Grundfrequenzen

$$L1 = 1575.42 \text{ MHz } (\lambda \approx 19.05 \text{ cm})$$

$$L2 = 1227.60 \text{ MHz } (\lambda \approx 24.45 \text{ cm})$$

Signale aus diesen Frequenzen sind Codesignale aufmoduliert (der genaue P-Code mit einer Wellenlänge von ca. 30m und der weniger präzise C/A-Code mit einer Wellenlänge von ca. 300 m) über welche die Zeit- und Bahninformationen an die Nutzer abgestrahlt wird. Diese Codes bieten allerdings auch die Möglichkeit, die ausgesendeten Informationen zu manipulieren und derart die erreichbare Einzel-Positionsgenauigkeit auf ± 30 m zu degradieren. Von dieser Möglichkeit wird durchaus Gebrauch gemacht (SA...Selective Availability; AS...Anti-Spoofing) um den Systembetreibern einen kleinen Vorteil in der Echtzeitnavigation gegenüber allen anderen Nutzern (auch den zivilen) zu sichern. Der kontinuierliche Betrieb der GPS-Satelliten wurde bis in das Jahr 2008 vertraglich gesichert.

b) Das Kontrollsegment

Die GPS-Satellitenbewegung wird durch 5 Beobachtungsstationen (Colorado Springs (Zentrale), Hawaii, Kwajalein, Ascension, Diego Garcia) kontrolliert. Diese Stationen führen permanent Distanzmessungen zu allen im Sichtbarkeitsbereich befindlichen GPS-Satelliten durch und senden diese Daten zusammen mit lokalen Meteorologiewerten zur Zentrale. Aus diesen Werten werden Satellitenephemeriden

5. Fortsetzung Referat: Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

und Uhrverhalten ermittelt und umgehend den Satelliten eingespeist, welche somit ihre eigene Bahninformation in Permanenz abstrahlen. Schon aus der geringen Anzahl der Monitorstationen läßt sich ersehen, daß diese Bahninformation das Satellitenverhalten im besten Fall ca. +/- 10-15m im Raum beschreiben kann. Ein wesentlich dichteres Netz (aktuell ca. 40 Stationen) von permanenten Beobachtungsstationen wurde 1993 vom "Internationalen Geodynamik Dienst (IGS)" aufgebaut. Die beteiligten Organisationen kommen aus dem Bereich der Hochschulen und nationalen Vermessungsbehörden und dienen ausschließlich dem zivilen Gebrauch von GPS. Der IGS-Bahndienst kann die Satellitenbahnen mit einer Genauigkeit von 30cm pro kartesischer Koordinatenkomponente beschreiben (allerdings nicht in Echtzeit) und legt damit den Grundstein für alle geodynamischen Untersuchungen die sich des GPS-Systems bedienen (z.B. Studium der Plattentektonik)

c) Das Nutzersegment

Dem Nutzersegment sind alle Personen, Fahrzeuge oder Einrichtungen zuzuordnen, welche mittels eines GPS-Empfängers Positionsbestimmung im weitesten Sinn betreiben. Die Aufgabe bedingt, daß sich gleichzeitig mindestens 4 Satelliten im Sichtfenster der Empfängerantenne befinden, welche angemessen werden können. Der Systembetreiber garantiert seit Erreichen des Vollausbaus diesen Zustand (4 Satelliten in mindesten 15 Grad Höhe über dem Horizont) weltweit über alle 24 Stunden des Tages.

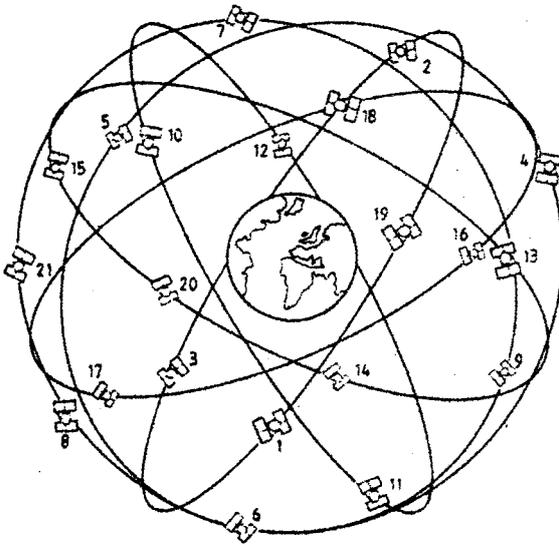
Dem breiten Anwendungsspektrum folgend sind heute ca. 200 verschiedene Empfängertypen von mindestens 25 namhaften Herstellern am Markt erhältlich. Es wird zwischen einfachen C/A-Code Empfängern, erweiterten 1-Frequenzgeräten (C/A-Code und L1-Trägerwelle) sowie den aufwendigeren 2-Frequenzempfängern für höchste Ansprüche (C/A-Code, P-Code, L1- und L2-Trägerwelle) unterschieden. Die gebräuchlichsten Handempfänger bestehen aus einer Antenneneinheit, einem Korrelator, einem Oszillator ($\Delta f \approx 10^{-6} s^{-1}$) und einer Displayeinheit. Sie korrelieren das einkommende Signal mit einem im Gerät erzeugten Codeduplikat und die so ermittelte Verschiebungsgröße ist ein Maß für die Signallaufzeit zwischen Satellit und Empfänger. Diese Größe, multipliziert mit der Lichtgeschwindigkeit ergibt eine sogenannte "Pseudostrecke", welche noch den konstanten Fehler der Empfängeruhr enthält. Der Schnitt von 4 Pseudostrecken liefert unter der Voraussetzung, daß der Empfänger zumindest genäherte Satellitenbahnen kennt, den Beobachtungsort und die Uhrkorrektur.

Für Anwendungen mit höherem Genauigkeitsanspruch an die Position als $\sigma = \pm 30m$ sind die Messungen im Differenzmodus (zwei oder mehrere Empfänger) und unter Ausnutzung der höheren Auflösung der Trägerwellen auszuführen. Diese Technik erlaubt Streckenmessungen im mm-Bereich, allerdings unter Verlust der Lösung in Echtzeit. GPS-Positionen sind im allgemeinen vorerst in einem erdfesten kartesischen Koordinatensystem vorhanden (WGS84). Die meisten Empfänger erlauben jedoch die direkte Umrechnung dieser Größen in das lokale Landesvermessungssystem (in Österreich: MGI, Bessel-Ellipsoid), welches den offiziellen österreichischen Landkarten zugrundeliegt. Diese Fähigkeit sollte vor dem Kauf hinterfragt werden.

6.Fortsetzung Referat: Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

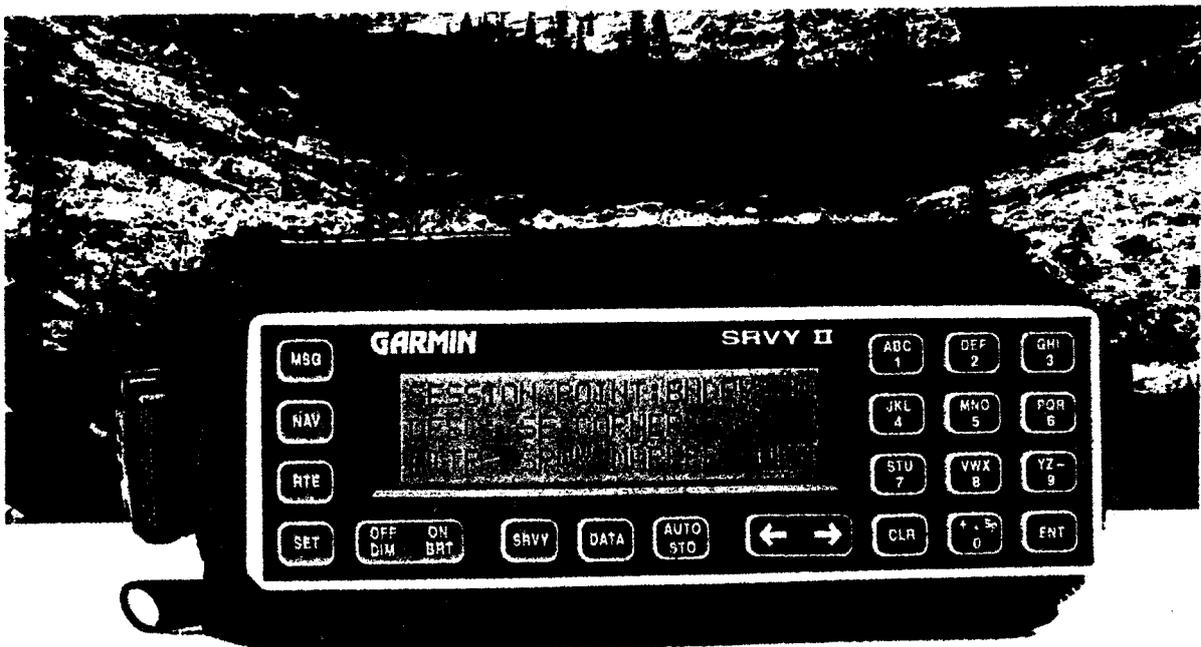
Es sei noch erwähnt, daß auch die GUS-Staaten ein ähnliches Satellitensystem unter dem Namen GLONASS entwickelt haben. Es sind derzeit 13 aktive Satelliten im Raum, denen allerdings bislang noch nie eine große Lebensdauer beschieden war. Die erst jüngst erfolgten Aktivitäten lassen jedoch einen zügigen Ausbau auch dieses Systems in den nächsten Jahren erwarten. Schon momentan sind Empfänger, welche die Signalstruktur beider System verarbeiten können, am Markt. Detailliertere Informationen sind unter anderem dem ausgezeichneten Band (Seeber;1993,[8]) zu entnehmen.

Das Potential von GPS ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch keineswegs ausgeschöpft. Wenngleich der größte Schwachpunkt, nämlich die Abhängigkeit von sichtfreien Räumen (vorallem im Stadtgebiet ein Problem) nicht zu übersehen ist, hat die satellitengestützte Positionierung bereits heute den Schritt vom Experimentierstatus in viele Bereiche des täglichen Lebens geschafft (Transportwesen, Flug- und Seenavigation, Vermessung, Expeditionen,etc.) und wird das bei weitem führende Navigationssystem zur Jahrtausendwende sein.



links:GPS-Satelliten-
bahnkonfiguration
(schematisch)

unten: Beispiel eines
GPS-Handempfängers



7.Fortsetzung Referat: Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

Tabelle 1 : Verzeichnis zeitgenössischer Orte

ORT	LÄNGE	BREITE	CODE
Aberdeen	2 05 W	57 07 N	EU
Abidjan	4 02 W	5 19 N	AF
Acapulco	99 53 W	16 53 N	SA
Accra	0 13 W	5 31 N	AF
Adak	176 41 W	51 48 N	NA
Adana	35 16 E	37 00 N	A
Addis Ababa	38 45 E	9 01 N	AF
Adelaide	138 36 E	34 56 S	AU
Aden	45 00 E	12 40 N	A
Agawam	72 36 W	42 03 N	NA
Akron	81 30 W	41 04 N	NA
Alamagordo	105 56 W	32 53 N	NA
Albany	73 45 W	42 39 N	NA
Alborg	9 56 E	57 01 N	EU
Albuquerque	106 40 W	35 05 N	NA
Alesund	6 07 E	62 32 N	EU
Alexandria	77 03 W	38 47 N	NA
Alexandria	29 53 E	31 11 N	AF
Algiers	3 02 E	36 45 N	AF
Alicante	0 30 W	38 20 N	EU
Alice Springs	133 55 E	23 46 S	AU
Allentown	75 27 W	40 35 N	NA
Altoona	78 24 W	40 41 N	NA
Amarillo	101 50 W	35 13 N	NA
Amman	35 56 E	1 57 N	A
Amsterdam	4 52 E	52 22 N	EU
Anchorage	149 50 W	61 11 N	NA
Andorra	1 31 E	42 30 N	EU
Ankara	32 52 E	39 55 N	A
Annapolis	76 29 W	38 58 N	NA
Antananarivo	47 31 E	15 54 S	AF
Antofagasta	70 20 W	23 41 S	SA
Antwerpen	4 24 E	51 13 N	EU
Archangel	40 40 E	64 35 N	EU
Arsuk	48 10 W	61 12 N	NA
Ascension	14 42 W	7 57 S	AF
Ashville	82 33 W	35 35 N	NA
Aspen	106 49 W	39 12 N	NA
Asuncion	57 39 W	25 17 S	SA
Athen	23 44 E	37 58 N	EU
Atlanta	84 23 W	33 45 N	NA
Atlantic City	74 25 W	39 21 N	NA
Augsburg	10 52 E	48 22 N	EU
Auckland	174 45 E	36 55 S	AU
Avon	72 49 W	41 47 N	NA
Baghdad	44 25 E	33 20 N	A

