

22. STERNFREUNDE - SEMINAR, 1995

Planetarium der Stadt Wien - Zeiss Planetarium

HIMMELSKUNDLICHE BEOBSACHTUNGEN
und
HIMMELSKUNDLICHES WELTBILD

Literatur - Mond - Sonne - Finsternisse - Sterne - Supernova 1993J

- 1 - 2 Titelseite; Inhaltsverzeichnis. 22 Jahre Österreichische Sternfreunde-Seminare zur himmelskundlichen Weiterbildung.
- 3 - 6 Ausgewählte Literatur zu himmelskundlichen Beobachtungen und himmelskundlichem Weltbild (Prof.Hermann Mucke, Wien).
- 7 - 30 Der Mond (Prof.Hermann Mucke, Wien).
- 31 - 47 Die Sonne. Mit Film "Sonnenprotuberanzen" von B.Lyot, Pic du Midi (Renate Weiland, Wien).
- 48 Literaturhinweise zu Sonnenuhren
- 49 - 54 Beobachtung von Sonnenflecken mit bloßem Auge (Ing.Hans Ulrich Keller, Zürich).
- 55 - 68 Astronomische Finsternisse: Sonnen- und Mondfinsternisse, Merkur- und Venusdurchgänge, Bedeckungen heller Planeten und Sterne durch den Mond mit lokalen Daten für Orte in Österreich (Prof.Hermann Mucke, Wien).
- 69 - 98 Die Sterne: Einzelsterne, Doppelsterne, Veränderliche Sterne mit periodischem Lichtwechsel. Auswahl nach Gesichtspunkten besonderen Interesses (Wolfgang Vollmann, Wien).
- 99-110 Supernova-Beobachtungen auf dem Leopold-Figl-Observatorium und auf der Purgathofer-Sternwarte. Ein Blick in himmelskundliche Forschung (Univ.-Prof.Dr.Hans Michael Maitzen und Ing.Rudolf Pressberger, Institut für Astronomie der Universität Wien).

Seminarleiter: Prof.Hermann Mucke, Planetarium der Stadt Wien und Wiener Urania Sternwarte.

Das Seminar wurde an fünf Abenden im Frühling 1995 im Planetarium der Stadt Wien als Gemeinschaftveranstaltung von diesem und dem Österreichischen Astronomischen Verein durchgeführt.

In weiten Kreisen der Öffentlichkeit sind selbst die wichtigsten Tatbestände des himmelskundlichen Weltbildes nur mangelhaft bekannt. Zwar kann vieles davon bei günstigen Sichtverhältnissen schon mit dem bloßen Auge wahrgenommen werden - aber Wetter, überwiegende Beschränkung auf die Nachtstunden sowie Behinderung durch zivilisatorische Einflüsse wie künstliches Licht, Verschmutzung der Luft oder auch einfach Sichtbehinderung durch Häuser, Bäume oder Berge bewirken, daß die "obere Hälfte" unserer Umwelt kaum Bestandteil der aus eigenem Erleben entspringenden Vorstellungswelt ist.

Es sollte daher mit allen verfügbaren Mitteln versucht werden, diese Naturtatsachen zu zeigen, sie - wo nötig - nachzubilden und zu erklären.

Mit einem Seminar dieser Art soll dazu beigetragen werden, diese Bemühungen zu fördern.

SEMINARPAPIERE

Die Dokumentationen der Seminare von 1973 bis 1995 wurden vom Österreichischen Astronomischen Verein herausgegeben und umfassen 2622 Seiten DIN A4. Ab Ausgabe 1979 einschließlich sind sie noch lieferbar. Bestellungen nimmt entgegen: Astronomisches Büro, Hasenwartgasse 32, A-1238 Wien, Tel. und Fax 0222 - 889 35 41.

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

1973	Astronomische Koordinatensysteme, 58	1985	Himmelskunde und Kleinrechner, 167
1974	Gebrauch astronomischer Jahrbücher, 81	1986	Die Meteore, 127
1975	Himmelskarten und ihr Gebrauch, 97	1987	Die Veränderlichen, 172
1976	Fernrohre und ihr Gebrauch, 115	1988	Die Galaxien, 223 (Hausrekord)
1977	Astronomische Phänomenologie, 106	1989	Planet Erde, 211
1978	Amateurastronomie, Theor./Praxis 108	1990	Die Milchstraße, 188
1979	Astronomische Finsternisse, 104	1991	Die Sonnenuhren (in Urania), 100
1980	Die Kometen, 111	1992	Moderne astronomische Phänomeno-
1981	Der Mond, 147	1993	logie, 137; dessen Fortsetzung,
1982	Die Kleinplaneten, 164	1994	Astronom. Phänomenologie, 105
1983	Die Doppelsterne, 163	1995	Himmelskundliche Beobachtungen und
1984	Die Sonne, 199		himmelskundliches Weltbild, ~140.

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: Ausgewählte Literatur zu himmelskundlichen Beobachtungen
und himmelskundlichem Weltbild

Die Darstellung der hier behandelten Sachgebiete kann durch die folgenden Werke ergänzt werden:

GESAMTDARSTELLUNGEN

A.Rükl: Sterne, Welten und Planeten. Einführung in die Astronomie mit Schwerpunkt bildlicher Darstellung. Enthält vorzügliche 6-teilige Mondkarte und 4-teilige Marskarte für Fernrohrbeobachter, 8-teiligen Himmelsatlas (Sterne bis +5^{mag}). 192 Seiten, 29x23cm, Orbis Verlag, München 1992.

J.Pfleiderer: Himmelskunde für Jedermann. Kurze und inhaltsreiche Darstellung der Himmelskunde. 160 Seiten, 15x11cm, Pinguin Verlag, Innsbruck 1983.

K.Lindner und M.Schukowski: Astronomie. Lehrbuch für die Sekundarstufe I. Himmelskunde für den Gebrauch des Lehrers. 112 Seiten, reiches Bildmaterial, 27x20cm. Dazu Lehrerband, 104 Seiten, 23x17cm sowie Arbeitsheft, 33 Seiten 26x19cm samt Lösungsheft, 33 Seiten, 21x15cm. Volk und Wissen Verlag, Berlin 1994, 1995.

H.-U.Keller: Astrowissen. Zahlen, Daten, Fakten. Zusammenfassende Übersichten, knappe Texte, erläuternde Graphiken und Abbildungen. 200 Seiten, 21x15cm, Franckh-Kosmos Verlag, Stuttgart 1994.

Lexikon der Astronomie. Die große Enzyklopädie der Weltraumforschung in 2 Bänden. Autorenring, Einführung von H.Elsässer. 912 Seiten, 28x25cm, 178 Farbbilder, rund 1600 Zeichnungen und Tabellen, 7 Beiträge: Universum, Raumfahrt, Big Bang, Interstellare Materie, Monde, Pulsare, Superhaufen. Rund 5000 Artikel, davon ca. 400 Kurzbiographien großer Astronomen. Verlag Herder, Freiburg-Basel-Wien 1989/1990.

EINZELDARSTELLUNGEN

A.Rükl: Mondatlas. Beschreibung von Erscheinung, Bewegung und Natur des Mondes. Der Hauptteil ist ein universelles Mondkartenwerk mit speziellen Beobachtungshinweisen (50 Rükl-Objekte). 228 Seiten, 30x22cm, Verlag Artia Prag / Dausien Hanau, 1990.

1. Fortsetzung Referat: Ausgewählte Literatur ...

- R. Kippenhahn: Der Stern, von dem wir leben. Den Geheimnissen der Sonne auf der Spur. Ergebnisse und Methoden moderner Sonnenforschung. 319 Seiten, 22x15cm, Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart 1990.
- H.-J. Heermann: Drehbare Kosmos-Sternkarte mit Planetenzeiger. 27cm \emptyset , Himmelsdarstellung vom Himmelsnordpol bis 41° Süddeklination. Sterne bis $+5^{\text{mag}}$ und verwandte Objekte. Für 50°N . Textheft und Blatt mit Rektaszensionen der hellen Planeten pro Jahr im 10 Tageintervall. Franckh-Kosmos Verlag, Stuttgart 1976.
- O. Hlad, F. Hovorka, P. Polechova, J. Weiselova: Die neuen Kosmos-Himmelskarten. Halbhimmelsdarstellungen Nord und Süd, jeweils vom Pol bis 31° Gegendeklination, $1^\circ \hat{=} 2,7\text{mm}$. Durchmesser einer Himmels-hälfte 64,5cm. Sterne bis $+5,25^{\text{mag}}$, verwandte Objekte bis äußerstens $+11,25^{\text{mag}}$. Sterne farbig nach Spektraltyp, 2 Blätter haltbares Spezialpapier. Textheft mit Objektverzeichnis (Sterne, ... mit Örtern $+2000,0$ und zusätzlichen Angaben), 27 Seiten, 25x22cm, Franckh-Kosmos, Stuttgart 1986.
- R. Kippenhahn: Vom Lebenslauf der Sterne. Zustandsgrößen, Sternmodelle, Kernprozesse, Entwicklung, 32 Seiten 24x17cm, Nova Acta Leopoldina, NF.Nr.260, Band 57. Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina, bei J.A. Barth, Leipzig 1984.
- W.D. Heintz: Double Stars. Visuelle, photometrische und spektroskopische Doppelsterne. 174 Seiten, 24x17cm, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht 1978.
- C. Hoffmeister, G. Richter, W. Wenzel: Veränderliche Sterne. Pulsierende und eruptive Veränderliche, Bedeckungssterne. 3., überarbeitete Auflage, 333 Seiten, 25x18cm, Verlag J.A. Barth, Leipzig 1990.
- P. Murdin: Flammendes Finale. Spektakuläre Ergebnisse der Supernovaforschung. Geschichte, Entwicklung und Beobachtung der Supernova 1987A. 273 Seiten, 24x17cm, Birkhäuser Verlag, Basel 1991.
- J. Meeus und H. Mücke: Canon der Mondfinsternisse, -2002 bis +2526. 10936 Kern- und Halbschattenfinsternisse; Lunation, Datum, Maximum ET und JD, Halbe Dauer, Größe, Maximum im Zenit, Sichtbarkeitsgebiet, Saros sowie aus Nomogramm Verlauf. Mit Erläuterung. 3. Auflage, Astronomisches Büro, Wien 1992.
- H. Mücke und J. Meeus: Canon der Sonnenfinsternisse, -2003 bis +2526. 10774 Sonnenfinsternisse; Lunation und Saros, Datum, Maximum ET und JD, Art, Dauer/Größe, Kleinstabstand Erdmitte-Zentrallinie,

2. Fortsetzung Referat: Ausgewählte Literatur ...

Bessel'sche Elemente, Bildchen des Erdglobus mit Grenzlinien und Zentrallinie. Mit Erläuterung und Anleitung zur Berechnung örtlicher Daten. 2. Auflage, Astronomisches Büro, Wien 1992.

Seminarpapiere: Autorenring behandelt jeweils ein Sachgebiet in handbuchartiger Weise einschließlich Literatur, Geschichte, Erscheinungsbild, Natur, Beobachtung. Mit Formeln und Beispielen. Mond (1981), Sonne (1984), Doppelsterne (1983), Veränderliche (1987). Österreichischer Astronomischer Verein, Auslieferung durch Astronomisches Büro, 1238 Wien.