8.Fortsetzung Referat: Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

ORT	LÄNGE	BREITE	CODE
Baghlan	68 46 E	36 13 N	A
Bakersfield	119 00 W	35 22 N	NA
Baku	49 50 E	40 26 N	A
Balboa	79 33 W	8 56 N	SA
Baltimore	76 36 W	39 17 N	NA
Bamak	8 00 W	12 38 N	AF
Bangalore	77 35 E	12 58 N	A
Banff	115 35 W	51 10 N	NA
Bangkok	100 31 E	13 45 N	A
Bangor	68 46 W	44 48 N	NA
Barcelona	2 10 E	41 24 N	EU
Bari	16 50 E	41 07 N	EU
Basel	7 30 E	47 32 N	EU
Battle Creek	85 11 W	42 19 N	NA
Battle Mtn	116 56 W	40 38 N	NA
Bay City	83 52 W	43 35 N	NA
Beijing	116 22 E	39 54 N	A
Beirut	35 30 E	33 54 N	A
Belfast	5 56 W	54 35 N	EU
Belgrad	20 27 E	44 48 N	EU
Bellingham	122 28 W	48 46 N	NA
Belo Horizonte	43 54 W	19 54 S	SA
Bend	121 17 W	44 04 N	NA
Benton Harbor	86 26 W	42 06 N	NA
Bergen	5 20 E	60 24 N	EU
Berlin	13 24 E	52 28 N	EU
Bern	7 26 E	46 58 N	EU
Biak	136 00 E	1 09 S	AU
Big Sur	121 48 W	36 16 N	NA
Bilbao	2 57 W	43 14 N	EU
Billings	108 30 W	45 39 N	NA
Biloxi	89 04 W	30 22 N	NA
Birmingham	86 48 W	33 31 N	NA
Birmingham	1 51 W	52 28 N	EU
Blackpool	3 01 W	53 47 N	EU
Boda	14 27 E	67 19 N	EU
Bogota	74 05 W	4 35 N	SA
Boise	116 11 W	43 38 N	NA
Bolzano	11 19 E	46 30 N	EU
Bombay	72 39 E	18 57 N	A
Bonn	7 05 E	50 43 N	EU
Boone	81 40 W	36 13 N	NA
Bordeaux	0 34 W	44 50 N	EU
Boston	71 03 W	42 21 N	NA
Bournemouth	1 58 W	50 43 N	EU
Bowling Green	86 26 W	36 59 N	NA
Bozeman	111 02 W	45 39 N	NA

9.Fortsetzung Referat: Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

ORT	LÄNGE	BREITE	CODE
Brasilia	47 51 W	15 48 S	SA
Bremen	8 46 E	53 5 N	EU
Brest	4 29 W	48 23 N	EU
Bridgeport	73 11 W	41 10 N	NA
Brisbane	153 01 E	27 27 S	AU
Bristol	82 11 W	36 35 N	NA
Bristol	2 34 W	51 26 N	EU
Brownsville	97 28 W	25 55 N	NA
Brunswick	81 29 W	31 08 N	NA
Brussels	4 22 E	50 50 N	EU
Bukarest	26 05 E	44 26 N	EU
Budapest	19 02 E	47 30 N	EU
Buenos Aires	58 09 W	34 21 S	SA
Buffalo	78 54 W	42 52 N	NA
Burlingame	122 19 W	37 34 N	NA
Burlington	73 12 W	44 28 N	NA
Butte	112 32 W	46 00 N	NA
Cairns	145 41 E	16 54 S	AU
Cairo	31 15 E	30 03 N	AF
Calcutta	88 20 E	22 34 N	A
Calgary	114 02 W	51 02 N	NA
Cambridge	76 04 W	38 33 N	NA
Canberra	149 06 E	35 19 S	AU
Candia	25 07 E	35 19 N	EU
Canton	113 15 E	23 08 N	A
Capri	14 14 E	40 47 N	EU
Caracas	66 54 W	10 30 N	SA
Cardiff	3 09 W	51 28 N	EU
Caribou	68 01 W	46 51 N	NA
Casa Blanca	7 37 W	33 36 N	AF
Casper	106 17 W	42 50 N	NA
Cayenne	52 19 W	4 55 N	SA
Cedar City	113 03 W	37 41 N	NA
Cedar Rapids	91 38 W	41 58 N	NA
Chapel Hill	79 01 W	35 55 N	NA
Charleston	79 55 W	32 46 N	NA
Charleston	81 37 W	38 20 N	NA
Charlottesville	78 28 W	38 02 N	NA
Charlottetown	63 07 W	46 14 N	NA
Cherbourg	1 35 W	49 40 N	EU
Chicago	87 38 W	41 52 N	NA
Chico	121 49 W	39 43 N	NA
Chihuahua	106 03 W	28 36 N	SA
Christchurch	172 37 E	43 32 S	AU
Chunking	106 31 E	29 33 N	A
Churchill	94 05 W	58 48 N	NA
Cincinnati	84 30 W	39 06 N	NA
Clearwater	82 48 W	27 57 N	NA

10. Fortsetzung Referat: Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

ORT	LÄNGE	BREITE	CODE
Cleveland	81 33 W	41 30 N	NA
Colombo	79 50 E	6 55 N	A
Colon	79 52 W	9 21 N	SA
Columbia	81 05 W	34 00 N	NA
Columbus	83 00 W	39 57 N	NA
Concord	71 32 W	43 12 N	NA
Coos Bay	124 06 W	42 40 N	NA
Cork	8 28 W	51 55 N	EU
Curitiba	49 16 W	25 24 S	SA
Cut Bank	112 19 W	48 36 N	NA
Dacca	90 24 E	23 42 N	A
Dakar	17 40 W	14 49 N	AF
Dallas	96 47 W	32 46 N	NA
Damascus	36 17 E	33 31 N	A
Danbury	73 27 W	41 22 N	NA
Dares Salam	39 17 E	6 48 S	AF
Darwin	130 52 E	12 25 S	AU
Davao	125 37 E	7 06 N	AU
Dayton	84 24 W	39 45 N	NA
Denpasar	115 13 E	8 45 S	AU
Denver	104 59 W	39 44 N	NA
Des Moines	93 36 W	41 34 N	NA
Detroit	83 03 W	42 20 N	NA
Dijon	5 03 E	47 19 N	EU
DiomedesIsl	169 00 W	65 45 N	NA
Dover	75 33 W	39 16 N	NA
Dublin	6 15 W	53 20 N	EU
Duluth	92 05 W	46 46 N	NA
Durango	107 16 W	37 16 N	NA
Durango	104 43 W	24 01 N	SA
Durban	31 01 E	29 51 S	AF
Düsseldorf	6 47 E	51 13 N	EU
Eastville	75 55 W	37 20 N	NA
Eau Claire	91 29 W	44 47 N	NA
Edinburgh	3 11 W	55 57 N	EU
Edmonton	113 31 W	53 32 N	NA
El Paso	106 27 W	31 46 N	NA
Elat	34 56 E	29 32 N	A
Elizabeth	74 11 W	40 39 N	NA
Elizabethton	82 13 W	36 20 N	NA
Ellington	72 28 W	41 54 N	NA
Elmira	76 49 W	42 05 N	NA
Endicott	76 03 W	42 07 N	NA
Erie	80 04 W	42 07 N	NA
Eugene	123 05 W	44 2 N	NA
Eureka	124 08 W	40 47 N	NA
Evansville	87 34 W	37 58 N	NA
Fairbanks	147 43 W	64 47 N	NA

11.Fortsetzung Referat: Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

ORT	LÄNGE	BREITE	CODE
Fall River	71 09 W	41 42 N	NA
Faro	7 03 W	37 01 N	EU
Firenze	11 14 E	43 46 N	EU
Flagstaff	111 19 W	35 12 N	NA
Flint	83 56 W	42 59 N	NA
Florianopolis	48 31 W	27 35 S	SA
Fortaleza	38 35 W	3 45 S	SA
Frankfurt	8 41 E	50 06 N	EU
Frederick	77 24 W	39 25 N	NA
Fredericton	66 39 W	45 43 N	NA
Fredricksburg	77 26 W	38 17 N	NA
Freetoen	13 10 E	8 26 N	AF
Freiburg	7 50 E	47 59 N	EU
Ft Lauderdale	80 08 W	26 07 N	NA
Ft Worth	97 19 W	32 45 N	NA
Funchal	16 54 W	32 37 N	AF
Gainesville	82 19 W	29 38 N	NA
Galapagos	91 00 W	1 00 S	SA
Galway	9 02 W	53 16 N	EU
Gao	0 02 W	16 15 N	AF
Gary	87 19 W	41 35 N	NA
Gauting	11 22 E	48 04 N	EU
Gaza	34 27 E	31 30 N	A
Geneva	76 58 W	42 52 N	NA
Geneva	6 09 E	46 14 N	EU
Georgetown	58 09 W	6 49 N	SA
Gibraltar	5 39 W	36 07 N	EU
Gilching	11 17 E	48 07 N	EU
Glasgow	4 15 W	55 52 N	EU
Göteborg	11 55 E	57 41 N	EU
Granada	3 24 W	37 11 N	EU
Grand Rapids	85 55 W	42 57 N	NA
Gravenhage	4 19 E	52 5 N	EU
Graz	15 20 E	47 04 N	EU
Great Falls	111 16 W	47 28 N	NA
Grenada	61 42 W	12 03 N	SA
Gstaad	7 18 E	45 28 N	EU
Guadalajara	103 20 W	20 40 N	SA
Guam	144 46 E	13 21 N	AU
Guatamala	90 31 W	14 38 N	SA
Haddonfield	75 01 W	39 54 N	NA
Hagerstown	77 42 W	39 32 N	NA
Haifa	35 00 E	32 04 N	A
Haiphong	106 40 E	20 51 N	A
Halifax	63 35 W	44 38 N	NA
Hamburg	10 00 E	53 32 N	EU
Hamilton	79 17 W	43 05 N	NA
Hamilton	64 48 W	32 17 N	SA

12.Fortsetzung Referat: Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

ORT	LÄNGE	BREITE	CODE
Hampton	76 20 W	37 01 N	NA
Hanfeld	11 19 E	48 01 N	EU
Hannover	9 45 E	52 18 N	EU
Hanoi	105 50 E	21 02 N	A
Harbin	126 38 E	45 48 N	A
Harrisburg	76 52 W	40 16 N	NA
Hartford	72 41 W	41 45 N	NA
Havana	82 22 W	23 07 N	SA
Helsinki	24 56 E	60 09 N	EU
Herat	62 12 E	34 28 N	A
Hermosillo	110 56 W	29 01 N	SA
Hobart	147 13 E	42 48 S	AU
Hof	11 55 E	50 18 N	EU
Honaira	159 55 E	9 25 S	AU
Honolulu	157 51 W	21 18 N	NA
Hot Springs	93 03 W	34 30 N	NA
Houston	95 21 W	29 45 N	NA
Huambo	15 45 E	12 45 S	AF
Huntington	82 26 W	38 24 N	NA
Huntsville	86 35 W	35 16 N	NA
Ibizia	1 27 E	38 54 N	EU
Imphal	93 56 E	24 47 N	A
Indianapolis	86 10 W	39 46 N	NA
Innsbruck	11 26 E	47 15 N	EU
Inverness	4 13 W	57 28 N	EU
Isfahan	51 42 E	32 42 N	A
Istanbul	28 57 E	41 00 N	EU
Jackson	90 10 W	32 16 N	NA
Jacksonville	81 39 W	30 19 N	NA
Jaffna	80 01 E	9 41 N	A
Jakarta	106 53 E	6 10 S	A
Jan Mayen	8 11 E	71 00 N	EU
Jerusalem	35 13 E	31 46 N	A
Jiddah	39 50 E	21 29 N	A
Johannesburg	28 20 E	26 23 S	AF
Juarez	106 26 W	31 44 N	NA
Juneau	134 31 W	58 16 N	NA
Kabul	69 10 E	34 31 N	A
Kalkutta	88 21 E	22 35 N	A
Kampala	32 27 E	0 17 N	AF
KansasCity	94 37 W	39 06 N	NA
Karachi	66 59 E	24 51 N	A
Karlsruhe	8 23 E	49 00 N	EU
Kassel	9 30 E	50 19 N	EU
Katmandu	85 17 E	27 44 N	A
Keene	72 16 W	42 55 N	NA
Kelso	122 28 W	46 04 N	NA
Ketchikan	131 40 W	55 20 N	NA

13.Fortsetzung Referat: Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

ORT	LÄNGE	BREITE	CODE
Key West	81 48 W	24 32 N	NA
Khartoum	32 30 E	15 35 N	AF
Kiev	30 31 E	50 26 N	A
Kings Beach	120 00 W	39 15 N	NA
Kingston	76 46 W	18 00 N	SA
Kinshasa	15 18 E	4 19 S	AF
Knoxville	83 54 W	35 58 N	NA
Koblenz	7 34 E	50 19 N	EU
Kochi	133 44 E	33 34 N	A
Kodiak	152 20 W	57 48 N	NA
Kokor	134 32 E	7 18 N	AU
Koln	6 57 E	50 55 N	EU
Kopenhagen	12 34 E	55 40 N	EU
Kota	115 58 E	6 00 N	AU
Kourou	52 37 W	5 08 N	SA
Kowloon	114 09 E	22 19 N	A
Krakow	19 58 E	50 03 N	EU
Kuala Lumpur	101 42 E	3 08 N	A
Kupang	123 34 E	10 11 S	AU
Kyoto	135 46 E	35 00 N	A
LaPaz	110 18 W	24 09 N	SA
LaPaz	68 09 W	16 29 S	SA
Laconia	71 27 W	43 31 N	NA
Lae	147 06 E	6 41 S	AU
Lagos	3 25 E	6 25 N	AF
Lahore	74 19 E	31 37 N	A
Laredo	99 31 W	27 30 N	NA
Largo	82 47 W	27 53 N	NA
Las Palmas	15 08 W	28 02 N	AF
Las Vegas	115 09 W	36 10 N	NA
Le Havre	0 06 E	49 28 N	EU
Le Mans	0 10 E	48 00 N	EU
Leipzig	12 23 E	51 19 N	EU
Leningrad	30 18 E	59 55 N	A
Lexington	84 30 W	38 01 N	NA
Lima	77 02 W	12 03 S	SA
Limerick	8 36 W	52 39 N	EU
Limoges	1 15 E	45 56 N	EU
Lisbon	9 07 W	38 43 N	EU
Little Rock	92 15 W	34 43 N	NA
Liverpool	2 58 W	53 23 N	EU
Ljubilana	14 30 E	46 02 N	EU
Llasa	90 45 E	29 50 N	A
Logan	111 48 W	41 44 N	NA
Lome	1 13 E	6 06 N	AF
London	81 14 W	42 58 N	NA
London	0 07 W	51 00 N	EU
Lone Pine	118 04 W	36 36 N	NA

14.Fortsetzung Referat: Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

ORT	LÄNGE	BREITE	CODE
Los Angeles	118 15 W	34 02 N	NA
Louisville	85 45 W	38 15 N	NA
Luanda	13 14 E	8 49 S	AF
Lugano	8 58 E	46 01 N	EU
Lusaka	28 17 E	15 24 S	AF
Lutherville	76 37 W	39 25 N	NA
Luxembourg	6 07 E	49 36 N	EU
Luzern	8 17 E	47 2 N	EU
Lyon	4 50 E	45 44 N	EU
Macapa	51 01 W	0 01 N	SA
Maceio	35 47 W	9 34 S	SA
Mackay	149 15 E	21 10 S	AU
Mackinaw City	84 43 W	45 46 N	NA
Macon	83 36 W	32 50 N	NA
Madison	89 22 W	43 04 N	NA
Madras	80 17 E	13 05 N	A
Madrid	3 40 W	40 26 N	EU
MagPole	100 57 W	77 25 N	NA
Malaga	4 34 W	36 43 N	EU
Managua	86 07 W	12 08 N	SA
Manaus	60 03 W	3 03 S	SA
Manchester	71 22 W	42 59 N	NA
Manchester	2 15 W	53 27 N	EU
Mandalay	95 58 E	22 01 N	A
Manila	120 57 E	14 36 N	A
Maracaibo	41 37 W	10 44 N	SA
Marseille	5 22 E	43 17 N	EU
Martinsburg	77 58 W	39 28 N	NA
Mecca	39 13 E	21 27 N	A
Medellin	75 34 W	6 15 N	SA
Melbourne	144 58 E	37 49 S	AU
Memphis	90 03 W	35 09 N	NA
Menominee	87 39 W	45 07 N	NA
Merida	89 26 W	20 57 N	SA
Messina	15 30 E	38 10 N	EU
Metz	6 11 E	49 07 N	EU
Mexiko	99 08 W	19 25 N	SA
Miami	80 11 W	25 46 N	NA
Milan	9 10 E	45 27 N	EU
Milwaukee	87 55 W	43 01 N	NA
Minneapolis	93 17 W	44 57 N	NA
Minsk	27 32 E	53 54 N	A
Mogadishu	45 22 E	2 00 N	AF
Mombasa	39 39 E	4 08 S	AF
Monte Carlo	7 25 E	43 44 N	EU
Monterrey	100 19 W	25 42 N	SA
Montevideo	56 11 W	34 54 S	SA
Montgomery	86 17 W	32 21 N	NA

15.Fortsetzung Referat: Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

ORT	LÄNGE	BREITE	CODE
Montpelier	72 34 W	44 15 N	NA
Montreal	73 33 W	45 31 N	NA
Morioka	141 10 E	39 42 N	A
Morristown	74 28 W	40 52 N	NA
Moskau	37 37 E	55 45 N	A
Mt Isa	139 34 E	20 43 S	AU
Mt Rushmore	103 32 W	43 51 N	NA
Mt Vernon	73 50 W	40 54 N	NA
München	11 34 E	48 08 N	EU
Murmansk	33 04 E	68 56 N	EU
Nagasaki	129 51 E	32 47 N	A
Nairobi	36 49 E	1 16 S	AF
Nanking	118 46 E	32 04 N	A
Nantes	1 35 W	47 12 N	EU
Naples	14 16 E	40 50 N	EU
Nashua	71 22 W	42 45 N	NA
Nashville	86 46 W	36 09 N	NA
Nassau	77 20 W	25 03 N	SA
Natal	35 15 W	5 46 S	SA
Natchez	91 24 W	31 32 N	NA
Neu Delhi	77 13 E	28 35 N	A
New Haven	72 55 W	41 18 N	NA
New London	72 05 W	41 20 N	NA
New Orleans	90 04 W	29 57 N	NA
New York City	73 57 W	40 45 N	NA
Niagra Falls	79 03 W	43 05 N	NA
Nicosia	33 20 E	35 09 N	A
Nogales	110 56 W	31 20 N	NA
Nome	165 32 W	64 29 N	NA
Norfolk	76 17 W	36 50 N	NA
Nottingham	1 08 W	52 57 N	EU
Nurnberg	11 03 E	49 26 N	EU
Nuuk	51 42 W	64 15 N	NA
Ocala	82 20 W	29 04 N	NA
Odessa	30 45 E	46 27 N	A
Ogden	111 57 W	41 13 N	NA
Oklahoma City	97 30 W	34 59 N	NA
Old Faithful	110 49 W	44 27 N	NA
Omsk	72 21 E	55 00 N	A
Oran	0 32 W	35 40 N	AF
Orlando	81 22 W	28 32 N	NA
Orviedo	5 50 W	43 21 N	EU
Osaka	135 28 E	34 41 N	A
Oslo	10 43 E	59 54 N	EU
Ottawa	75 41 W	45 25 N	NA
Padua	11 52 E	45 09 N	EU
Palau	134 32 E	7 18 N	AU
Palma	2 39 E	39 34 N	EU

16.Fortsetzung Referat: Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

ORT	LÄNGE	BREITE	CODE
Palo Alto	122 07 W	37 26 N	NA
Palu	119 50 E	0 45 S	AU
Panama	79 32 W	8 56 N	SA
Papeete	149 34 W	17 32 S	AU
Paramaribo	55 10 W	5 49 N	SA
Paris	2 19 E	48 50 N	EU
Pendelton	118 23 W	44 49 N	NA
Peoria	89 35 W	40 40 N	NA
Perth	115 51 E	31 57 S	AU
Peshawar	71 34 E	34 01 N	A
Philadelphia	75 09 W	39 57 N	NA
Phnom Penh	104 52 E	11 32 N	A
Phoenix	112 04 W	33 27 N	NA
Pittsburgh	79 59 W	40 26 N	NA
Pittsford	77 31 W	43 00 N	NA
Pocatello	112 26 W	42 52 N	NA
Pompano Beach	80 07 W	26 13 N	NA
Pontianak	109 18 E	0 02 S	AU
Port of Spain	61 31 W	10 39 N	SA
Port Arthur	93 57 W	29 53 N	NA
Port Hedland	118 38 E	20 19 S	AU
Port Huron	82 56 W	42 58 N	NA
Port Moresby	147 06 E	9 22 S	AU
Port Sudan	37 12 E	18 57 N	A
Portau Prince	72 20 W	18 32 N	SA
Portland	70 16 W	43 39 N	NA
Portland	122 41 W	45 30 N	NA
Porto	8 22 W	41 08 N	EU
Porto Alegre	51 10 W	30 03 S	SA
Porto Novo	2 39 E	6 15 N	AF
Prague	14 25 E	50 05 N	EU
Praia	23 42 W	15 00 N	AF
Pretoria	28 11 E	25 44 S	AF
Prince Albert	105 45 W	53 10 N	NA
Prince Rupert	130 13 W	54 17 N	NA
Providence	71 24 W	41 49 N	NA
Prudoe Bay	148 22 W	70 18 N	NA
Pueblo	104 38 W	38 30 N	NA
Pyongyang	125 44 E	39 00 N	A
Qandahar	65 41 E	31 39 N	A
Quebec	71 12 W	46 51 N	NA
Quito	78 29 W	0 11 S	SA
Rabat	6 50 W	34 00 N	AF
Raleigh	78 35 W	35 47 N	NA
Rangoon	96 09 E	16 46 N	A
Rawson	65 06 W	43 36 S	SA
Recife	34 53 W	8 00 S	SA
RedDeer	113 47 W	52 14 N	NA