Sternenbote: In folgenden Heften finden sich ergänzende Beiträge: Clementine, erfolgreicher Mondforschungsflug (7/1994); Die turbulente Sonnenoberfläche (6/1992), Wie konstant ist die Solarkonstante? (8/1992), Sonnenmission Ulysses (2/1995); Maß und Zahl am Sternenhimmel - Koordinatensysteme und Koordinaten (12/1994), Sternbewegungen und Sternbegleiter (6/1993), Astrometrie-Mission Hipparcos (3/1992 und 11/1993), Sternflecken (3/1993), Spätstadien der Sternentwicklung (4/1993), Sirius (7/1991), Algol (2/1992), Delta Cephei (4/1994). Astronomisches Büro, 1238 Wien.

ANLEITUNGEN

K.Lindner: Astroführer. Anleitung zur Beobachtung von Himmelercheinungen mit freiem Auge, Fernglas und Fernrohr samt Hinweisen zur Himmelsphotographie. Mit 1 Bastelbogen. 186 Seiten, 24x17cm, Urania Verlag, Leipzig 1986.

J.Herrmann: Himmelsbeobachtungen durch das Jahr. Grundwissen, Projekte für jeden Monat, Tips für Beobachtungen mit Fernglas, Fernrohr und Kamera. 128 Seiten, 21x16cm, Mosaik Verlag, München 1992.

H.Schumacher: Sonnenuhren. Eine Anleitung für Handwerk und Liebhaber. Gestaltung, Konstruktion und Ausführung. Mit Beispielen. 182 Seiten, 27x22cm, Callway Verlag, München 1973.

Sternenbote: Ergänzende Beiträge in folgenden Heften: Zeiss Schul- und Amateurfernrohr "Telementor" und "Telemator". Genaue Beschreibung, Aufstellung, Gebrauch, Objekte (10/1983 und 11/1985, in 3., aktualisierter Auflage 1994); Astrospektroskopie für Amateure (2/1979, in 2. Auflage 1995); Die Belichtung in der Astrophotographie (2/1987); Freude an astrometrischen Messungen (9/1994); Refraktion und Extinktion (6/1995). Astronomisches Büro, 1238 Wien.

3. Fortsetzung Referat: Ausgewählte Literatur ...

HIMMELSKUNDLICHE KALENDER

Österreichischer Himmelskalender: Monatsübersichten, Daten zu Sonne, Mond, Planeten, Planetenmonden, Kleinplaneten und helle Sterne, Bedeckungen, Finsternisse, Scheinbare Sternörter für Astrometrie-Praxis, Veränderliche. Anhang zur Datenübertragung für alle Orte in Österreich. 1995 im 39. Jahrgang, 126 Seiten, 21x15cm, H. Mucke, Astronomisches Büro, 1238 Wien.

Astronomische Kurzkalender 1900 bis 2000. Christlicher, Jüdischer und islamischer Kalender samt deren Festtagen / Sonnenort / JD / Mondphasen, Mondknoten / Sonnen- und Mondfinsternisse samt Sichtbarkeitsgebieten / Helle Planeten: Hauptkonstellationen, Stillstände und Zonen / Helle Kometen: Anfang und Ende Freisichtigkeit, Lauf durch die Sternbilder, Erdnähe, Sonnennähe, Größter Glanz und größte Schweiflänge / Novae / Meteorschauer / Bedeutende Meteoritenfälle. Genaue Erläuterung samt Anleitung, wie sich aus diesen "Schlüsseldaten" weitere Angaben leicht im Kopf gewinnen lassen. Mit Beispielen. 166 Seiten, 29x21cm. H. Mucke, Astronomisches Büro, Wien 1989.

HIMMELSKUNDLICHES PROGRAMMPAKET "URANIASTAR"

M. Pietschnig und W. Vollmann. Für Astronomische Phänomenologie, Fernrohr- und Bildungsarbeit. Für IBM- und IBM-kompatible Personal Computer. 8 Disketten und Handbuch, 167 Seiten 29x21cm. Professionelles, im Planetarium der Stadt Wien und auf der Wiener Urania Sternwarte mittels Datenprojektor eingesetztes System. Dort kann es auch im Anschluß an die Führungen besichtigt und erprobt werden. Die meisten Zahlen- und Formelgrundlagen sind in den Seminarpapieren 1992/1993 "Moderne Astronomische Phänomenologie" und 1994 "Astronomische Phänomenologie - Tatsachen, Probleme, Hilfsmittel" dokumentiert. Bestellungen: W. Vollmann, Gerichtsgasse 20/23, 1210 Wien oder Ing. Michael Pietschnig, Diefenbachgasse 45-47/1/9, 1150 Wien.

Weitere Literaturhinweise finden sich in den Referaten dieses Seminars und im Sternenboten 11/1994 "Kleine himmelskundliche Bibliothek". Alle Bücher, Kataloge und Karten dieses genauen Vorschlages sind in den 53 Zweigstellen der Wiener Städtischen Büchereien entlehnbar.

Prof. H. Mucke, Hasenwartgasse 32, A-1238 Wien.

Referat: Der Mond

MONDBEOBACHTUNGEN MIT FREIEM AUGE

Wir wollen den Mond am Himmel in seiner Bewegung vor dem Sternenhintergrund verfolgen und tragen dazu seinen Ort samt Lichtgestalt, Datum und Uhrzeit möglichst täglich in unsere Sternkarte ein. Auf der nächsten und übernächsten Seite finden wir sie als Kopiervorlage. Dazu brauchen wir kein Gerät, nur unser freies Auge.

Der Mond bildet jeweils mit seinen Nachbarsternen irgend eine einfache Figur, ein Dreieck oder Viereck, das wir - so gut es eben geht - in die Karte übertragen. So erhalten wir einen Mondort und weitere, die wir zu einer möglichst glatten, lückenlosen Mondbahn verbinden.

Vielleicht wird uns das gar nicht so leicht fallen, denn wir müssen auch unbequeme Nachtzeiten in Kauf nehmen und Behinderung durch Wolken möglichst zu umgehen suchen. Aber: wir haben dann den Mond nicht nur "angeschaut", sondern "beobachtet"! Wären wir besonders ausdauernde und genaue Beobachter, so könnten wir so feststellen:

- * Der Mond kehrt nach 27 - 28 Tagen zum gleichen Ort unter den Sternen zurück, so lange braucht er offensichtlich zu einem Umlauf um die Erde (Siderischer Monat).
- * Die Lichtgestalten des Mondes hängen vom Bogen Sonne-Mond ab und wiederholen sich nach 29 - 30 Tagen (Synodischer Monat).
- * Die Örter, an denen der Mond die gleiche Lichtgestalt erreicht, wandern von Umlauf zu Umlauf um rund 30 Grade in Richtung der Mondbewegung weiter. Um diesen Bogen ist die Sonne - offenbar in der Ekliptik - in gleicher Richtung weitergezogen.
- * Die Mondbahn kreuzt die Ekliptik von Süd nach Nord (Aufsteigender Knoten), erreicht einen größten Abstand von rund 5° nördlich der Ekliptik, kreuzt sie dann von Nord nach Süd (Absteigender Knoten) und erreicht schließlich einen größten Abstand von 5° südlich von ihr. Die Mondbahnebene ist offenbar um rund 5° zur Ebene der Ekliptik geneigt.
- * Die Örter der Mondbahnknoten wandern um rund 19° im Jahr dem Mond entgegen, sie sind "rückläufig" im Gegensatz zum "rechtläufigen" Mond. Die Mondbahnebene dreht sich offenbar und behält dabei ihre Neigung zur Ekliptik bei.

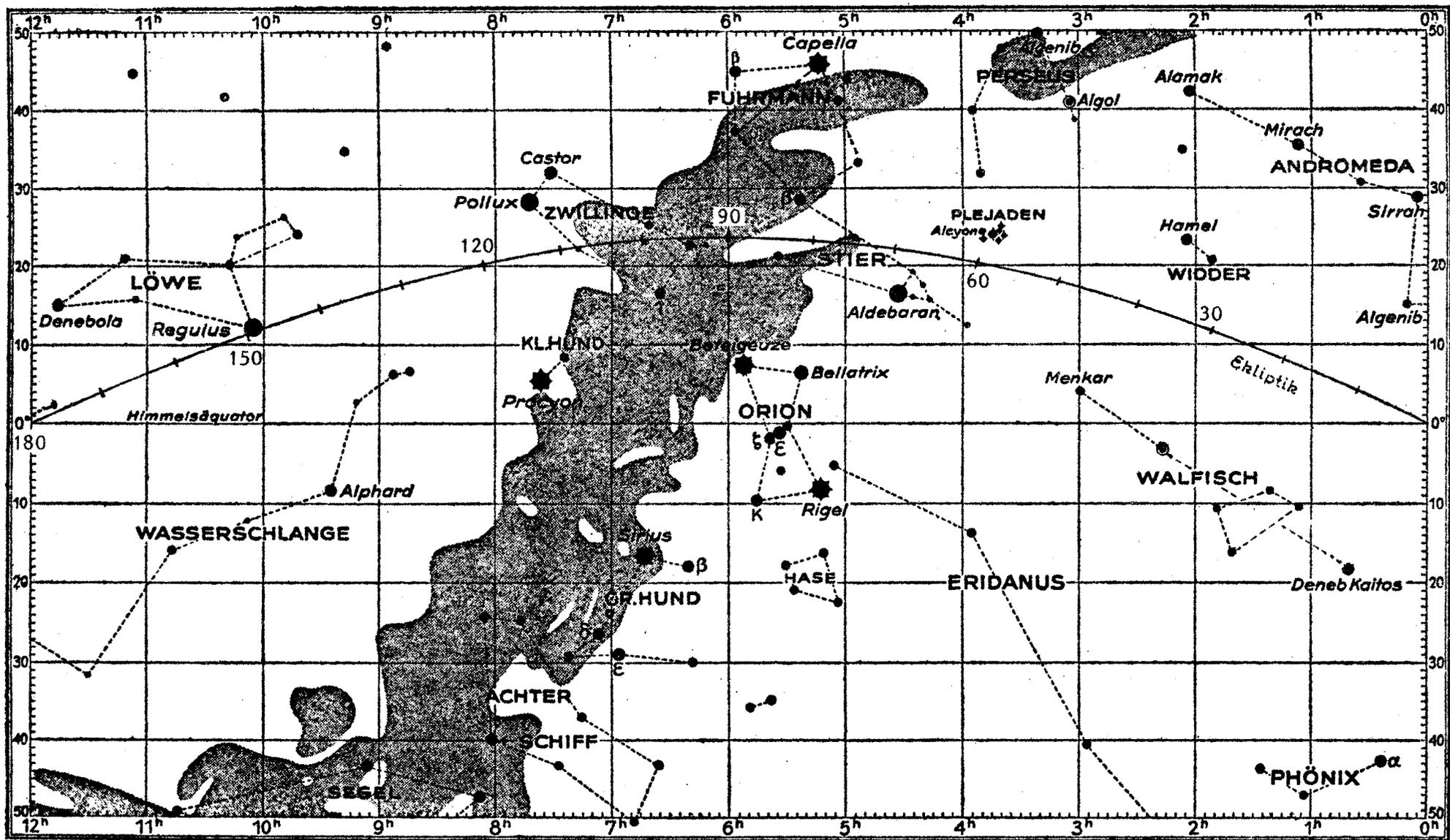


Abb.1: Himmelskarte für Rektaszensionen von 0^h bis 12^h (5min-5min) und für Deklinationen von 50°S bis 50°N (1°-1°); Eklptik mit Teilung nach ekliptikaler Länge (10°-10°). Sternörter für 1950 und Sterne bis 4.Größe. Nautisches Jahrbuch 1945, Deutsche Seewarte, Broschek & Co, Hamburg 1944.