17.Fortsetzung Referat: Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

ORT	LÄNGE	BREITE	CODE
Redding	122 22 W	40 35 N	NA
Redington Beach	82 49 W	27 49 N	NA
Regina	104 37 W	50 25 N	NA
Rehoboth	75 04 W	38 43 N	NA
Reims	4 01 E	49 15 N	EU
Reno	119 48 W	39 30 N	NA
Reykjavik	21 56 W	64 08 N	EU
Richland	119 16 W	46 17 N	NA
Richmond	77 26 W	37 32 N	NA
Riga	24 06 E	56 55 N	EU
Rijeka	14 27 E	45 19 N	EU
Rio de Janeiro	43 12 W	22 54 S	SA
Riverside	117 23 W	33 57 N	NA
Riyadh	46 41 E	24 37 N	A
Roanoke	79 56 W	37 16 N	NA
Roanoke Rapids	77 39 W	36 28 N	NA
Rochester	77 35 W	43 04 N	NA
Rockhampton	150 32 E	23 24 S	AU
Rock Springs	109 12 W	41 34 N	NA
Rockford	89 03 W	42 16 N	NA
Rockville	77 09 W	39 04 N	NA
Rome	12 29 E	41 53 N	EU
Roseau	61 24 W	15 17 N	SA
Roslyn	73 38 W	40 49 N	NA
Rotterdam	4 28 E	51 34 N	EU
Rovaniem	25 46 E	66 31 N	EU
Rutland	72 58 W	43 36 N	NA
Sacramento	121 29 W	38 34 N	NA
Saga	130 18 E	33 16 N	A
Saigon	106 40 E	10 46 N	A
Saipan	145 46 E	15 11 N	AU
Salem	123 30 W	44 57 N	NA
Salisbury	75 35 W	38 22 N	NA
Salisbury	31 03 E	17 48 S	AF
Saloniki	22 57 E	40 38 N	EU
Salt Lake City	111 52 W	40 46 N	NA
Salzburg	13 03 E	47 47 N	EU
Samsun	36 19 E	41 14 N	A
San Jose	84 04 W	9 55 N	SA
San Juan	66 06 W	18 28 N	SA
San Salvador	89 11 W	13 41 N	SA
San Andros	78 00 W	24 55 N	NA
San Angelo	100 26 W	31 29 N	NA
San Antonio	98 30 W	29 25 N	NA
San Diego	117 10 W	32 42 N	NA
San Francisco	122 23 W	37 47 N	NA
San Luis Obispo	119 37 W	34 25 N	NA
San Marino	12 25 E	43 56 N	EU

18.Fortsetzung Referat: Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

ORT	LÄNGE	BREITE	CODE
Santa Cruz	122 01 W	36 58 N	NA
Santa Fe	106 56 W	35 41 N	NA
Santa Monica	118 28 W	34 00 N	NA
Santiago	70 40 W	33 26 S	SA
Santo Domingo	69 54 W	18 28 N	SA
Sao Paulo	46 37 W	23 32 S	SA
Sapporo	141 06 E	43 02 N	A
Saskatoon	106 35 W	52 08 N	NA
Sault Ste Marie	82 20 W	46 31 N	NA
Sausalito	122 26 W	37 51 N	NA
Savanah	81 05 W	32 04 N	NA
Scranton	75 40 W	41 25 N	NA
Seattle	122 15 W	47 35 N	NA
Seoul	126 58 E	37 34 N	A
Sevastapol	33 30 E	44 35 N	A
Shanghai	121 21 E	31 13 N	A
Shenyeng	123 26 E	41 47 N	A
Sheridan	106 55 W	44 47 N	NA
Shihezi	86 00 E	44 21 N	A
Shreveport	93 45 W	32 30 N	NA
Singapore	103 50 E	1 17 N	A
Sitka	135 19 W	57 03 N	NA
Sofia	23 18 E	42 41 N	EU
South Bend	86 15 W	41 40 N	NA
Southfield	83 16 W	42 28 N	NA
Split	16 28 E	43 30 N	EU
Spokane	117 13 W	47 40 N	NA
Springfield	72 34 W	42 06 N	NA
St Augustine	81 19 W	29 53 N	NA
St Gallen	9 24 E	47 25 N	EU
St Helena	14 42 W	15 57 S	AF
St John	52 43 W	47 33 N	NA
St John	66 28 W	45 23 N	NA
St Johns	61 47 W	17 57 N	SA
St Lawrence	170 30 W	63 17 N	NA
St Lo	1 06 W	49 07 N	EU
St Louis	90 11 W	38 37 N	NA
St Moritz	9 49 E	46 30 N	EU
St Paul	93 06 W	44 57 N	NA
St Petersburg	82 38 W	27 46 N	NA
St Pierre	56 12 W	46 46 N	NA
Stanley	57 52 W	51 41 S	SA
Starnberg	11 20 E	48 00 N	EU
Stockholm	18 03 E	59 19 N	EU
Stornaway	6 24 W	58 12 N	EU
Stuttgart	9 11 E	48 46 N	EU
Suffield	72 39 W	41 58 N	NA
Surabaya	112 45 E	7 11 S	A

19.Fortsetzung Referat: Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

ORT	LÄNGE	BREITE	CODE
Suva	178 25 E	18 08 S	AU
Sydney	60 12 W	46 10 N	NA
Sydney	151 12 E	33 51 S	AU
Syracuse	76 09 W	43 03 N	NA
Tabriz	46 16 E	38 05 N	A
Tacloban	125 00 E	11 13 N	A
Tacoma	122 26 W	47 19 N	NA
Taipei	121 31 E	25 04 N	A
Tallahasee	84 15 W	30 25 N	NA
Tampa	82 26 W	27 56 N	NA
Tampico	97 34 W	22 12 N	SA
Tarpon Springs	82 44 W	28 04 N	NA
Tegucigalpa	87 12 W	14 06 N	SA
Teheran	51 24 E	35 41 N	A
Tel Aviv	34 47 E	32 04 N	A
Texarkana	94 01 W	33 25 N	NA
Thimphu	89 39 E	27 34 N	A
Tientsin	117 12 E	39 05 N	A
Tijuana	117 01 W	32 31 N	NA
Timbuktu	3 01 W	16 44 N	AF
Tirana	19 50 E	41 20 N	EU
Tokyo	139 46 E	35 40 N	A
Toledo	83 33 W	41 39 N	NA
Toronto	79 24 W	43 39 N	NA
Torshavn	6 45 W	62 00 N	EU
Tottori	134 13 E	35 27 N	A
Toulouse	1 28 E	43 42 N	EU
Townsville	146 48 E	19 15 S	AU
Towson	76 35 W	39 24 N	NA
Tralee	9 41 W	52 16 N	EU
Trenton	74 46 W	40 13 N	NA
Trieste	13 51 E	45 39 N	EU
Tripoli	13 11 E	32 52 N	AF
Tromso	19 07 E	69 39 N	EU
Tunis	10 11 E	36 47 N	AF
Turin	7 41 E	45 04 N	EU
Tuscon	110 57 W	32 13 N	NA
Ukiah	123 12 W	39 08 N	NA
Ulan Bator	105 52 E	48 00 N	A
Ulan Ude	108 52 E	51 52 N	A
Utica	75 13 W	43 06 N	NA
Vaasa	21 43 E	63 05 N	EU
Vaduz	9 31 E	47 08 N	EU
Valencia	0 37 W	39 28 N	EU
Valetta	14 30 E	35 54 N	EU
Valparaiso	71 39 W	33 01 S	SA
Vancouver	123 05 W	49 15 N	NA
Venice	12 04 E	45 25 N	EU

20. Fortsetzung Referat: Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

ORT	LÄNGE	BREITE	CODE
Vera Cruz	96 07 W	19 11 N	SA
Vernon	72 28 W	41 49 N	NA
Vero Beach	80 23 W	27 37 N	NA
Victoria	123 20 W	48 25 N	NA
Victoria	55 28 E	4 37 S	AF
Vladivostok	131 58 E	43 09 N	A
Waco	97 09 W	31 32 N	NA
Warsaw	21 00 E	52 14 N	EU
Washington	77 00 W	38 53 N	NA
Waterbury	73 3 W	41 33 N	NA
Watertown	75 54 W	43 55 N	NA
Webster	77 55 W	43 07 N	NA
Wedel	9 42 E	53 34 N	EU
Wellington	174 39 E	41 18 S	AU
Wewak	143 34 E	3 39 S	AU
Wheeling	80 41 W	40 02 N	NA
Whitehorse	135 06 W	60 43 N	NA
Wichita Falls	98 31 W	33 53 N	NA
Wien	16 21 E	48 12 N	EU
Williamsport	77 00 W	41 45 N	NA
Wilmington	75 32 W	39 44 N	NA
Winchester	78 09 W	39 10 N	NA
Windhoek	17 03 E	22 30 S	AF
Winnipeg	97 04 W	49 53 N	NA
Woodbridge	77 14 W	38 40 N	NA
Worcester	71 48 W	42 16 N	NA
Wrangell	132 20 W	56 25 N	NA
Xining	101 44 E	36 33 N	A
Yakima	120 30 W	46 36 N	NA
Yakutsk	129 58 E	61 59 N	A
Yokahama	139 37 E	35 13 N	A
York	76 45 W	39 57 N	NA
Yuma	114 36 W	32 44 N	NA
Zagreb	15 58 E	45 47 N	EU
Zürich	8 32 E	47 22 N	EU

Legende: CODE :
 A .. Asien
 AF .. Afrika
 AU .. Australien, Indonesien
 EU .. Europa
 NA .. Nordamerika
 SA .. Sued- und Mittelamerika

21.Fortsetzung Referat: Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

Tabelle 2 : Verzeichnis historischer Orte

ORT	LÄNGE	BREITE	MEERESHÖHE	IDENTISCH	BEZUG
Abu Simbel	31 38 E	22 19 N	150		VA
Abydos	31 57 E	26 09 N	120		VA
Adab	45 38 E	31 48 N	50		VA
Adana	35 19 E	37 00 N	100		VA
Adrianopel	26 34 E	41 40 N	100	Edirne	G
Aegina	23 25 E	37 45 N	50	Aiyina	G
Agrigentum	13 35 E	37 19 N	500		I
Alalia	9 30 E	42 05 N	100	Aleria	I
Aleppo	37 05 E	36 14 N	500	Haleb	VA
Alexandria	29 55 E	31 13 N	50		VA
Ambrakia	21,0 E	39,1 N	100		G
Amedi	40 14 E	37 55 N	400*	Diyarbakir	VA
Amhipolis	23 52 E	40 48 N	200		G
Amphissa	22 22 E	38 32 N	200		G
Amri	68 02 E	26 09 N	100		VA
Anata	35 16 E	31 49 N	600*		VA
Ancyra	32 50 E	39 55 N	900*	Ankara	VA
Andros	24 54 E	37 49 N	150		G
Antiocha	36 10 E	36 12 N	100	Antakya,Alalah	VA
An-yang	114 20 E	36 04 N	250		AS
Apamea	30 09 E	38 05 N	1000	Dinar	VA
Aquileia	13 22 E	45 47 N	100		I
Arbela	44 01 E	36 12 N	1000	Erbil, Arbil	VA
Argos	22 43 E	37 38 N	200		G
Arpi	15,5 E	41,5 N	500		I
Arrapha	44 26 E	35 28 N	400	Kirkuk	VA
Ascalon	34 33 E	31 40 N	50		VA
Ashmunein	30 47 E	27 47 N	100		VA
Assuan	32 56 E	24 05 N	100	Aswan,Syene	VA
Assur	43 14 E	35 29 N	200	Ashur	VA
Athen	23 44 E	38 00 N	200		G
Athos	24 19 E	40 10 N	500		G
Babylon	44 25 E	32 33 N	100		VA
Bagdad	44 26 E	33 20 N	100		VA
Ban Chiang	98 59 E	19 22 N	500		AS
Barium	16 52 E	41 07 N	50	Bari	I
Bawian	44 24 E	36 31 N	1500		VA
Beneventum	14 46 E	41 08 N	200		I
Bithynium	31,5 E	40,7 N	1000*		VA
Borsippa	44 22 E	32 23 N	100		VA
Bostra	36 21 E	32 50 N	500	Busra	VA
Brundisium	17 57 E	40 37 N	100	Brindisi	I
Byzanz	28 59 E	41 02 N	150	Istanbul	VA
Caesena	12 15 E	44 09 N	100		I
Cairo	31 15 E	30 03 N	50		VA

22. Fortsetzung Referat: Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

ORT	LÄNGE	BREITE	MEERESHÖHE	IDENTISCH	BEZUG
Capua	14 13 E	41 06 N	100		I
Caralis	9 08 E	39 13 N	100	Cagliari	I
Carthago	10 16 E	36 54 N	50		AF
Cäsarea	34 54 E	32 30 N	50		VA
Catana	15 06 E	37 31 N	150	Catania	I
Chalkis	23 36 E	38 28 N	100	Khalkis	G
Changan	108 57 E	34 12 N	500	Hsian	AS
Chanhua	100 13 E	30 58 N	2200*		AS
Chäronea	22 50 E	38 30 N	100*	Khaironia	G
Chengchou	113 38 E	34 45 N	400		AS
Chios	26 07 E	38 23 N	50		G
Colössaea	29,3 E	37,8 N	1000*		VA
Comum	9 06 E	45 49 N	500	Como	I
Copan	89 10 W	14 52 N	1000		AM
Cremona	10 01 E	45 08 N	100		I
Cyrene	21 54 E	32 48 N	350	Shahhat	AF
Damascus	36 19 E	33 30 N	1000		VA
Delos	25 15 E	37 23 N	50	Dhilos	G
Delphi	22 30 E	38 29 N	300		G
Dendara	32 40 E	26 08 N	130		VA
Deogarh	78 14 E	24 32 N	1000*		AS
Der	45 58 E	33 06 N	100	Badrah	VA
Dodona	20 52 E	39 32 N	1000		G
Dorylaeum	30 30 E	39 47 N	500	Eskisehir	VA
Dura Europos	40 46 E	34 46 N	200	Qalat es Sahihiye	VA
Dur-Sharrukin	43 13 E	36 28 N	400	Khorsabad	VA
Ecbatana	48,2 E	34,8 N	1500*		VA
Edessa	38 45 E	37 08 N	1000	Urfar	VA
Elephantine	32 53 E	24 05 N	150		VA
Eleusis	23 33 E	38 02 N	100	Elevsis	G
Elis	21,4 E	37,9 N	100		G
el-Obed	46 05 E	30 58 N	100	Tel el Obid	VA
El Tajin	97 28 W	20 28 N	500		AM
Ephesus	27 19 E	37 55 N	200		VA
Epidauros	23,2 E	37,6 N	100*		G
Erech	45 40 E	31 18 N	100	Uruk	VA
Eridu	46 03 E	30 52 N	100		VA
Eschnunna	44,6 E	33,6 N	150		VA
Farfa	12 44 E	42 13 N	500	Fara in Sabina	I
Firuzabad	52 35 E	28 51 N	1500		VA
Florentia	11 15 E	43 47 N	200	Firenze	I
Gaza	34 28 E	31 30 N	100		VA
Giza	31 07 E	29 59 N	200		VA
Gordion	32 00 E	39 36 N	500	Gordium	VA
Halikarnassos	27 28 E	37 03 N	200	Bodrum	G
Hanaqin	45 22 E	34 21 N	200	Khanaqin	VA
Harran	39 01 E	36 51 N	500	Carrhae	VA

23.Fortsetzung Referat: Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

ORT	LÄNGE	BREITE	MEERESHÖHE	IDENTISCH	BEZUG
Harappa	72 56 E	30 35 N	250		AS
Hasor	35 27 E	32 57 N	50	Safad	VA
Hatra	42 42 E	35 34 N	150	Hadr,Al	VA
Hattusas	34 37 E	40 02 N	500	Bokatskale	VA
Heidelberg	8 42 E	49 25 N	500		EU
Heliopolis	31 20 E	30 06 N	50		VA
Holwan	48 07 E	32 20 N	500	Kut-e Gapu	VA
Iconium	32 30 E	37 51 N	1500	Konya	VA
Ikaria,Insel	26,2 E	37,6 N	--		G
Ilion	26 17 E	39 55 N	100	Troy	G
Illahun	30 58 E	29 14 N	50		VA
Imbros,Imroz	25 54 E	40 10 N	200	Gökce	G
Ios	25 16 E	36 44 N	200		G
Isara	35 45 E	32 37 N	250		VA
Issin	45 14 E	31 56 N	50		VA
Issus	36,1 E	37,0 N	150		VA
Ithaka	20 43 E	38 22 N	50		G
Jericho	35 28 E	31 52 N	50		VA
Jerusalem	35 14 E	31 47 N	20		VA
Kades	36,6 E	34,5 N	300		VA
Kalhu	43 19 E	36 06 N	1000	Nimrud,Larissa	VA
Kanton	113 20 E	23 08 N	100		AS
Karatepe	36 16 E	37 22 N	200		VA
Karind	46 15 E	34 16 N	1500*	Karand	VA
Karnak	32 39 E	25 44 N	150		VA
Karkemis	37 59 E	36 50 N	500	Barak	VA
Kelisin	45 05 E	37 03 N	1200	Oshnoviyeh	VA
Keos	24 19 E	37 38 N	500		G
Kerbela	44 03 E	32 37 N	100	Karbala	VA
Kerkyra	19 55 E	39 38 N	200		G
Khotan	79 57 E	37 07 N	2000*		AS
King-tscheu	112,0 E	30,3 N	200		AS
Kish	44 39 E	32 33 N	100		VA
Kisiga	46 24 E	30 47 N	50	Tall al Lahm	VA
Knossos	5 10 E	35 18 N	200		G
Kolophon	27 14 E	37 57 N	50		G
Korinth	22 55 E	37 56 N	300		G
Kos	27 19 E	36 53 N	50		G
Ktesiphon	44 36 E	33 06 N	100	Ctesiphon	VA
Kythere	22 59 E	36 10 N	100		G
Laodicea	29 02 E	37 46 N	1000		VA
Larinum	14 54 E	41 48 N	500	Larino	I
Larisa	22 25 E	39 38 N	200		G
Larsa	45 51 E	31 14 N	100		VA
Latakia	35 47 E	35 31 N	50		VA
Lemnos,Insel	25,2 E	39,9 N	--	Limnos	G
Lesbos,Insel	26,4 E	39,2 N	--	Levsos	G

24. Fortsetzung Referat: Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

ORT	LÄNGE	BREITE	MEERESHÖHE	IDENTISCH	BEZUG
Leukas	20 42 E	38 50 N	100		G
Lieu-tschou	109 15 E	24 17 N	150	Liu-Chou	AS
Lo-yang	112 26 E	34 47 N	500		AS
Malta, Insel	14,5 E	35,9 N	--		I
Magda	45 38 E	34 55 N	500	Maydan	VA
Magnesia	27 29 E	38 36 N	100	Manisa	G
Mantineia	22 23 E	37 38 N	1000		G
Mantua	10 47 E	45 10 N	100	Montofa	I
Mari	40,9 E	34,6 N	200		VA
Mathura	77 42 E	27 31 N	200		AS
Megalopolis	22 08 E	37 24 N	1000*		G
Megara	23 30 E	38 00 N	150		G
Megiddo	35 11 E	32 35 N	150		VA
Meidum	30 56 E	29 06 N	100	Madina	VA
Mekka	39 49 E	21 26 N	400		VA
Memphis	31 12 E	29 52 N	50		VA
Melos	24 25 E	36 44 N	100		G
Messana	15 33 E	38 13 N	100	Messina	I
Messene	22 00 E	37 03 N	100	Missini	G
Milet	27 18 E	37 30 N	100		G
Mitla	96 19 W	16 56 N	2000*		AM
Mohenjo Daro	68 14 E	27 17 N	200		AS
Monte Cassino	13 26 E	43 21 N	200		I
Mossul	43 08 E	36 21 N	500	Mosul	VA
Mykene	22 45 E	37 44 N	500		G
Mytilene	26 34 E	39 06 N	100	Mitilini	G
Nagadeh	32 41 E	25 52 N	100	Naqada	VA
Nanking	118 48 E	32 05 N	100		AS
Naxos	25 25 E	37 07 N	100		G
Nicaea	8 21 E	44 47 N	200	Nizza	I
Nicomedia	29 55 E	40 48 N	100	Izmit	VA
Ninive	43 08 E	36 24 N	600	Nineveh	VA
Nippur	45 11 E	32 10 N	100		VA
Nisibis	41 11 E	37 05 N	800	Nusaybin	VA
Nuzi	44 18 E	35 22 N	500		VA
Oaxaca	96 41 W	17 05 N	1500*		AM
Olympia	21 39 E	37 38 N	200		G
Opis	44 16 E	33 48 N	100		VA
Orchomenos	22 18 E	37 43 N	1000		G
Palenque	91 59 W	17 32 N	200		AM
Palmyra	38 15 E	34 36 N	1000	Tadmor	VA
Paros	25 06 E	37 04 N	50		G
Patrae	21 44 E	38 14 N	200	Patras	G
Pella	22 32 E	40 46 N	200*		G
Pelusium	32 32 E	31 02 N	50		VA
Pergamon	27 10 E	39 08 N	500	Bergama	G
Persepolis	52 52 E	29 57 N	1500		VA

25.Fortsetzung Referat: Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

ORT	LÄNGE	BREITE	MEERESHÖHE	IDENTISCH	BEZUG
Phlius	22,7 E	37,8 N	500*		G
Pisae	10 24 E	43 43 N	100	Pisa	I
Ping-Luchuang	112 06 E	39 46 N	1000		AS
Platää	23 16 E	38 12 N	500	Plataiai	G
Pueblo Viejo	93 45 W	17 24 N	500		AM
Puzrisdagan	45 17 E	32 04 N	100	Afak	VA
Qarqar	36,3 E	35,7 N	150		VA
Ragusa	18 07 E	42 40 N	50	Dubrovnik	G
Rapiqum	43,3 E	33,5 N	100	Ar Ramadi?	VA
Ravenna	12 12 E	44 25 N	100		I
Rhodos	28 16 E	36 25 N	50		G
Rom	12 30 E	41 53 N	100		I
Sais	30 47 E	31 00 N	50		VA
Sakka	35 39 E	31 13 N	500		VA
Salernum	14 46 E	40 40 N	150	Salerno	I
Samarkand	66 57 E	39 40 N	1000*		AS
Samarra	43 42 E	34 17 N	100		VA
Samos, Insel	26,9 E	37,7 N	--		G
Samosata	38 32 E	37 30 N	500	Samsat	VA
Samothrake	25 32 E	40 28 N	500		G
Sardes	28 03 E	38 28 N	300		G
Sarnath	83 02 E	25 23 N	100		AS
Seleucia	44 33 E	33 05 N	100		VA
Seleucia	33 57 E	36 22 N	100	Silifke	VA
Seriphos	24 30 E	37 09 N	500		G
Sestos	26 24 E	40 14 N	100		G
Sibaniba	43,3 E	36,5 N	500		VA
Sinope	35 09 E	42 02 N	100		VA
Sippara	44,5 E	33,0 N	100		VA
Skyros	24 34 E	38 55 N	200		G
Smyrna	27 10 E	38 25 N	100	Izmir	G
Sparta	22 25 E	37 05 N	500		G
Stagira	23,8 E	40,5 N	500*		G
Suruppak	45 34 E	31 45 N	100	Shuruppak	VA
Susa	48 20 E	32 12 N	100	Shusa	VA
Susarra	45,3 E	36,7 N	800		VA
Syene	32 55 E	24 05 N	100	Aswan	VA
Syracus	15 18 E	37 04 N	100		I
Tadmur	38 15 E	34 36 N	1000	Palmyra	VA
Tarsus	34 52 E	36 52 N	100		VA
Tarentum	17 15 E	40 28 N	50	Taranto	I
Tarvisium	13 35 E	46 31 N	1000	Tarvis	I
Tegea	22 25 E	37 28 N	500		G
Tell el-Balamun	31 34 E	31 15 N	50		VA
Tenos	25 08 E	37 33 N	100		G
Teotihuacan	98 51 W	19 42 N	2000*		AM
Terqa	40 34 E	34 57 N	200	El Ashara	VA