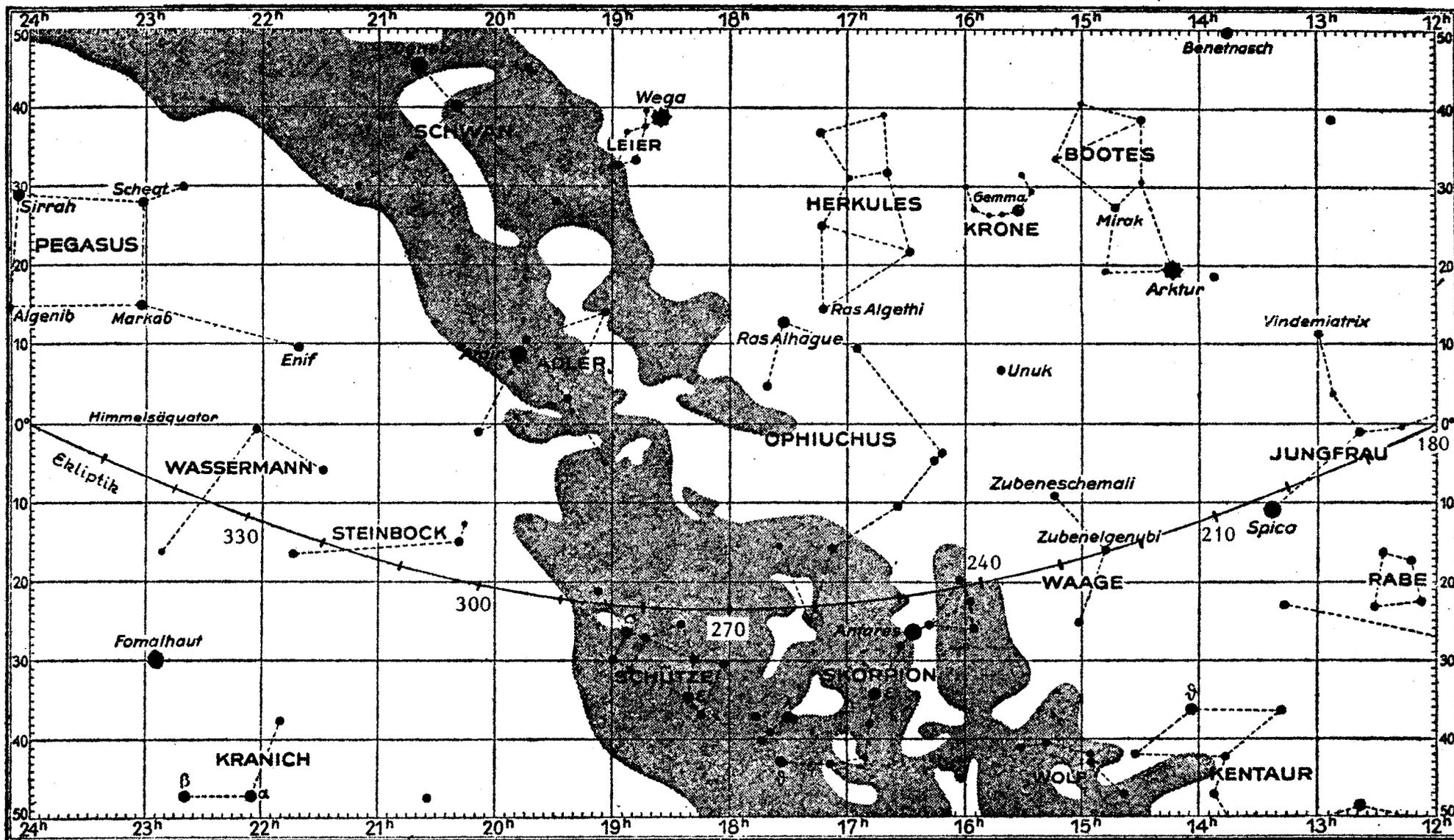


Abb.2: Himmelskarte, Fortsetzung der Abb.1 für Rektaszensionen von 12^h bis 24^h. Sternörter für 1950 und Sterne bis 4.Größe. In Verbindung mit den Astronomischen Kurzkalendern 1900-2000 macht die Präzession nur höchstens $\pm 0,7^\circ$ oder $\pm 1\text{mm}$ aus, was für unseren Zweck ganz unbedeutend ist.

3. Fortsetzung Referat: Der Mond

Aus Mesopotamien belegen keilschriftliche Dokumente schon im zweiten vorchristlichen Jahrtausend ähnliche und über Jahrhunderte durchgeführte Beobachtungen. Zunächst lieferten die Wiederkehren der gleichen Lichtgestalt oder Phase des Mondes die Grundlage für ein auf dem synodischen Monat beruhendes Kalendersystem; in ihm wechselten sich Monate mit 29 und 30 Tagen Dauer ab. Dadurch war die Erfassung der Mondbewegung und die Entdeckung von Perioden möglich. Heute unterscheiden wir folgende Perioden, die im Mittel die folgende Dauer in Tagen haben und nach deren Ablauf der Mond die gleiche Phase, den gleichen Stern, die gleiche ekliptikale Länge, den gleichen Knoten und die Erdnähe wieder erreicht:

Synodischer Monat (Phase-Phase)	29,53059 ^d	29 ^d 12 ^h 44 ^m 03 ^s
Siderischer Monat (Stern-Stern)	27,32166	27 07 43 12
Tropischer Monat (Länge-Länge)	27,32158	27 07 43 05
Drakonitischer Monat (Knoten-Knoten)	27,21222	27 05 05 36
Anomalistischer Monat (Erdnähe-Erdnähe)	27,55455	27 13 18 33

Längere Perioden: Der Saroszyklus mit 6585,3^d (nahezu 223 synodische, 241 siderische/tropische), 242 drakonitische und 239 anomalistische Monate) oder der Meton-Zyklus mit 6939,7^d (235 synodische Monate oder nahezu 19 tropische Jahre, besonders wichtig für die Verbindung von Mond- und Sonnenkalender).

Auch die periodische Veränderung der Mondgeschwindigkeit über einen Umlauf weg läßt sich freisichtig feststellen und wurde ebenfalls im alten Mesopotamien entdeckt: Die Tageswege des Mondes schwanken zwischen einem nur sehr selten überschrittenen Maximum von 16° und einem ebenso selten unterschrittenen Minimum von 12°.

Schon mit freiem Auge sind auf dem Mond dunkle und helle Gebiete zu sehen - deutlicher in der Dämmerung oder mit Sonnenbrille und auch, wenn die Pupillen durch künstliches Licht (Taschenlampe) verengt werden. Hier eine Freiaug-Mondkarte von Martin Stangl, Graz 1985:

- | | |
|-------------------------|---------------------------|
| 1 Mare Crisium | 15 Sinus Roris |
| 2 Mare Fecunditatis | 16 Montes Apennines |
| 3 Mare Frigoris | 17 Montes Caucasus |
| 4 Mare Humorum | 18 Montes Rhipaeus |
| 5 Mare Imbrium | 19 Aristarchus |
| 6 Mare Nectaris | 20 Copernicus |
| 7 Mare Nubium | 21 Deslandres |
| 8 Oceanus Procellarum | 22 Furnerius/Stevinus |
| 9 Mare Serenitatis | 23 Kepler (= Hell Q) |
| 10 Mare Tranquillitatis | 24 "Cassinis weiße Wolke" |
| 11 Mare Vaporum | 25 Heller Streifen |
| 12 Palus Putredinis | 26 Heller Streifen |
| 13 Sinus Aestuum | 27 Region um Lubienitzky |
| 14 Sinus Medii | 28 Region um Gassendi |



4. Fortsetzung Referat: Der Mond

Bald stellen wir fest, daß uns der Mond immer die gleiche Seite zuwendet und sich daher während eines Umlaufes vor dem Sternhintergrund einmal dreht. Über die Wochen weg sind auch kleine Verschiebungen der Flecken gegen den Mondrand (Libration) mit freiem Auge zu erkennen - wenn wir freisichtige Mondskizzen vergleichen.

Aus den beschriebenen Mondort-Beobachtungen mit freiem Auge ließe sich die Mondbahn als exzentrischer Kreis um die Erde, dessen Neigung zur Ekliptik (Erdbahnebene) und rückläufige Drehung seiner Ebene sowie die Mondumlaufszeit ermitteln. Das würde uns aber viel Zeit und Mühe kosten, obwohl der Mond ein "leichtes" Objekt ist.

DIE MONDBAHN

Freisichtige Meßgeräte - Visiervorrichtungen mit Teilungen zur Winkelmessung - sowie einfachste Zeitmesser lieferten die Beobachtungsgrundlagen zur Schaffung der Epizykeltheorie auch für den Mond. Aus freisichtigen Beobachtungen wurden sogar noch die Kepler'schen Gesetze am Anfang des siebzehnten Jahrhunderts gewonnen.

Auch die Mondbahn konnte nun durch eine ungleich schnell durchlaufene Ellipse mit der Erde in einem Brennpunkt dargestellt werden; ausgehend von der mittleren, gleichförmigen Kreisbewegung müssen aber zur Berechnung eines Mondortes am Himmel noch "Ungleichungen" hinzugenommen werden. Vor allem sind das:

- * Mittelpunktsgleichung, bis $\pm 6^{\circ}17'$ in einem anomalistischen Monat - die Korrektur der Kreis- auf die reine Keplerbewegung.
- * Evektion, bis $\pm 1^{\circ}16'$ in 32 Tagen.
- * Variation, bis $\pm 0^{\circ}40'$ in einem halben synodischen Monat.
- * Jährliche Gleichung, bis $\pm 0^{\circ}11'$ in einem anomalistischen Jahr.
- * Parallaktische Ungleichheit, bis $\pm 0^{\circ}02'$ im synodischen Monat.

Die klassische Himmelsmechanik, begründet durch die Gravitationstheorie Newtons, stellte am Ende des siebzehnten Jahrhunderts die Bewegung der Himmelskörper durch das Wirken von Kräften zwischen ihnen dar. Dank der durch die Verwendung des Fernrohrs als Meßinstrument gesteigerten Beobachtungsgenauigkeit wurden viele weitere "Störungen" bekannt und wurden in der Bewegungstheorie berücksichtigt. Besonders wird die Mondbewegung durch die Sonne, durch die Planeten - überwiegend durch Venus und Jupiter - sowie durch die Abweichung der Erde von der Kugelstalt beeinflusst.

Besonders genau konnte der Mondort und die Lage des Mondkörpers seit 1971 durch Lasermessungen bestimmt werden, die mit den drei von Apollo 11, 14 und 15 auf den Mond gebrachten Laserspiegeln

5. Fortsetzung Referat: Der Mond

ausgeführt wurden. Diese auf wenige Dezimeter genauen Mondörter wurden zusammen mit optisch, durch Radar und von Raumsonden gewonnenen Daten dazu verwendet, die Startwerte für eine Schritt für Schritt ausgeführte Ephemeridenrechnung für Sonne, Mond sowie Planeten zu ermitteln. Auf einer derartigen "numerischen Integration" beruht die DE200/LE200 - Gesamtephemeride des Jet Propulsion Laboratory. Zwangsläufig vergrößern sich jedoch bei jedem Schritt die Fehler ein ganz klein wenig, so daß diese Ephemeride ihre hohe Genauigkeit nur zwischen 1800 und 2050 hält.