26.Fortsetzung Referat: Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

ORT	LÄNGE	BREITE	MEERESHÖHE	IDENTISCH	BEZUG
Thasos	24 42 E	40 46 N	100	Limin	G
Theben	32 40 E	25 41 N	150	Thebes	G
Thera	25 27 E	36 24 N	100	Thira	G
Thessalonike	22 58 E	40 38 N	150		G
Tibur	12 48 E	41 58 N	200	Tivoli	I
Tikal	89 24 W	17 13 N	200		AM
Tikrit	43 42 E	34 36 N	100		VA
Til Barsip	38 08 E	36 42 N	600	Et Tell el Ahmar	VA
Torralba	2 18 W	40 18 N	500		EU
Trapezus	39 43 E	41 00 N	100	Trabzon	VA
Troia	26 17 E	39 56 N	100	Troy	G
Tuttul	42,8 E	33,6 N	100	Hit ?	VA
Tyrus	35 12 E	33 16 N	50	Tyre	VA
Ugarit	35,8 E	35,6 N	100		VA
Ujjain	75 50 E	23 11 N	1000*		AS
Umma	45 52 E	31 38 N	50		VA
Ur	46 08 E	30 56 N	100		VA
Urfa	38 45 E	37 08 N	1000	Edessa	VA
Uruk	45 40 E	31 18 N	100	Erech	VA
Utica	10,0 E	37,0 N	50		AF
Uxmal	89 46 W	20 21 N	150		AM
Verona	11 00 E	45 26 N	100		I
Wasit	46 20 E	32 12 N	100		VA
Xanthus	29 20 E	36 22 N	150		VA
Zakynthos	20 54 E	37 47 N	100		G

Legende: Länge ... E = Ost, W = West
 Breite .. N = Nord, S = Süd
 Angaben im allgemeinen in Grad,Bogenminuten,
 in Dezimalgrad, sofern nicht genauer verfügbar oder Objekt
 ausgedehnt (z.B. Insel)

Meereshöhe ... in Meter, Unsicherheit +/- 50-100 m

* = Höhe unsicher (+/- 200-300 m)

-- = Insel, Höhe nach Standpunkt variabel

Bezug: AF = Afrika (ohne Ägypten)

AM = Amerika

AS = Asien (ohne VA)

EU = Europa (ohne G,I)

G = Griechenland, westl. Kleinasien (westl. Byzanz)

I = Italien

VA = Vorderasien, Ägypten

27.Fortsetzung Referat: Geograph. Koordinaten astronom.-phänomenol. bedeutender Orte

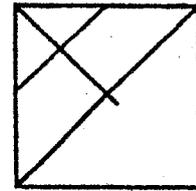
Literatur:

- [1] "The Times Atlas of the World"
John Bartholomew & Son Limited; London, GB
- [2] "The Times Index Gazetteer of the World"
Bemrose & Son Limited; Derby, GB
- [3] "Großer Historischer Weltatlas"
Bayrischer Schulbuch Verlag; München, BRD, 1978
- [4] "Der Fischer Welt Almanach 1994"
Fischer Taschenbuch Verlag GmbH; Frankfurt am Main, BRD, 1993
- [5] "Lübbes archäologischer Weltatlas"
Gustav Lübbe Verlag; Bergisch Gladbach, BRD, 1976
- [6] K.M. Jung: "Weltgeschichte in Stichworten"
Safari-Verlag; Berlin , BRD,1965
- [7] K.Bretterbauer: "Astronomische Ortsbestimmung"
Skriptum zur gleichnamigen Vorlesung; Wien, 1991
- [8] G. Seeber: "Satellite Geodesy"
Walter de Gruyter Verlag; Berlin - New-York 1993
- [9] "Coarse File of Major World Cities"
Internet; anonymous ftp: gis.queensu.ca [130.15.94.1]
cd /pub/gis/city
Kanada, 1994
- [10] "Coordinates of major US Cities", CIA World Map Database
Internet; anonymous ftp: ftp.cs.toronto.edu [128.100.1.105]
cd /doc/geography
Kanada, 1994

Dr. Robert Weber
Höchstmannweg 22
A-1220 Wien

Gastvortrag: Die Lage und Orientierung des
Wiener Neustädter Domes

Das Ergebnis der Untersuchung
durch einen Bauingenieur



"Planung oder Zufall, Wiener Neustadt 1194" ist der Titel meines Buches, das im Herbst 1994 anlässlich der 800-Jahrfeier dieser Stadt erscheinen soll.

Aus den vielfältigen Fragen, die sich aus der Sicht der Bau- und Vermessungsleute über die Anlage der Stadt ergeben, wie z.B. die Topographie, die verwendeten Maße und die Geometrie der Stadt mit ihren Plätzen, greife ich nur eine heraus, nämlich die Lage und Orientierung der Stadtpfarrkirche, des heutigen Domes. Der Dom ist romanisch und wurde bereits um 1200 errichtet. Aus dieser Zeit stammt nur mehr das romanische Langhaus (Abb.1).

WIENER NEUSTADT
Stadtpfarrkirche Mariae Himmelfahrt

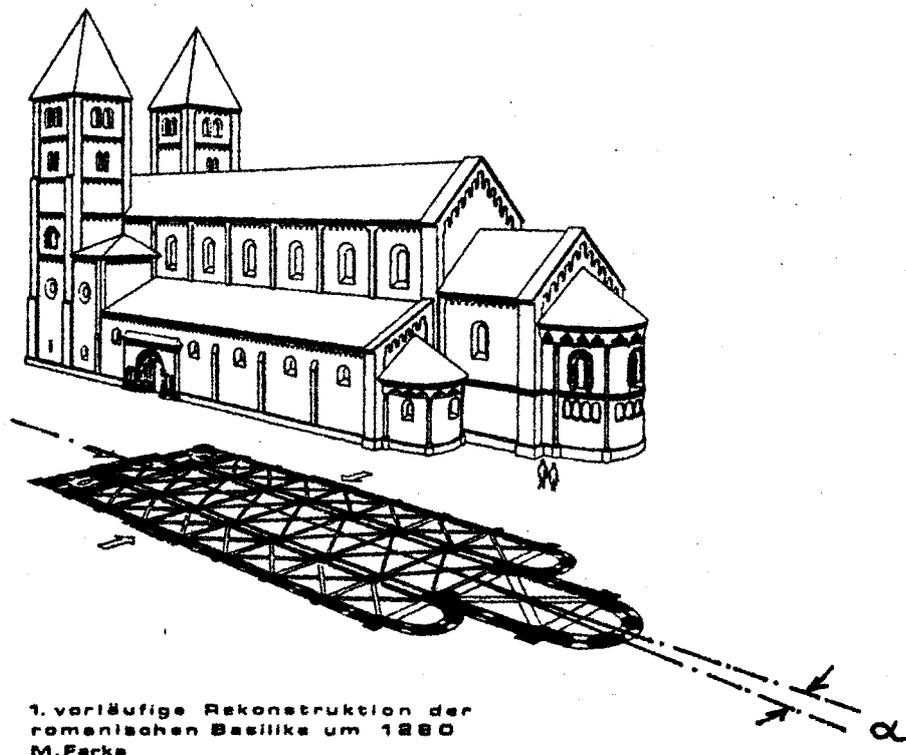


Abb.1: Der Wiener Neustädter Dom (α ... Achsknick)

Der Dom ist von SW nach NO orientiert; seine Achse verläuft dadurch fast parallel zu der Diagonale des Vierecks der Stadteinfassung. In der Vergangenheit wurden schon viele Überlegungen an-

1. Fortsetzung: Lage und Orientierung des Wiener Neustädter Domes

gestellt, um das Rätsel dieser eigenartigen Orientierung zu lösen. Ein Beispiel dazu ist die Vorstellung von F. Staub [1], der annimmt, daß die Kirche nach der Richtung des Grundwasserstromes orientiert ist. Als Begründung führt er an, daß dadurch bei den Fundierungsarbeiten das zuströmende Grundwasser an der Schmalseite der Baugrube leichter zu beherrschen war als an der Längsseite. Eine andere Eigenart des Wiener Neustädter Domes ist der sogenannte Achsknick, der beim Übergang vom romanischen Langhaus (um 1200) in den jüngeren gotischen Chor (1. Viertel 14. Jh.) beobachtet werden kann (vgl. Winkel α in Abb. 1). Auch dazu gibt es Deutungen, wie z. B. symbolischer Art durch die bauliche Umsetzung der Neigung des Hauptes Christi am Kreuz oder durch einen Baufehler bei der nachträglichen Errichtung des gotischen Chores. Auch ich habe dieses Thema aufgegriffen und nach einer Lösung gesucht. Dabei habe ich den Dom nicht isoliert betrachtet, sondern gemeinsam mit der Geometrie der Stadteinfassung. Die Grundlage meiner Arbeit sind genaue Vermessungsaufnahmen von Stadt und Dom im Gauß-Krüger-Koordinatensystem. Beim Dom wurden z. B. etwa 600 Detailpunkte aufgenommen, um den Baubestand ausreichend zu erfassen. Ein Schwerpunkt der Vermessung war auch die Aufnahme der Ecktürme der Stadt, die für die Bestimmung der Absteckpunkte der Stadteinfassung maßgebend waren. Bei der Betrachtung des Stadtgrundrisses (Abb. 2) ist mir aufgefallen, daß die nach beiden Richtungen verlängerte Achse des Domes die Nord- und Westseite der Stadteinfassung jeweils in der Mitte schneiden könnte. Der rechnerische Nachweis hat diese Annahme bestätigt. Der Abstand zwischen dem Schnittpunkt der Mittelachse des Domes mit der Stadtseite und dem dazugehörigen Halbierungspunkt beträgt im Norden 0,54m und im Westen 0,78m. Im Hinblick auf die Seitenlängen von 582,82m bzw. 689,65m eine beachtliche Leistung. Diese Abmessungen der Stadtseiten werden aber erst verständlich, wenn sie mit dem Maß angegeben werden, das bei der Anlage der Stadt verwendet wurde. Dieses Maß heißt Klafter und die Abmessungen der Stadteinfassung betragen 330 Klafter x 390 Klafter, wobei 1 Klafter/Stadt = 1,767m \pm 0,001m entspricht. Durch diese Lösung ist eindeutig bewiesen, daß die Orientierung des Domes mit der Geometrie der Stadteinfassung verknüpft ist. Die angewendete Konstruktion ist mit dem Prinzip der "Quadratur" oder "Vierung über Ort" vergleichbar. Ich nenne diese Art der Orientierung, wo keine freie Wahl möglich war, "Zwangsorientierung".