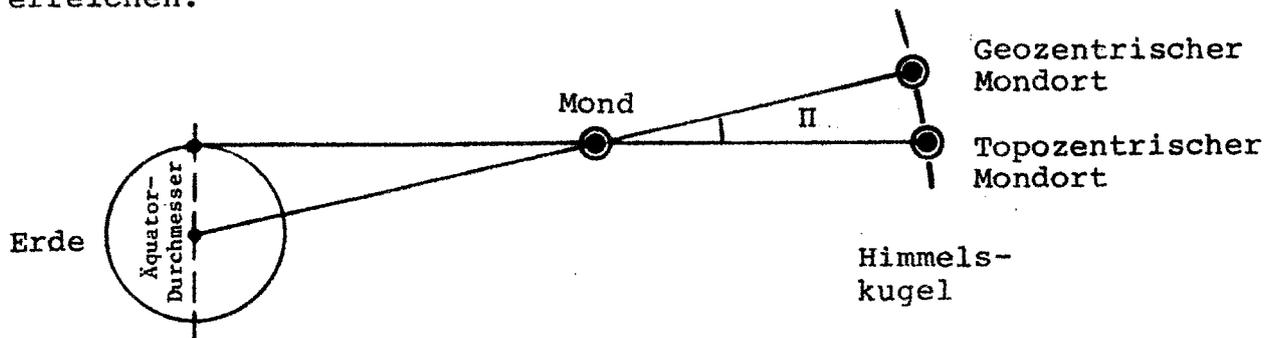
Eine analytische Anpassung an die erwähnte numerische Integration haben unter Einbeziehung auch möglichst alter, qualifizierter Beobachtungen Chapront und Chapront-Touzé ausgeführt und so "ELP" (Ephémérides Lunaires Parisiennes) erhalten. Sie berücksichtigen mit zehntausenden Termen kleinere Störungen als "ILE" (Improved Lunar Ephemeris) von Brown-Eckert-Vondrak. Beide Theorien sind für die Überbrückung längerer Zeiträume - wo die numerische Integration versagt - wichtig. Sie sind sich so nahe, daß in jener fernen Zeit die Beobachtungen nicht reichen, um gegenwärtig eine zu bevorzugen. Wenden wir uns nun einigen Daten der Mondbahn zu:

Mittlere Entfernung von der Erde, Große Bahnhalbachse a , ungestört	384 400 km = 30,13 Äquator-durchmesser der Erde
Kleine Bahnhalbachse b , ungestört	383 820 km
Lineare Exzentrizität e , Bahnmitte bis Brennpunkt, ungestört	21 104 km = 1,65 Äquator-durchmesser der Erde
Numerische Exzentrizität e/a , ungestört	0,0549
Perigäumsentfernung $a-e$, ungestört	363 296 km
Apogäumsentfernung $a+e$, ungestört	405 504 km
Bahnneigung zur Erdbahn, ungestört	$5^{\circ}08'43''$ (Störung $\pm 9'$)
Siderische Umlaufszeit, ungestört	$27,321\ 661^{\text{d}} = 27^{\text{d}}07^{\text{h}}43^{\text{m}}11,5^{\text{s}}$
Mittlere Umlaufgeschwindigkeit	3681 km/h = 1,023 km/s
Kleinste Entfernung Erdmitte-Mondmitte zwischen 1750 und 2125, 1912 01 04, gestört (J.Meeus)	356 375 km \rightarrow Größte Horizontal-Äquatorialparallaxe $1^{\circ}01'31,77''$
Größte Entfernung Erdmitte-Mondmitte zwischen 1750 und 2125, 2125 02 03, gestört (J.Meeus)	406 720 km \rightarrow Kleinste Horizontal-Äquatorialparallaxe $0^{\circ}53'54,76''$
Umlaufszeit der Knoten, ungestört	18,61 Jahre, rückläufig
Umlaufszeit des Perigäums, ungestört	8,85 Jahre, rechtläufig
Größter/Kleinster Winkeldurchmesser, geozentrisch, gestört, siehe oben	$0^{\circ}33'31,77''/0^{\circ}29'22,75''$
Größter/Kleinster Tagesweg, geozentrisch, gestört, siehe oben	$16,16^{\circ}/11,82^{\circ}$

6. Fortsetzung Referat: Der Mond

DIE MONDPARALLAXE

Zwei Beobachter an verschiedenen Orten der Erdoberfläche sehen den Mond nicht am gleichen Himmelsort - der perspektivisch bedingte Unterschied der beiden Mondörter heißt ganz allgemein Mondparallaxe. Für einen Beobachter in der Erdmitte und einen am Äquator, für den der Mond im Horizont steht, würde die "Äquatorial-Horizontalparallaxe" des Mondes Π in mittlerer Entfernung von der Erde $0^{\circ}57'02,61''$ betragen. Sie würde als "Höhenparallaxe" mit zunehmender Mondhöhe immer kleiner, um für den Mond im Zenit 0° zu erreichen.



Nur beim Mond kann die Parallaxe wegen seiner Nähe zur Erde mit freiem Auge beobachtet werden; deshalb konnte auch nur die Mondentfernung - und zwar bereits im Altertum - durch Messung der Mondparallaxe bestimmt werden.

Unsere eingangs vorgeschlagenen Mondort-Beobachtungen haben also stets topozentrische Örter ergeben. Die Mondparallaxe wäre uns nur im Vergleich mit den geozentrischen Örtern aus einem Jahrbuch - etwa nach Rektaszension und Deklination oder nach ekliptikaler Länge und Breite - merkbar geworden. Deutlich können wir sie beobachten, wenn der Mond niedrig am Himmel nahe an einem hellen Stern oder Planeten vorübergeht: Bei 45° Mondhöhe senkt die Höhenparallaxe den geozentrischen Mondort schon um etwas mehr als einen und bei 15° Mondhöhe sogar um fast zwei Monddurchmesser! Die Jahrbücher nennen uns solche geozentrische "Konjunktionen" recht oft.

Wir können die topozentrische Rektaszension α' , Deklination δ' und Halbmesser SD' aus den geozentrischen Werten α , δ , $SD = \Pi \cdot 0,2725$ mit der geographischen Breite φ und der Sternzeit ϑ des Beobachtungsortes wie folgt berechnen:

$$\varphi^* \text{ aus } \tan \varphi^* = 0,993\,305\,6 \cdot \tan \varphi; \quad N \text{ ist eine Hilfsgröße.}$$

$$N = \cos \alpha \cdot \cos \delta - \sin \Pi \cdot \cos \vartheta \cdot \cos \varphi^*.$$

$$\tan \alpha' = (\sin \alpha \cdot \cos \delta - \sin \Pi \cdot \sin \vartheta \cdot \cos \varphi^*) / N$$

$$\tan \delta' = (\cos \alpha' \cdot \sin \delta - \sin \Pi \cdot \cos \alpha' \cdot \sin \varphi^*) / N$$

$$\sin SD' = (\cos \alpha' \cdot \cos \delta' \cdot \sin SD) / N$$

7. Fortsetzung Referat: Der Mond

Beispiel:

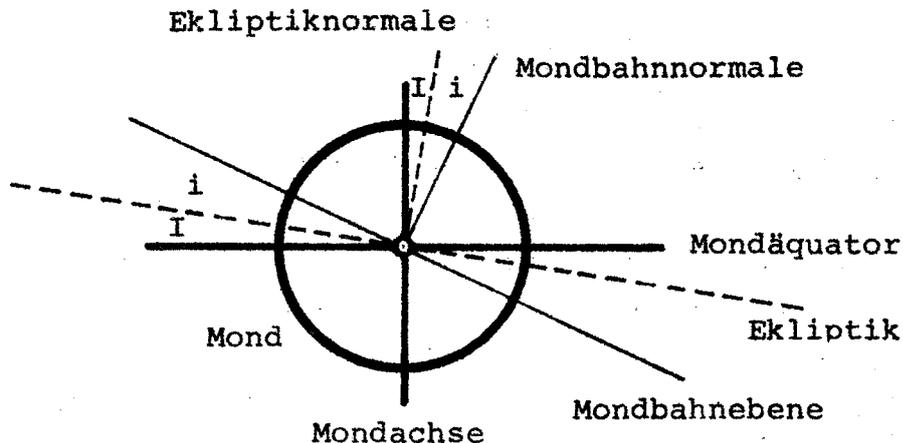
$\alpha = 11^{\text{h}}22^{\text{m}}16^{\text{s}}$; $\delta = 3^{\circ}34,4'$; $SD = 0^{\circ}15,6'$; $\Pi = 0^{\circ}57,3'$;
 $\vartheta = 9^{\text{h}}32^{\text{m}}35^{\text{s}}$; $\varphi = 38^{\circ}55,2'$; $\alpha' = 11^{\text{h}}23^{\text{m}}39^{\text{s}}$; $\delta' = 3^{\circ}01,7'$;
 $SD' = 0^{\circ}15,8'$.

Der genannte Formelsatz reicht für die Angabegenauigkeit z.B. des "Österreichischen Himmelskalenders" voll aus.

DIE ROTATION UND LIBRATION DES MONDES

Die Drehung des Mondes wurde 1693 von Giovanni Domenico Cassini (1625-1712), Direktor der Pariser Sternwarte, durch die folgenden Gesetze beschrieben; sie heißen nach ihm "Cassini'sche Gesetze":

1. Der Mond dreht sich rechtläufig mit (fast) konstanter Winkelgeschwindigkeit in einem siderischen Monat um seine Achse.
2. Die Drehachse des Mondes bildet mit der Normalen auf die Ekliptik den Winkel $I = 1^{\circ}32'01'' \pm 7''$ (Koziel, 1967)
3. Die Drehachse des Mondes, die Normale auf die Ekliptik und die Normale auf die Bahnebene des Mondes um die Erde liegen in einer Ebene. Das bedeutet, daß sich die Ebene der Mondbahn, des Mondäquators und der Erdbahn (Ekliptik) stets in ein und derselben Geraden schneiden:



Schon mit freiem Auge ist, wie wir gesehen haben, ein geringes "Schwanken" der Mondkugel zur Blickrichtung merklich. Dies wird "Libration" genannt und läßt sich zunächst in einen überwiegenden perspektivische Anteil aufspalten, die "geometrische Libration". Sie heißt so, weil sie aus der Geometrie "Drehung-Umlauf" stammt:

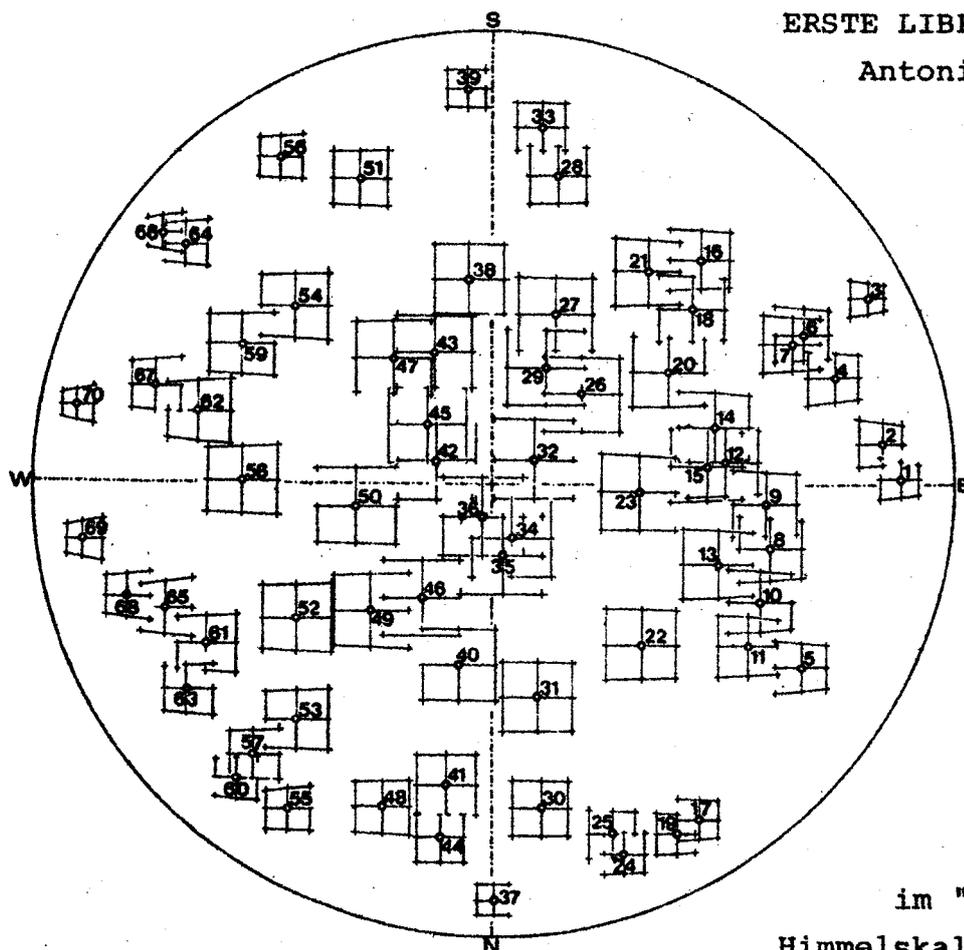
- * Libration in Länge: Ungleich schneller Umlauf und gleichförmig schnelle Drehung des Mondes können sich nicht in jedem Bahn-

8. Fortsetzung Referat: Der Mond

punkt aufheben; es überwiegt einmal die Drehungs- und dann wieder die Umlaufgeschwindigkeit. Das Ergebnis ist eine bis $\pm 7^{\circ}57'$ ausmachende Änderung der Mondkörper-Perspektive in selenozentrischer Länge über einen anomalistischen Monat hin.

- * Libration in Breite: Zufolge der Neigung der Mondäquator- zur Mondbahnebene - im Mittel $I + i = 6^{\circ}40'44''$ - können wir einmal "hinter den Nordpol" und dann "hinter den Südpol" des Mondes sehen. Die Mondkörper-Perspektive kann sich in selenozentrischer Breite bis $\pm 6^{\circ}51'$ über einen drakonitischen Monat hin ändern.
- * Parallaktische Libration: Wir betrachten den Mondkörper nicht von der Erdmitte, sondern von einem Oberflächenpunkt der Erde; demzufolge wechselt die Perspektive des Mondkörpers sowohl in selenozentrischer Länge als auch in Breite, der mittleren Äquatorial-Horizontalparallaxe entsprechend, mit der Erddrehung.

Die Cassini'schen Gesetze gelten zufolge der Störungen nur im Mittel; die außer der geometrischen Libration noch verbleibenden Librationsanteile heißen "Dynamische Libration" und machen in den selenographischen Koordinaten meist nicht mehr als $2'$, von der Erde aus gesehen gar nur $0,54''$ aus.



ERSTE LIBRATIONS-MONDKARTE,
Antonin Růkl, Prag 1978.

Die Feldecken zeigen Werte $L, B = \pm 5^{\circ}$ für die einzelnen Punkte 1 - 70, laut Seminar-papieren 1979. Höchstbeträge knapp $\pm 8^{\circ}$: Wir erhalten eine gute Vorstellung der Libration und ihrer Wirkung.

L, B sind z.B. im "österreichischen Himmelskalender" enthalten.

9. Fortsetzung Referat: Der Mond

DIE SELENOGRAPHISCHEN KOORDINATEN

Wir folgen hier einem Referat mit dem gleichen Titel, das Michael Pietschnig (Wien) für das Sternfreunde-Seminar 1981 "Der Mond" gehalten hat.

Definitionen:

Der Mondäquator ist die Ebene normal zur Mondrotationsachse, die durch die Mondmitte geht. Die selenographische Breite b wird vom Mondäquator aus in der Hälfte, die das Mare Serenitatis enthält, positiv (nördlich) gezählt. Die selenographische Länge l wird von der scheinbaren, geozentrischen Mondmitte bei $L=B=0$ (Nulllibration) in der Mondhälfte, die das Mare Crisium enthält, positiv (östlich) gezählt.- Diese sogenannte "astronautische" Definition der selenographischen Länge ist erst seit dem Beschluß der IAU 1961 offiziell; in älteren Mondkarten wurde Ost und West am Mond so festgelegt, wie man ihn von der Erde aus mit freiem Auge beobachten kann, also Westen in der Mondhälfte, die das Mare Crisium enthält und die dem irdischen Westhorizont zugekehrt ist.

Symbole:

- α Rektaszension geozentrisch
- δ Deklination geozentrisch
- Π Äquatorial-Horizontalparallaxe, geozentrisch
- Π' Höhenparallaxe, topozen-trisch
- φ Geographische Breite des Beobachtungsortes
- φ^* Geozentrische Breite des Beobachtungsortes
- Θ Sternzeit am Beobachtungsort
- L Libration in Länge, geozentrisch
- B Libartion in Breite, geozentrisch
- P Positionswinkel des Mondnordpols, geozentrisch
- L', B', P' topozen-trische Werte von L, B, P
- SD' Winkelhalbmesser des Mondes, topozen-trisch
- r Abstand Mondmitte-Erdmitte in Einheiten des Erdhalbmessers
- r' Abstand Mondmitte-Beobachtungsort in Einheiten wie bei r
- γ Geozentrische Zenitdistanz des Mondes
- l Selenozentrische Länge
- b Selenozentrische Breite
- $f, f', Q, q, q', U, U', u, u'$ Hilfsgrößen
- x Gemessene Rektaszensionsdifferenz Formation-Mondscheibenmitte, in Einheiten des Mondhalbmesser, positiv zum Mare Crisium
- y Gemessene Deklinationsdifferenz Formation-Mondscheibenmitte, in Einheiten des Mondhalbmesser, positiv zum Mare Serenitatis.

10. Fortsetzung Referat: Der Mond

Berechnung der topozentrischen Libration:

$$\varphi^* = \arctan (0,993\ 305\ 6 \cdot \tan \varphi)$$

$$\gamma = \arccos (\sin \varphi' \cdot \sin \delta + \cos \varphi' \cdot \cos \delta \cdot \cos (\vartheta - \alpha))$$

$$Q = \arcsin (\cos \varphi' \cdot \sin (\vartheta - \alpha) / \sin \gamma)$$

$$\Pi' = \Pi \cdot (\sin \gamma + 0,008\ 4 \cdot \sin 2 \gamma)$$

$$B' = B + \Pi' \cdot \cos (Q - P)$$

$$L' = L - \Pi' \cdot \sin (Q - P) / \cos B$$

$$P' = P + (L' - L) \cdot \sin B' - \Pi' \cdot \sin Q \cdot \tan \delta$$

Beispiel dazu:

1981 04 09, 18^h00^m UT, Wiener Urania Sternwarte, 1^h05^m33^sE / 48°13'N.

$$\alpha = 5^{\text{h}}51,1^{\text{m}} \quad B = +4,2^\circ \quad Q = +37,82^\circ \quad L' = +5,7^\circ$$

$$\delta = +20^\circ 10' \quad P = 0,3^\circ \quad \gamma = 40,45^\circ \quad P' = 0,1^\circ$$

$$\Pi = 0,99^\circ \quad \vartheta = 8^{\text{h}}17,1^{\text{m}} \quad \Pi' = 0,65^\circ$$

$$L = +6,1^\circ \quad \varphi' = +48,02^\circ \quad B' = +4,7^\circ$$

Absolute Messung von selenographischen Koordinaten:

Die Messung der selenographischen Koordinaten einer Formation kann entweder visuell am Fernrohr mit einem Mikrometer oder durch Ausmessung photographischer Aufnahmen erfolgen - eine ernsthafte und interessante Beobachtungs- und Rechenaufgabe für Amateure!

In beiden Fällen muß zunächst die Orientierung des x, y ($= \alpha, \delta$) - Koordinatensystems gewonnen werden. Dies kann mittels der täglichen Bewegung äquatornaher Sterne geschehen: Visuell richtet man den einen Mikrometerfaden nach der täglichen Bewegung eines solchen Sternes aus, photographisch macht man eine Zweitbelichtung von Strichspuren solcher Sterne auf die Mondaufnahme.

Auf eine solche Zweitbelichtung kann verzichtet werden, wenn man die x, y -Werte von Mondformationen mit bekannten selenographischen Koordinaten berechnet und diese dazu verwendet, das Koordinatensystem in die Mondaufnahme einzumessen. Die l, b liefern Kataloge oder gute Mondkarten; der vorzügliche "Monatlas" von A. Rühl, Artia Prag / Dausien Hanau (1990) nennt sie sogar in der Kartenbeschreibung. Die Rechnung zur Einmessung verläuft folgendermaßen:

$$r = 1 / \sin \Pi$$

$$r' = (r - \cos \gamma) / \cos \Pi'$$

$$SD' = \arcsin (0,272\ 5 / r')$$

$$q = - B' + \arctan (\tan b / \cos (l - L'))$$

$$U = - P' + \arctan (\tan (l - L') \cdot \cos (q + B') / \sin q)$$

$$u = \arctan (\tan q / \cos (P' + U))$$

$$f = \sin (u + SD' \cdot \sin u)$$

11. Fortsetzung Referat: Der Mond

$$\begin{aligned} x &= f \cdot \sin U \\ y &= f \cdot \cos U \end{aligned} \quad) \text{ Damit können die Koordinatenachsen gewonnen werden.}$$

Nach Festlegung der Koordinatenachsen nach einer der oben beschriebenen Methoden können nun die x, y -Werte für die zu bestimmenden Formationen gemessen werden und mit den folgenden Formeln in l, b umgesetzt werden:

$$U' = \arctan (x / y)$$

$$|f| = \sqrt{x^2 + y^2} ; f \text{ ist positiv, wenn } y \cdot \cos U' \text{ positiv oder Null ist; } f \text{ ist negativ, wenn } y \cdot U' \text{ negativ ist.}$$

$$u' = -f \cdot SD' + \arcsin (f)$$

$$q' = \arctan (\tan u' \cdot \cos (P' + U'))$$

$$l = L' + \arctan (\tan (P' + U') \cdot \sin q' / \cos (q' + B'))$$

$$b = \arctan (\cos (l - L') \cdot \tan (q' + B'))$$

Diese Formeln geben nur dann sinnvolle Resultate, wenn die betreffende Formation auf der Mondkugel nicht weiter als 80° von der Mitte der Mondscheibe absteht.

Beispiel dazu:

1981 05 09, 19^h25 UT, Wiener Urania Sternwarte, 1^h05^m33^sE / 48°13'N, Mondaufnahme von Franz Rotter (Wien) mit dem HA-Refraktor 15/300cm des Doppelfernrohrs, fokal, vergrößert auf Monddurchmesser 207 mm. Der Mond war im Alter von 5,6 Tagen (0,38 erleuchtet, Morgenterminator 21,1°E) und stand topozentrisch 41,3° hoch im Westsüdwesten.

$\vartheta = 11^h 40,6^m$	$B' = 0,6^\circ$	$q = -12,70^\circ$	Piccolomini:
$\alpha = 8^h 31,3^m$	$L' = 7,2^\circ$	$U = -72,70^\circ$	$x = +0,487 0$
$\delta = +18^\circ 57'$	$P' = 15,5^\circ$	$u = -22,58^\circ$	$y = -0,378 4$
$\Pi = 0,961^\circ$	$SD' = 0,265$	$f = -0,385 6$	$l = +32,0^\circ$
$\varphi^* = +48,02^\circ$	Theophilus:	$x = +0,368 1$	$b = -29,9^\circ$
$\gamma = 47,92^\circ$	$l = +26,4^\circ$	$y = -0,114 6$	Karte l / b :
$\Pi' = 0,721^\circ$	$b = -11,4^\circ$	Daraus Achsen	$+32,2^\circ / -29,7^\circ$

Weil der wichtige Punkt mit den selenographischen Koordinaten $0^\circ W$, $0^\circ N$, der selenographische Nullpunkt, nicht durch einen besonderen Krater oder eine andere deutliche Formation am Mond markiert ist, wählt man als Ausgangspunkt für Messungen eine Formation in dessen Nähe. Tobias Mayer, der Vater der Selenographie, verwendete zu diesem Zweck den Zentralberg des Kraters Manilius. Auch Bouvard und Pécuchet folgten seinem Beispiel; seit Bessel aber wird der kleine, kreisrunde Krater Mösting A, dessen Koordinaten nach Koziel (1967) $l = 5^\circ 09' 53'' W$ und $b = 3^\circ 10' 41'' S$ lauten (1987 hat sie Davies zu $l = 5^\circ 12' 39,6'' W$ und $b = 3^\circ 12' 43,2'' S$) neu bestimmt), dazu benützt.

12. Fortsetzung Referat: Der Mond

Heutzutage werden allerdings kaum noch Positionsbestimmungen nach Beobachtungen von der Erde ausgeführt. Unbemannte Sonden und die bemannten Apollo-Kapseln konnten weit umfangreicheres und genaueres Datenmaterial zur Verfügung stellen. Es wurden Mondaufnahmen im mondnahen Weltraum gemacht und photogrammetrisch ausgewertet. Die benötigten Kamera-Positionen wurden durch Radarbeobachtungen von der Erde und vom Flugkörper aus erhalten; die Aufnahmewinkel der Kameras wurden aus Sternbeobachtungen ermittelt. Mehrere auf diese Weise erhaltene Aufnahmen samt Daten gestatteten dann die Vermessung der einzelnen Felder.

DIE NATUR DES MONDES

Der Mond ist nach heutiger wissenschaftlicher Meinung zusammen mit der Erde entstanden; die ältesten Mondgesteine sind rund 4,2 Milliarden Jahre alt. Viele Einschläge in den entstehenden Mond ließen seine Außenschicht bis in mehrere hundert Kilometer Tiefe schmelzen und die schweren Anteile in die Tiefe sinken. Die allmählich erhärtende Oberflächenkruste wurde weiter von Kleinkörpern getroffen und zertrümmert, es entstand die Vielfalt der Krater. Groß-Einschläge beendeten vor rund 4 Milliarden Jahren diese Impaktperiode und dabei entstanden die großen Mare-Ebenen. 3,7 bis 3,3 Milliarden Jahre alte Basaltlaven bildeten übereinander gelagerte, oft viele Kilometer dicke Schichten. Rillen, Brüche, Dome und Meeresrücken zeugen von vulkanischer und tektonischer Aktivität, die vor rund 3 Milliarden Jahren erlosch. Seither ist auf dem Mond durch fortgesetzten Materieeinfall eine bis zu zwanzig Meter hohe, lockere Trümmerschicht, der Mondregolith, entstanden. Größere Meteorite erzeugten Krater mit Materieauswurf, die hellen Strahlenkrater - vor etwa 800 Millionen Jahren Copernicus, vor rund 100 Millionen Jahren Tycho.

Monddurchmesser	3 476 km	Mareanteil an der	
Mondäquatorumfang	10 920 km	ganzen Oberfläche;	16,9%
Mondvolumen;	7,4%; 2,0%	der erdnahen; der	31,2%
Oberfläche; Masse	1/81 d. Erde	erdfernen Halboberfl.	2,6%
Mittlere Dichte	3,34 g/cm ³	Beleuchtungsstärke	
Schwere (Oberfl.)	16,5% d. Erde	des Vollmondes auf	0,25 Lux;
Fluchtgeschwindigkeit (Oberfl.)	2,38 km/s	der Erde; der Voll-	16 Lux
Magnetfeld global	Keines	erde auf dem Mond	
Magnetfelder lokal	Viele	Temperatur Nachtseite;	-170/-185;
		Tagseite; 1m unter d.	+130°C;
		Oberfläche konstant	-35°C

Nun sei zu einer optischen Rundschau auf dem Mond eingeladen - mit der Wiedergabe eines Beitrages aus dem "Sternenboten", Heft 2/1977:

BESONDERE MONDLANDSCHAFTEN IM AMATEUR-FERNROHR

Von Johann Schreiweis, Wien.

Im Gespräch mit Sternfreunden merkt man schnell, daß die Mondbeobachtung in den letzten Jahren ins Hintertreffen geraten ist. Photos von grossen Fernrohren und Aufnahmen aus dem Weltraum lassen den Eindruck entstehen, als brächte das direkte Schauen am Fernrohr kaum mehr lohnende Eindrücke.

Dabei ist der Mond wegen seiner Lichtstärke ein kapitaless Objekt für das Amateurfernrohr. Ist es doch möglich, selbst in der Großstadt mit ihrem Licht Monddetail aufzulösen! Vielleicht sollte man über die Methode, mit der man auf dem Mond Spezielles sehen kann, einige Worte verlieren. Es ist sinnlos, mit 20 bis 50 facher Vergrößerung am Mond Besonderes sehen zu wollen. Sieht man doch damit kaum die Hyginusrille! Man muß mit der 100 fachen "hinaufgehen", um Einzelheiten sehen zu können. Ist die Luftunruhe an diesem Abend zu groß, muß man die Beobachtung verschieben. "Steht" aber die 100 fache Vergrößerung und hat man das Gefühl, man könnte auch höher gehen, dann ist es der richtige Abend für gute Mondbetrachtung! Für längere Beobachtungen - und nur solche haben Sinn - ist ein guter Filter zu empfehlen. RG 38 (Kosmos) ist hier ebenso wie für Planetenbeobachtung zu empfehlen.

Für die Vorarbeit am Schreibtisch ist eine gute Mondkarte nötig: Zunächst die Übersichtskarte von Fauth, preiswert zu haben bei der Olbers-Gesellschaft in Bremen, Werderstr.73, dann eine moderne NASA-Karte (im folgenden Text unterstrichene Namen sind neu von der IAU eingeführt und nur in solchen modernen Karten zu finden, die z.B. paarweise beim Treugesell-Verlag, Düsseldorf 14, Postfach 140165 erhältlich sind) und schließlich unbedingt eine größere Anzahl von Photos. Hier empfehle ich mit Absicht die 48 Photos, welche die Lichtbildstelle des Aströvereins (Wien 16., Rohrerg.13/24/1) anbietet. Sie sind derzeit im Wiener Planetarium ausge-

stellt. Sie sind hier mit A 1-24 (zunehmender Mond) und B 1-24 (abnehmender Mond) bezeichnet und ich erwähne sie häufig als Orientierungshilfe; denn alle Kleinkrater, Rillen und Risse, die auf diesen Photos zu sehen sind, kann man in den meisten Fällen auch mit Amateur-Fernrohren sehen. Sie sind eine wertvolle Beobachtungshilfe: Findet man nämlich das gesuchte Objekt auf den Photos, so kann man beinahe sicher sein, daß es auch das Amateur-Fernrohr bringt (Format 13x18cm, S 500.-). Vergessen Sie nicht, auf Libration und Deklination zu achten. Die Libration kann man im Himmelskalender unter "Mond", p.36,37 nachschlagen oder mit einem Feldstecher am Himmel beurteilen: Man sucht sich einige Fixpunkte, wie z.B. Mare Crisium, Grimaldi, Tycho und Plato und wird bald merken, ob sich das betreffende Objekt zur Mitte oder zum Rand des Mondes hinbewegt. Die Deklination, ebenfalls dem Himmelskalender zu entnehmen, muß für Feinbeobachtungen mindestens 10° Nord sein; es hat keinen Sinn, bei 25° Süd etwas Besonderes am Mond sehen zu wollen!

Für den Beobachtungsabend suchen Sie zwei Objekte aus, ein schwieriges und ein leichteres. Sie sollen in der Nähe oder am Terminator liegen. Nur Lavaflecken und Strahlen sind besser bei hoher Sonne (Vollmond) zu beobachten. Sehen Sie sich mehrere Photos genau an, prägen Sie sich Details, Umgebung und Lage des Objektes ein. Wappnen Sie sich mit sehr viel Geduld, Ausdauer und einem warmen Rock! Bei Rillensystemen wird man zum Dauersitzer - und dann kommt erst die schöne Stunde am Fernrohr!

Noch ein Wort über das "Spaziergehen" auf dem Mond. Es ist gut für den Anfänger, für die Orientierung, für den Überblick. Auf Dauer bringt es nichts. Das flüchtige Darüberhuschen kann keine Aufgabe lösen, braucht wohl keine Mühe, bringt aber auch keinen Erfolg und keine Freude. Bevor ich mich den Objekten zuwende, möchte ich sagen, für wen ich hier schreibe. Nicht für den Anfänger; ich setze voraus, daß die Mondtopographie im Groben bekannt ist. Ich schreibe auch

nur dann über bekannte Objekte, wenn ich Details entdecke, von denen ich annehmen kann, daß sie nicht sehr bekannt sind. Alle hier genannten Objekte habe ich selbst mit einem Schiefspiegler 11/272cm und einem Maksutov 15/240cm von Klosterneuburg bei Wien aus beobachtet. Und nun zu den Objekten. Sie sind in jener Folge behandelt, in der man sie dem Mondalter nach beobachten kann.

1.Tag

Es ist ein altes Lied, daß der 1.Tag nach Neumond in unseren Breiten für die Beobachtung wenig geeignet ist. Am 2. und 3.Tag aber steht die Sonne für die Randkrater schon wieder zu hoch, sie werden nun überstrahlt und beinahe unsichtbar. Und doch gibt es eine Möglichkeit, die beinahe einem Trick gleicht, die Randkrater am Terminator zu sehen:

Sie suchen sich einen Tag aus, an dem die Vollmondphase schon gegen die Mittagstunden herum exakt ist. Wenn Sie an diesem Abend am Fernrohr sitzen, werden Sie den Zauber des Niegesehenen erleben. Die Randkrater liegen am Terminator und sind wunderbar auszumachen. Südlich und links vom Krater Oken liegt der große Krater Lyot (der kleine Krater Lyot im Ptolemäus wurde gestrichen), nördlich dann der Abel, darunter ist in seiner ganzen Größe der Humboldt mit seinem schwarzen Lavabogen zu betrachten - ja, links von Humboldt ist der kleinere und neubenannte Barnard noch gut zu erkennen. Weiter nach Norden die Krater Hecateus, Gibbs, Ansgarius und Kästner am südlichen Rand des Mare Smythii; die runde Form dieses Mare ist bestens zu sehen, am nördlichen Ufer des Smythii der schöne Krater Neper, dann Mare Marginis und schließlich, unter anderem, erlaubt wie sonst nie der riesige Randkrater Gauß sein Inneres zu betrachten. Eine Traumlandschaft - so rar und selten wie Gold.