2. Fortsetzung: Lage und Orientierung des Wiener Neustädter Domes

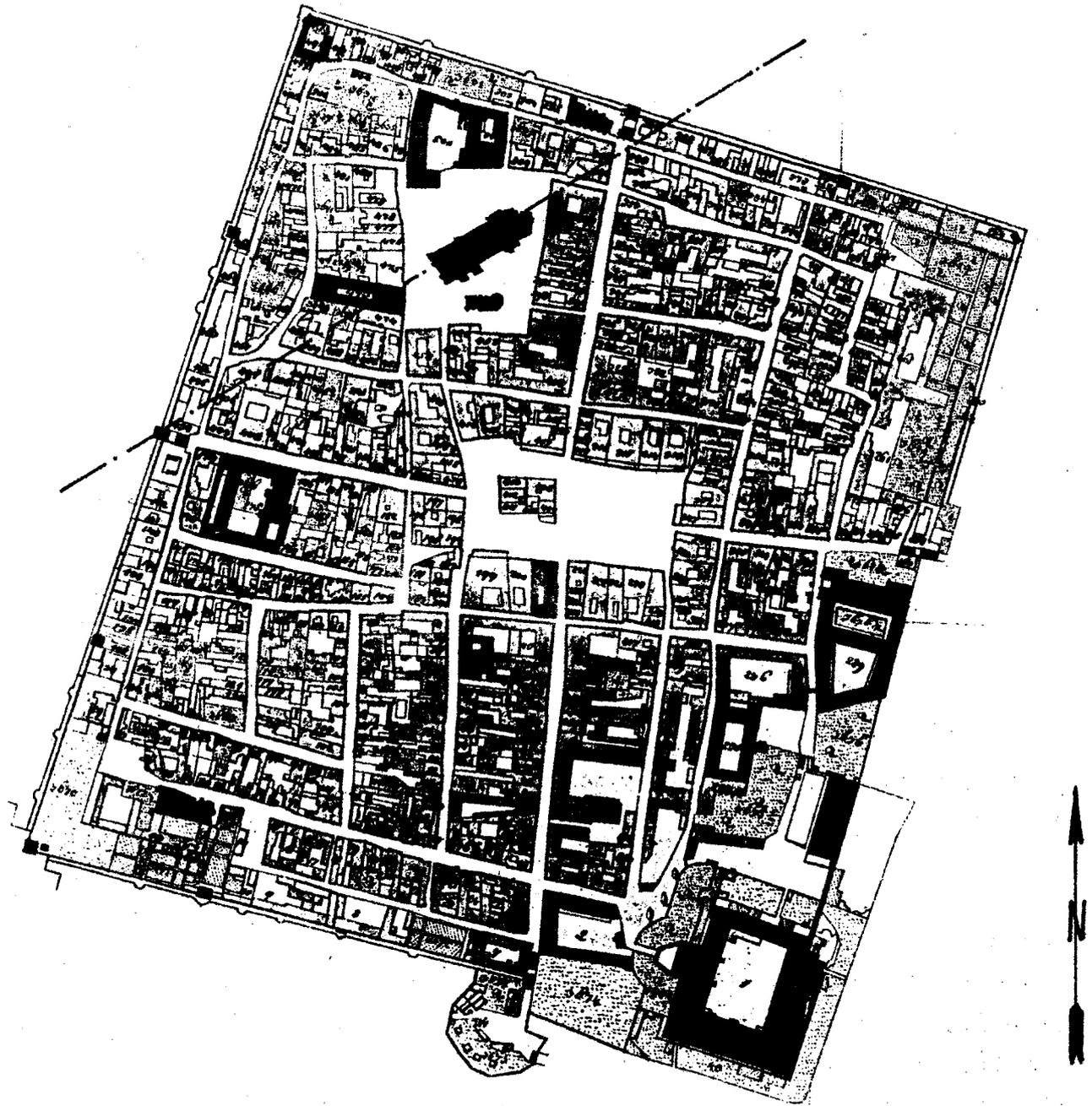


Abb.2: Der Grundriß von Wiener Neustadt um 1820

Nachdem die Richtung der Achse des Domes festgelegt ist, bedarf es noch der lagemäßigen Festlegung des Domes auf dieser Achse. Diese Festlegung erfolgte wieder geometrisch, und zwar durch den Portalpunkt "D", der als Schnittpunkt der bereits festgelegten Achse des Domes mit der Winkelhalbierenden durch die NW-Innenecke beim Reckturm bestimmt ist (Abb.3). Von diesem Punkt "D" aus wurde der Dom in östlicher Richtung abgesteckt, wobei 1 Klafter/Dom = $1,780\text{m} \pm 0,004\text{m}$ entspricht. Der im Grund- und Aufriß verwendete Modul beträgt 21 Fuß ($6,23\text{m}$). Ein Fuß ist die nächste kleinere Maßeinheit; sie beträgt $1/6$ Klafter, das sind $29,67\text{cm} \pm 0,06\text{cm}$.

3. Fortsetzung: Lage und Orientierung des Wiener Neustädter Domes

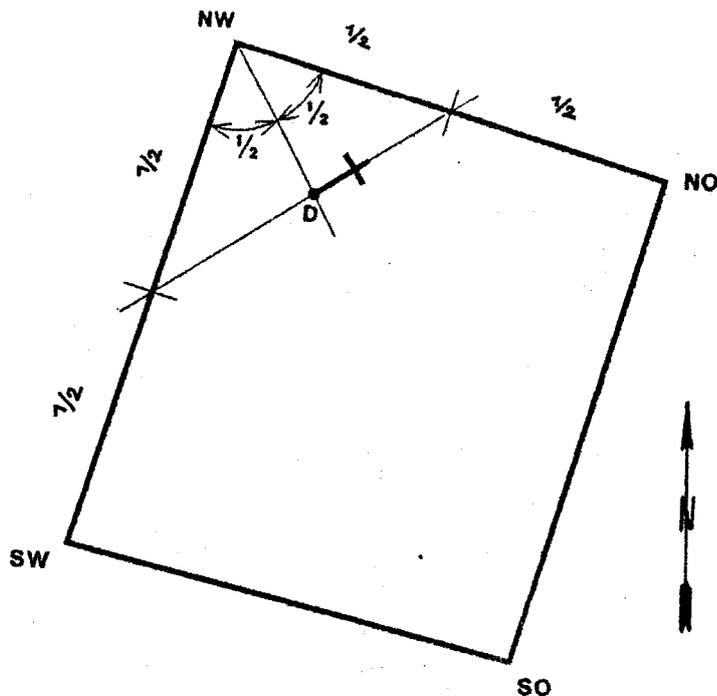


Abb.3: Lage und Orientierung des Domes in Beziehung zur Stadteinfassung

Bisher konnte noch kein Zusammenhang zwischen der Orientierung des Domes und der Astronomie aufgezeigt werden. Es verbleibt aber noch die Untersuchung des Achsknicks, den ich als "Ausbruch" aus der Zwangsorientierung deute.

Es ist allgemein bekannt, daß im Mittelalter Kirchen häufig nach dem Aufgangspunkt der Sonne am Tage des Schutzheiligen orientiert wurden. Ein bekanntes Beispiel dafür ist St. Stephan in Wien [2], dessen romanischer Kern eine

Orientierung von $125^{\circ}01'29''$ (gemessen von Nord) aufweist. Das Azimut des Sonnenaufgangspunktes am Stephanitag (26. Dezember 1137 im Julianischen Kalender) betrug $124^{\circ}41'35''$.

Der Wiener Neustädter Dom wurde von mir geometrisch genau untersucht und sein Abstecknetz gefunden. Dabei wurde festgestellt, daß der Grundriß des Domes von zwei Orientierungen durchdrungen ist. Die eine Orientierung habe ich bereits als Zwangsorientierung vorgestellt, ich nenne sie auch die "weltliche Orientierung", da sie mit der Geometrie der Stadt in Verbindung steht. Die Abweichung von der geodätischen Nordrichtung beträgt $62,2554^g$ ($56,0299^{\circ}$); ihr entspricht die Längsachse des Langhauses. Die zweite Orientierung weist einen Richtungswinkel von $64,9341^g$ ($58,4407^{\circ}$) auf, ihr entsprechen die Achsen des 1977 freigelegten romanischen Chores und auch sämtliche Querachsen des Langhauses, die senkrecht auf ihr stehen. Diese Orientierung nenne ich "kirchliche oder heilige Orientierung", da ich in ihr etwas Besonderes vermute.

Der Winkel zwischen diesen beiden Orientierungen beträgt $64,9341^g - 62,2554^g = 2,6787^g$ ($2,41^{\circ}$); es ist der Winkel α des Achsknicks (vgl. Abb.1). Durch diese Orientierung wurde der Grundriß des Langhauses zu einem Parallelogramm; die Abweichung vom Rechteck beträgt auf die Breite des Domes bezogen $1,04m$. Um diese Abmessung

4. Fortsetzung: Lage und Orientierung des Wiener Neustädter Domes

ist die Südwand gegenüber der Nordwand nach Westen verschoben. Diese schiefwinkelige Ausführung war bisher nicht bekannt.

Durch den Winkel der kirchlichen Orientierung war auch die Grundlage für die astronomische Untersuchung gegeben. Als neues Problem stellte sich aber heraus, daß ich niemanden kannte, der die Berechnung ausführen konnte. Ich kam daher auf den Gedanken der Beobachtung. Damit wählte ich dieselbe Methode, die im Mittelalter gelegentlich bei der Festlegung von Kirchenorientierungen angewendet wurde. Aber auch das war nicht so einfach, da die Beobachtung an Ort und Stelle durch die vorhandene Bebauung nicht mehr möglich war. Daher habe ich einen Beobachtungspunkt eingerechnet, der etwa 3,5 km südwestlich des Domes außerhalb der Stadt am Fuße der Böschung der Südautobahn lag. Von diesem Punkt aus wurde die Anforderung an die Sicht auf den Dom und den Horizont erfüllt. Die Beobachtung war erfolgreich. Am 22. Mai 1992 ging die Sonne in der "kirchlichen Achse" des Domes auf. Dieser Tag entspricht dem 15. Mai um 1200 im Julianischen Kalender. Jetzt war noch die Bedeutung dieses Tages zu klären. Mit Hilfe des Taschenbuches von Grotefend [3] wurde ermittelt, daß der 15. Mai kein besonderer Heiligkeitstag war. Aber bei Durchsicht der Jahre ab 1194 (Gründung der Stadt) ist aufgefallen, daß an diesem Tag im Jahre 1197, 1203, 1208 und 1287 Christi Himmelfahrt war. Nach F.K. Ginzler [4] ist Christi Himmelfahrt ein altes Fest, das seit dem 4. Jahrhundert gefeiert wird. Eine Beziehung der "kirchlichen Achse" zu diesem Tag ist daher wahrscheinlich. Durch dieses bewegliche Fest wäre auch eine Aussage über das Jahr der Grundsteinlegung verbunden, das bisher unbekannt ist. Es heißt lediglich, daß mit dem Bau der Pfarrkirche bald nach der Gründung der Stadt begonnen wurde.

Alles, was bisher im Zusammenhang mit der Suche und Erforschung des Sonnenaufganges in der "kirchlichen Achse" dargelegt wurde, beruht auf meinen Beobachtungen. Für die astronomische Kontrolle konnte ich Herrn Prof. H. Mücke gewinnen. Die Berechnung erfolgte mit dem Programm "Uraniastar".

Als Eingabewerte dienten:

* Die Daten Christi Himmelfahrt: 15. Mai 1197, 1203 und 1208.

* Die Lage und Seehöhe des Domes:

Geographische Länge $16,2440^{\circ}\text{E}$; Geographische Breite $47,8153^{\circ}\text{N}$
Seehöhe 265 m.

Das Ergebnis der astronomischen Rechnung müßte ein Azimut ergeben,

5. Fortsetzung: Lage und Orientierung des Wiener Neustädter Domes

das der astronomischen Nordrichtung der "kirchlichen Achse" entspricht. Das Azimut errechnet sich unter Berücksichtigung der Meridiankonvergenz [5] von

$$|\gamma^{cc}| = 1/30 |y_{km}| \cdot (x_{km} - 2000) + \Delta\gamma^{cc} = -0,0736^g (-0,0662^\circ) \text{ zu } 64,9341^g - 0,0736^g = 64,8605^g (58,3745^\circ).$$

Dieses Azimut von $58,4^\circ$ müßte die Kontrollrechnung geben.

Als weiterer Parameter ist der natürliche Horizont des Geländes, der Landschaftshorizont, zu berücksichtigen. Die Achse des Domes verläuft westlich des Leithagebirges in Richtung Hainburg. Der Landschaftshorizont wird durch einen niedrigen Ausläufer des Leithagebirges bestimmt und beträgt $0,1^\circ$.

Das Ergebnis der astronomischen Kontrollrechnung bestätigte eindeutig in sehr hoher Übereinstimmung mein Beobachtungsergebnis. In den Jahren 1197, 1203 und 1208 verlief das Erscheinen der Sonnenscheibe vom ersten am Landschaftshorizont sichtbaren Strahl bis zum gerade Sichtbarsein der ganzen Scheibe zwischen den Azimuten $57,8^\circ$ und $58,6^\circ$. Beim Azimut $58,4^\circ$ waren rund drei Viertel der Sonnenscheibe sichtbar.