2. und 3.Tag

Je nach Libration zeigen sich die Großkrater Lan-

grenus, Vendelinus, Petavius (A1+A6) und Furnerius dem Betrachter. Diese Krater sind groß genug, um in unseren Amateurfernrohren einen Einblick in ihre Struktur zu ermöglichen. Der Langrenus ist ein alter Meteor-Einsturzkrater (Impactkrater); der Wall ist durch Kleinkrater verletzt, die Terrassen und Hänge teilweise zerbröckelt. Ähnlich im Aufbau scheint der Petavius zu sein, der durch seine "Brücke", die vom Zentralberg zum rechten Wallrand führt (immer ist Süden bei uns "oben") berühmt geworden ist. Bei schräger Sonne kann man aber auch eine Art Rille bemerken, die an der linken Grenze des Zentralberges entlang nach Süden führt. Beim Vendelinus, ein von Lava überschwemmter Krater, ist die östliche Umgebung interessant. Links vom Krater Vendelinus breitet sich ein großes Flachstück aus, eine wüstenähnliche Ebene, die oft direkt gespenstisch wirkt. Vom Wallrand gegen Osten wird sie von einer Hügelkette durchquert, deren nördlicher Teil, der in einer Rundung endet, neustens den Namen Balmer trägt. Der Furnerius, im Aufbau dem Vendelinus ähnlich, trägt am rechten Wallrand einen Strahlenkrater, der aber jetzt noch nicht zum Leuchten kommt. Wenn wir nun nach Norden wandern, so kommen wir am Mare Spumans, Smythii, Undarum und Marginis vorbei. Wenn wir das genannte Gebiet genau betrachten, so merken wir, daß diese Fläche aus sehr vielen einzelnen Lavaflecken besteht, die alle (wie der amerikanische Astronom D.Alter meint) bei einer heftigen Erschütterung dieses Gebietes entstanden sind. Das Mare Crisium ist ein exzellentes Beobachtungsobjekt - P.Moore schreibt darüber gute zwei Seiten -, aber wir müssen uns auf Besonderes beschränken. Das Crisium gilt als das vielleicht "tiefste" Mare (nach Neison), mit einigen hohen Erhebungen. In der Region des Prom. Agarum gibt es einen Berg von über 3000m Höhe, am rechten Ufer, südwestlich vom Krater Picard, liegen Berge von über 5000m. Am südlichen Ufer sind die dreieckigen Felsformen, getrennt durch Lavakanäle, betrachtenswert. In der Mitte des rechten Ufers liegen die Vorgebirge Prom.La-

vinium und Olivium, die sich dem Beobachter durch ihre wilde, zerklüftete Szenerie aufdrängen. Sehr schön am Nordufer der durch zwei Lavakanäle isolierte, große Bergrücken an der rechten Südspitze des Cleomedes! Die Oberfläche des Crisium wirkt dunkelgrau und soll bei Vollmond einen grünlichen Schimmer zeigen. Cleomedes, der Krater nördlich des Lavafusses, der das Crisium im Norden umrundet, liegt noch im Dunklen. Aber schon einen Tag später zeigt Cleomedes seine konvexe Oberfläche. Krater mit konvexer Bodenwölbung gibt es einige auf dem Mond, z.B. Petavius, Grimaldi. Es gibt da eine bestechende Theorie über die Ursache der Aufwölbung: Zur Zeit der Entstehung dieser Krater war der Mondboden noch weich und nachgiebig. Durch die Auftürmung der Felsmassen an den Wallrändern gab der weiche Boden nach, die Mitte aber hielt das Niveau. Am nördlichen Horn unter dem Krater Geminus wäre nordöstlich vom Großkrater Messala noch der kleine Krater Struve erwähnenswert. Er liegt am linken Rande eines kleinen, aber tiefschwarzen Lavafleckes und dieser sehr dunkle Fleck ist bei hoher Sonne immer zu sehen. In einer NASA-Karte wird dieser kleine Dunkel-fleck als "Mare Struve" bezeichnet.

4. und 5. Tag

Nun liegt an der Terminator-Südspitze der Krater Boussingault, der durch seine drei runden Terrassenringe, die immer kleiner werden und sich gegen den Boden absetzen, diesem eine einmalig schöne Form geben. Der riesige Krater Janssen zeigt eine vielfältige Struktur. Kleinkrater, Hügelreihen und vor allem aber die derbe Rille, die sich vom Fabricius nach Süden zieht und die abgesunkene, breite Straße, die sich vom Nordwall des Janssen bis zum Piccolomini erstreckt, sind eine halbe Beobachtungsstunde wert (A5+B5). Das Rheital kennt jeder; weniger bekannt sind das Quadrat (nach Alter) und das Snelliustal. Das Quadrat (A6), eine viereckige Depression, liegt zwischen den Kratern Rheita, Neander und Reichenbach. Zwei Drittel des Bodens sind mit Geröll be-

deckt, ein Drittel ist eher flach; es ist ein schöner Anblick, wenn die Sonne über die Unebenheiten wandert. Als "Vallis Snellius" (A6) in neueren Karten eingezeichnet, zieht sich das Tal vom Krater Adams bis zum Borda. Es besteht zu-meist aus einer Kraterreihe und ist mit unseren Rohren gut zu sehen, wenn man den Ort kennt. Wenig beachtet wird das Pyrenäengebirge, das aber sehr gut zu beobachten ist. Diese Verwerfung zieht sich entlang des Ostufers vom Mare Nectaris, beim Krater Gutenberg beginnend, nach Süd über den Bohnenberger hinauf. Vor dem Krater Bohnenberger teilt sich das Gebirge in zwei Äste, der höchste Berg mißt 3000m. Der Krater Gutenberg hat ein Rillensystem; die zwei Haupttrillen sind gut zu sehen (B2). Sie beginnen am Nord-wall des Goclenius, klaffen beim Gutenberg auseinander und verlieren sich im rauhen Gelände. Sie sind schwierig; man kann sie am 4. oder 18. Tag beobachten, wichtig ist nur, daß man den Terminator erwischt. Unser Fernrohr muß ganz klimatisiert sein, das Okular muß man nach einer Weile nachfokussieren und dann muß man eine Zeitlang "lauern", bis der Luftozean den scharfen Anblick freigibt. Die Gutenbergrillen haben einigen Seltenheitswert für unsere kleinen Fernrohre. Der Krater Proclus ist der zweithellste Mondkrater. Er überstrahlt das rechte Ufer des Crisium, seine Strahlen überqueren alle Hügel und reichen weit hinein ins Mare, ein Zeichen, daß der Proclus jünger ist als das Crisium. Im Westen (rechts) vom Proclus klafft eine Lücke im Strahlenkranz. Eine sehr ähnliche Lücke finden Sie auch beim Tycho und bei kleineren Kratern. Jetzt zeigt sich auch schon das "Silberne Dreieck", ein Strahlengebilde. Es zieht sich vom Proclus nach Norden zum Krater Macrobius B, von dort zum Krater Geminus und wieder zurück zum Proclus. Wer es einmal erkannt hat, sieht es immer wieder. Zwischen den Kratern Mercurius und Endymion (am Ostwall über 5000m tief) liegt ein mäßig dunkler, langgestreckter Lavastrang, der in der Mitte etwas eingeschnürt ist. Fauth fand dafür den Namen "Mare

Horologia" ("Stundenglas"); diese Bezeichnung ist auch in seiner Mondkarte zu finden, aber in modernen Karten sucht man diese Benennung vergebens. Gegen die Nordspitze des Terminators zu kommen die Krater Atlas und Hercules ins Licht. Der viel untersuchte Atlas hat auch für den Amateur eine beobachtbare Eigenheit. Am Kraterboden finden wir zwei Lavaflecken, einen im Süden, einen im Norden; der südliche ist beinahe immer zu sehen, der nördliche verschwindet oft ganz. Beide Flecke sind sehr schön zwischen dem 10. und 15. Tag zu sehen - da tritt die Kraterstruktur ganz zurück und die Flecke drängen sich direkt auf.

6. Tag

Nach und nach kommen die tiefen Krater mit den hohen Wällen, die im Süden häufig vertreten sind, ins Licht der Sonne. Ein Vorläufer ist der Krater Manzinus. Eine bedeutende Wallebene (Neison) mit steilen, hohen Wällen. Der höchste Gipfel, im Westen, erhebt sich bis 4800m. Solange die Sonne noch schräg über diesem Gebiet liegt, sollte man sich die Gegend vom Krater Vlag bis zum Maurolycus, dann hinauf nach Norden zum Piccolomini und zurück zum Vlag genauer ansehen. Eine flache Landschaft ohne große, ohne neue Krater und ohne Mareflecken. Eine Region, die durch Farbe und Licht den Beobachter gefangen nimmt. Alle Beckenmare (Crisium, Nectaris, Imbrium, Serenitatis und Humorum) zeigen an ihren Ufern von der flüssigen Lava teilweise überschwemmte Krater; das Nectaris hat den größten, den Fracastorius, der jetzt gut zu beobachten ist. Das Altai-Gebirge mit einer Länge von 500km und einer durchschnittlichen Höhe von 2000m wird in der Gegend südlich vom Krater Catharina von einer feinen Kraterkette durchbrochen. Diese Kraterreihe zieht sich bis zum Südwall des Kraters Abulfeda und erfordert Aufmerksamkeit. Cyrillus hat südlich rechts einen kleinen, aber sehr auffälligen Strahlenkrater sitzen. Theophilus macht sich bei hoher Sonne immer durch seinen strahlenden Wallrand bemerkbar.