Ein Vergleich mit dem Azimut des Sonnenaufganges an den Tagen der Schutzheiligen der Kirche zu Maria Himmelfahrt (15. August) bzw. dem Festtag des hl. Rupert (24. September) mit $71,0^\circ$ bzw. $93,7^\circ$ spricht gegen eine bauliche Umsetzung dieser Heiligtage, da der Achsknick mit $15,0^\circ$ bzw. $37,7^\circ$ architektonisch nicht mehr zu bewältigen war. Dies traf für den relativ kleinen Achsknick von $2,4^\circ$ zu Christi Himmelfahrt nicht zu. Es ging bei dieser Orientierung offensichtlich nur darum, ein bestimmtes Datum im Grundriß des Domes zu verewigen und so ein unvergängliches Zeichen in Beziehung zwischen Dom und Universum zu setzen. Ich glaube, daß ich diese Nachricht verstanden habe und setze sie mit dem Tage der Grundsteinlegung gleich. Welches der Jahre 1197, 1203 oder 1208 es war, kann die Astronomie nicht beantworten, da sich alle vier Jahre gleiche Azimute wiederholen. Nur die Geschichtsforschung kann in dieser Frage weiterhelfen. Aus dem Jahr 1207 bezieht sich eine Urkunde (Reichersberger Ausgleichsakt) auf eine "in der größeren Kirche" von Wiener Neustadt gefällte Gerichtsentscheidung. Dies kann bedeuten, daß der Dom in diesem Jahr zumindest mit dem Chorraum fertiggestellt und geweiht war. Unter Berücksichtigung dieser Tatsache halte ich das Jahr 1197 für das wahrscheinlichste Jahr der Grundsteinlegung. Auf jeden Fall steht auch die 800-Jahrfeier der Grundsteinlegung des Wiener Neustädter Domes kurz bevor.

6.Fortsetzung: Lage und Orientierung des Wiener Neustädter Domes

Literatur:

- [1] Staub, Franz: Notizen zur Baugeschichte der Liebfrauenkirche in Wiener Neustadt. Berichte und Mittheilungen des Wiener Altertumsvereins, Band XXX, Wien 1894.
- [2] Firneis, Maria G., and Köberl, Christian: Further studies on the astronomical orientation of Medieval churches in Austria. Edited by A.F.Aveni, World archaeoastronomy, Cambridge University Press.
- [3] Grotefend, H.: Taschenbuch der Zeitrechnung des deutschen Mittelalters und der Neuzeit. 10., erweiterte Auflage. Herausgegeben von Th.Ulrich, 1960.
- [4] Ginzel, F.K.: Handbuch der Mathematischen und Technischen Chronologie. Das Zeitrechnungswesen der Völker. Bd.III, J.C.Hinrichs'sche Buchhandlung, Leipzig 1914.
- [5] Dienstvorschrift Nr.8/1975. Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Wien.

Hofrat Dipl.Ing.Erwin Reidinger
Römerweg 95
A-2722 Winzendorf

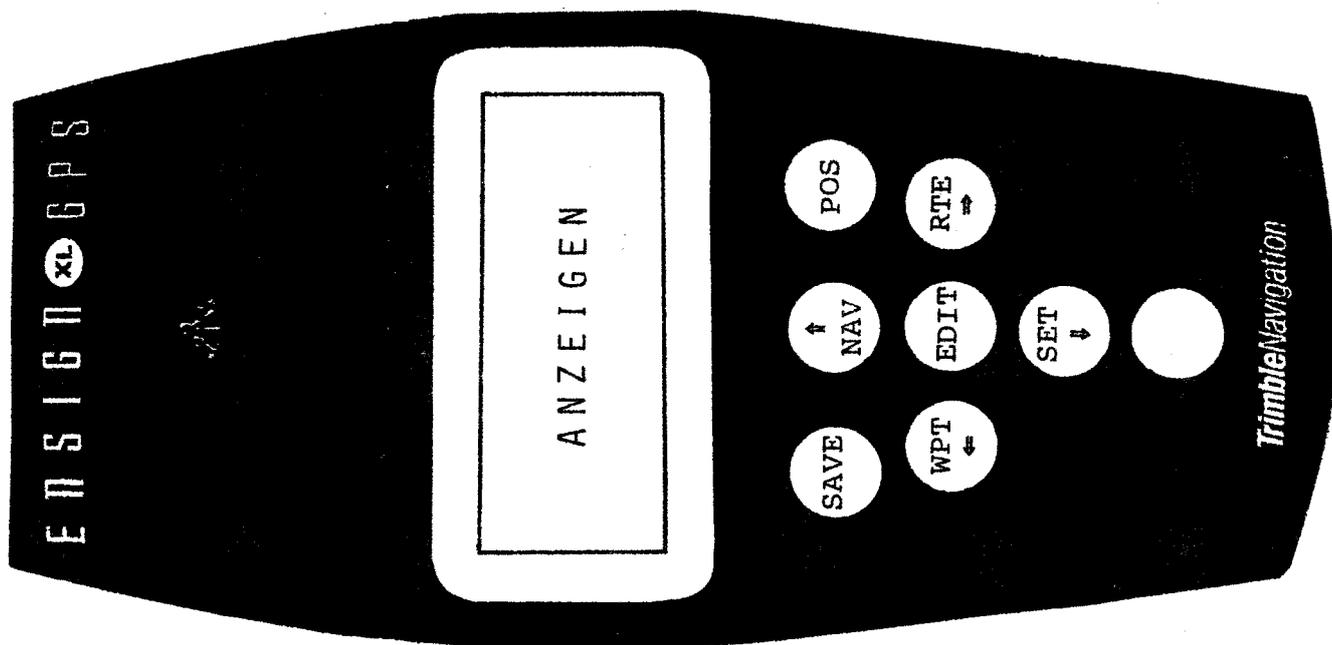
Hilfsmittel: GPS-Empfänger zur genauen geographischen Ortsbestimmung

GPS-Empfänger (Handgeräte) : Trimble Ensign und Trimble Ensign XL

- Funktionen:** Angabe von Breite, Länge und Höhe
Angabe von Geschwindigkeit und Route
100 Wegpunkte speicherbar, 9 Routen speicherbar
Anzeigen in deutsch, englisch, französisch, italienisch,
Ausgabe von Datum und Zeit
Distanzanzeiger, Rahmenmontierung, Tragetasche, etc.
- Optionen:** Externe Antenne und Montierung
Batterie-Adapter
- Größe:** 8,4cm x 17,3cm x 3,3 cm
- Gewicht:** 400 g
- Spannung:** 4 AA- Batterien, bis zu 8 Stunden Betriebsdauer
- Temperaturbereich:** 10 bis +60 Grad C
- GPS-Charakteristik:** 3-Kanal-Code - Empfänger, verfolgt bis zu 8 Satelliten
1,5 Sekunden Aufnahmezeit bei externer Stromversorgung
5 Sekunden bei Batterieversorgung
Zeit bis zur ersten Position: < 2 Minuten
Genauigkeit: Position 25 m rms.
Geschwindigkeit: 0.1 m/sec rms.
Geschwindigkeitsbereich: 0-300 m/sec

Interface (nur für Ensign XL):

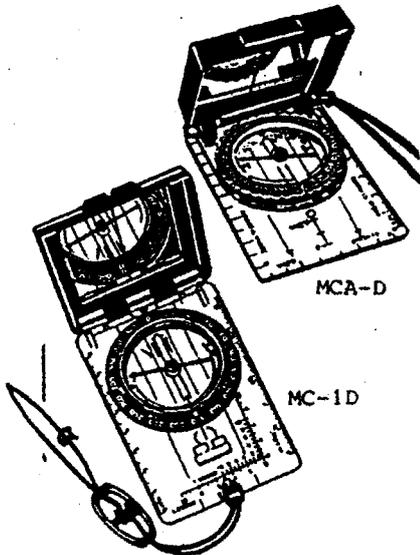
- Serial Output** RS-422; NMEA-0183
Serial Input RS-422; RTCM SC-104 (für differentielle Korrekturen)
NMEA 0183 Output
Preisangaben: Ensign: ca. S 12 000.-; Ensign XL: ca. S14 500.-
Zubehörset(optional): ca. S 3400.- (Alle Preise inkl. Mwst.)



Hilfsmittel: Winkelmessgeräte für astronomische Phänomenologie

FÜR GRADGENAUE MESSUNGEN

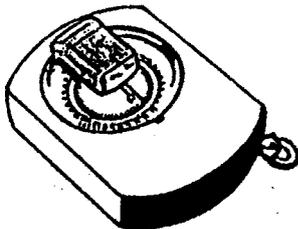
Grundplattenkompass mit Haarlinienspiegel für Ablesen und Visieren.



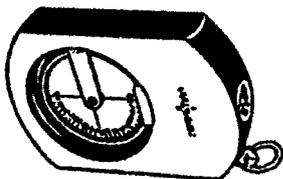
Modell MCA-D "Bergwacht", auch als Peilkompaß verwendbar, mit Deklinationskorrektur, Format 56x84x16mm. Für Azimut-Differenzen. 48.MCAD, öS 270.- exkl.MWSt.

Modell MC-1D "Alpinist", wie MCA-D, aber zusätzlich mit Klinometer für Messung von Neigungen und Höhen, mit Leuchtpunkten, Format 65x101x18mm. Für Azimut-Differenzen und Höhen. 48.MC1D, öS 490.- exkl.MWSt.

FÜR ZEHNTELGRADGENAUE MESSUNGEN

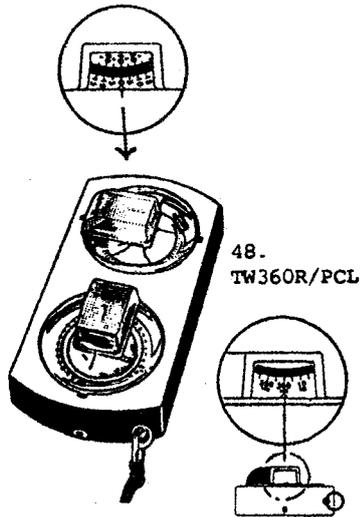


Prismatischer Taschenkompaß KB-77RL: Leichtmetallgehäuse, Saphirlagerung, Flüssigkeitsdämpfung. Optisches System erlaubt Ablesung von $\pm 3'$, Teilung $0,5^\circ$, Kotangens-tabelle. Einäugige Zielvisur, Format 52x75x16mm. Nachtleuchtend. Für Azimut-Differenzen. 48.KB77RL, öS 1 170.- exkl.MWSt.



Gefällmesser (Klinometer) PM-5/PC: Leichtmetallgehäuse, Saphirlagerung, Flüssigkeitsdämpfung. Ablesung $\pm 6'$, Teilung 1° . Für Messung von Neigungen und Höhen, aber auch zum Nivellieren, da Skala automatisch in die Nulllinie einspielt. Höhen $\pm 90^\circ$ und 0% - 150%. Einäugige Zielvisur. Format 52x75x16mm. Für Höhen. 48.PM360PC, öS 1 260.- exkl.MWSt; mit Beleuchtung 48.PM360PCB, öS 1 845.- exkl.MWSt.

1. Fortsetzung Hilfsmittel: Winkelmeßgeräte für astron. Phänomenologie



Kompaß und Gefällmesser TOPO-TWIN:

Zwei Präzisionsinstrument in einem, zur Messung von Azimut-Differenzen und Höhen auf $\pm 6'$, Teilung auf 1° .

Kompaktes Aluminiumgehäuse mit flüssigkeitsgedämpften Alu-Rosen mit Prismenablesung und einäugiger Zielvisur. Gegenläufiger 360° Kompaß, und Gefällemesser $\pm 90^\circ$ und $0\% - 150\%$.
48.TW360R/PCL, öS 2 460.- exkl.MWSt.

◀ Anzeigen bei beiden Instrumenten

Die genannten Instrumente sind allesamt Präzisionsgeräte der finnischen Firma SUUNTO, Vertretung für Österreich: Siehe unten.

FÜR MESSUNGEN HÖHERER GENAUIGKEIT

Für Zwecke der astronomischen Phänomenologie empfehlen sich besonders überprüfte, gebrauchte Universalinstrumente. Ein ständiges Angebot findet sich bei der seit 1888 bestehenden österreichischen Firma RUDOLF UND AUGUST ROST in Wien, die auch die vorgenannten Instrumente liefert:



r-a rost

A-1150 WIEN · MÄRZSTRASSE 7 · TELEX: 133731 · TEL: 0222/981 22-0 · FAX: 0222/981 22-50