Ich möchte nun auf drei Rillensysteme aufmerksam machen, die nicht allzusehr bekannt sind. Nochmals, lassen Sie Ihrem Fernrohr Zeit, sich der Temperatur anzugleichen! Cassegrain- und Newton-Teleskope brauchen länger dazu. Bei einem kurz-brennweitigen Newton gleich die Barlowlinse verwenden, sie erlaubt langbrennweitige Okulare, und diese wiederum bringen eine bessere Definition! Wechseln Sie die Vergrößerungen, die "Erprobte" muß für heute nicht die Beste sein! Zeigen Sie Geduld, diese feinen Risse kann man bei unseren Rohrgrößen nicht auf Anhieb sehen. Der 6. Tag ist für die Cauchy-Rillen eher zu spät, der 5. zu früh; es kommt auf die Libration an. Günstig ist auch der 18. und 19. Tag. Es sind zwei Rillen nach dem Krater Cauchy benannt, sie laufen von Ost nach West. Tatsächlich ist nur die schwierige, nördlich vom Cauchy gelegene Rinne eine Rille. Bei der südlich von Cauchy laufenden "Rille" handelt es sich um einen Abhang, eine Verwerfung. Auf B8 ist der Unterschied gut zu erkennen. Recht günstig sind am 6. Tag die Hypatia-Rillen zu beobachten. Die Hauptrillen sind für unsere Rohre erst ab Krater Moltke (der Name wurde gelöscht und ist nur in älteren Karten zu finden) zu sehen, sie ziehen sich bis zum Krater Sabine nach Westen und sind auf A2+B3 gut zu betrachten. Die Hypatia-Rillen sind nach dem Dreieckkrater südlich von Moltke benannt, dieser wieder nach einer Philosophin aus Ägypten, die 415 ermordet wurde. Knapp nördlich vom Krater Plinius ist sein Rillensystem zu erkennen, die Hauptrille (A8+B9) ist tiefer als die anderen und daher für uns sichtbar. Östlich davon liegt der langgestreckte Bergrücken Argäus, er sieht aus wie ein umgelegter Kirchturm; er kann eigenartige Schatten werfen. Links davon fünf gleich hohe, runde und separierte Hügel, der Landeplatz von Apollo 17; alles liegt in einem dunklen Lavafeld (B8). Zwischen Le Monnier und Posidonius gibt es ein Rillennest. Fallweise sieht man den einen oder den anderen Riß, am besten aber die lange Rille, die sich vom Westrand im Süden des Posidonius

bis zum Bond zieht. Der Krater Posidonius ist von Lavarissen durchzogen, strukturreich, hat einen Doppelwall ähnlich dem Petavius und einen kleinen Zentralkrater statt einen Zentralberg (B8). Am 6.Tag kann man die einmalige, dunkle Umräumung des Mare Serenitatis beobachten, die das Mare im Osten und Süden begrenzt. Besonders in der Pliniusgegend hat man den Eindruck, als könnte man vom Ufer des Tranquillitatis tief hinunter sehen auf das Serenitatis. Sicher liegt das Serenitatis tiefer als das Tranquillitatis; aber schon einige Tage später merkt man, daß die Niveaudifferenz kleiner ist als man nach dem ersten Eindruck meinen müßte. Das Serenitatis ist von mehreren Bergadern durchzogen; die längste ist aber die "Serpentin-Ridge", ein schlangentartiger Kamm (bis zu 250m hoch), der das Mare vom Süden nach Norden durchzieht. Auf A8 sieht man deutlich, daß die Unruhe im Lavafluß bereits im Tranquillitatis deutlich wird, besonders links vom Krater Arago, wo der Lavafluß richtig "strömt". Rechts und südlich von Arago finden wir zwei Dome, die sehenswert sind. Im Norden finden wir am Terminator den Krater Bürg. An seinem rechten Wall vorbei läuft vom Süden nach Norden eine ungerade Verwerfung; sie ist gegenüber von einer geraden Hügelkette begrenzt und läßt ein breites Tal erkennen. Richtig interessant, aber schwer zu sehen, ist der Riß, der am Nordwall des Bürg beginnt und Tal und Hügelkette im Westen ungehindert quert (A10).

7.Tag

Er teilt die Mondscheibe in die Hälfte. Am Terminator liegt der Krater Curtius, der einen aufragenden Nordostwall von über 7000m zeigt. Trotz der starken Verkraterungen im Süden findet der Beobachter große Landstriche ohne Großkrater, z.B. die Gegend zwischen den Kratern Nearch, Mutus, Cuvier und Lilius. Wer die vielen Krater auf dieser Südhälfte betrachtet, wird merken, daß eine erhebliche Anzahl von ihnen sehr ebene Lavaböden aufweisen. Ein schönes Beispiel dafür ist der Krater Stöffler. Zum Unterschied sollte man

sich die Krater Langrenus, Theophilus und später Tycho und Copernicus genauer ansehen. Ihre Böden (Grundflächen) sehen aus, als ob sie ein Bagger aufgerissen und ausgeschaufelt hätte, sie sind mit Schutt und Geröll gefüllt, zeigen meist einen Zentralberg und sind sehr wahrscheinlich Meteor-Einsturzkrater. Am 3.Sep.1973 hatte ich den Maurolycus exakt am Terminator. Er wirkte da tief, felsig zerklüftet; ein imposantes Gebilde - auf diesen Anblick sollte man vom 6.Tag an lauern! Die riesige Wallebene Hipparchus muß man jetzt betrachten, wenn man sie als geschlossenen Kreis sehen will, denn ihre Wälle sind so zertrümmert und auch nieder, daß schon ab dem 9.Tag der rechte Wallrand durch die hohe Sonne eingeebnet erscheint. Im Sinus Medii liegt der Krater Triesnecker mit seinem Rillensystem. Wer diese Rillen mit anderen Rillensystemen vergleicht (auf Photos) wird sehen, daß sie sehr seicht sind und wenig Schatten werfen; schwierige Objekte! Oft habe ich mich mit ihnen geplagt; es nützt auch nicht immer, daß man sie am Terminator hat. Am ehesten kommen sie bei abnehmendem Mond am 21.Tag, wenn der Terminator stimmt. Die Hyginus-Rille kann man mit dem 5cm-Rohr sehen. Vielleicht interessieren die ungefähren Maße: Krater 10,4km Durchmesser, Rillenslänge 150km, Tiefe 800m und bis 3,6km breit. Die Ariadäus-Rille ist mit unseren Fernrohren sehr gut zu beobachten (A9). Das Mare Serenitatis liegt jetzt geschlossen vor uns. Im Süden grenzt das Haemus-Gebirge das Mare ab. Es wirkt immer hell und steht dadurch im starken Kontrast zur dunklen Lavaumrahmung des Serenitatis. Nur bei hoher Sonne günstig, sonst überhaupt selten beobachtet, sind über 20 dunkle Lavaflecken zu sehen, die südlich vom Haemus liegen und ins Vaporum hineinreichen. An der Bruchstelle zwischen den Apenninen und dem Kaukasus finden wir eine Lavastufe (A9), die gegen das Imbrium abstürzt. K.v.Bülow meint, hier seien die Magmamassen (Lava) des Imbrium und des Serenitatis "gegeneinander gebrandet". D.Alter wieder meint "die Lava sei vom Serenitatis ins Im-

(36)

brium geflossen". Der Absturz, die Lavastufe, ist für uns gut beobachtbar. Vielleicht bilden Sie sich selbst ein Urteil! Zwischen dem Nordufer des Serenitatis und dem Alpental gibt es eine "einmalige" Landschaft auf dem Mond. Tausende kleine Hügel, Kleinstkrater und Dome (Alter: A myriad of tiny hills) bevölkern diese Gegend (A10). Die große Vertiefung Alexander wäre erwähnenswert, die schönen Krater Eudoxus und Aristoteles zeigen nichts Besonderes. Die beiden Großkrater im Norden, Bond und Meton, zeigen eine recht verschiedene Bodenstruktur. Während der Boden des Bond von Kleinsthügeln und Geröll durchsetzt ist, wird Meton von einer glatten Lavaschicht bedeckt. Beide Krater durchziehen Strahlen vom Krater Anaxagoras, alles gut auf A10 zu sehen. Am 7. Mondtag stellt sich das Kaukasus-Gebirge dem Beobachter in der besten Beleuchtung dar. Die Spitze des Kaukasus, gegen die Apenninen zu, die durch ein Tal beinahe von der Hauptmasse getrennt ist, zeigt uns Berge im Sonnenlicht, die rund 3000m hoch sind. Das nördlich anschließende Bergmassiv stürzt noch einmal in ein Tal, das, in der Höhe des Kraters Theaetetus, den Kaukasus durchschneidet. Schließlich sei noch auf die höchste Bergmasse aufmerksam gemacht, die sich rechts vom Krater Calippus findet und deren Gipfel sich über 6500m erheben; siehe A10.

8. Tag

Nun kommt ein Großkrater (Wallebene) in Sicht, der sich durch seine schöne kreisrunde Form dem Beobachter immer wieder aufdrängt, der Moretus. Dieser Krater im Süden zeigt wohlgeformte Terrassen; ein Wallgipfel im Osten erhebt sich 5000m über dem Inneren. Das Interessante am Moretus aber ist sein Zentralberg, der, nach Mädler, der höchste auf dem ganzen Mond sein soll und 2160m hoch ist. Sicher ist hier im Süden der Mond am stärksten verkratert, aber es gibt auch hier Flachstücke. Eine der schönsten Ebenen führt vom Krater Cysatus nach Norden am Ostrand des Riesen Clavius vorbei bis zur Wallebene Maginus mit dem

(37)

weißen Fleck im Osten seines Bodens. Die Amerikaner lieben bildhafte Vergleiche und so sehen wir im Krater Walter die "Ferse" vom großen "Footprint", also dem Fußabdruck; die große Zehe ist der Krater Orontius. Tycho gilt als sehr junger Meteor-Einsturzkrater. Für seine Jugend sprechen seine Strahlen, seine scharfen, kantigen Wallränder und eckigen Terrassen und daß sein Boden, sein Innen- und Außenwall frei von Kleinstkratern ist. Wenn der Abend eine größere Vergrößerung erlaubt, so werden Sie auch mit unseren Rohren diese "Unberührtheit" erkennen können. Die Wallebene Hörbiger wurde von der IAU auf Deslandres umgetauft. Trotzdem befindet sich noch ein Krater in der Wallebene, der nach einem Österreicher benannt ist, der Krater Hell, nach dem ersten Wiener Sternwartendirektor (1720-1792). Übrigens wurden noch 15 Österreicher durch Benennungen geehrt! Im Deslandres, beinahe ein perfektes Quadrat darstellend, liegt noch ein Fehler verankert, Cassinis "heller Fleck". Cassini (1625-1712) glaubte eine Wolke zu sehen, erkannte bald seinen Irrtum, aber seit damals heißt der Fleck, der nördlich vom Krater Lexell liegt, Cassinis "Bright Spot". Die "Lange Wand" mit den "Stags Horn" Bergen ist jetzt sehr gut zu beobachten. Ich gebe die Maße: Länge 130km, Höhe bis 300m, Schiefe der Verwerfung 41°. Beachten Sie den kleinen Krater "Ei im Nest", Alpetragius, 40km, dessen klobiger Zentralberg 2000m hoch ist; Wallhöhe immerhin 4000m! Der Krater Alphonsus ist durch seine drei schwarzen Lavaflecken (A19), die bei oder gegen Vollmond auch im 5cm-Rohr sichtbar sind, für uns interessant. Da 1958 ein Gasausbruch erfolgt ist, steht Alphonsus unter ständiger Beobachtung. Nordwestlich vom Alphonsus finden wir eine viereckige Formation mit dem Krater Davy im Süden. Von diesem Krater weg zum Krater Ptolemäus hin zieht sich eine geheimnisvolle, gebogene weiße Linie. Bei genauem Hinsehen (A19) und wenn der Himmel will, sehen wir zwei bis drei Kleinkrater in die-

ser Kleinkraterreihe. Auch links vom Ptolemäus zieht sich eine Kleinkraterreihe, bestehend aus fünf gleich großen Kleinkratern, zum Krater Müller hin. Im Ptolemäus gibt es eine Anzahl Einbuchtungen, seichte Dellen, die beim Erkalten der Lava entstanden sind. Drei können wir sehen. Am besten die Doppeldelle unter dem Krater Lyot, dann die Delle am rechten Wallrand und südlich des Lyot (B19). Die Kluft links vom Krater Herschel ist 120km lang, das ist die Strecke Wien-Mürzzuschlag! Sinus Aestuum zeigt jetzt wunderschön den "Löffel", eine elliptische Einsenkung oder Depression, von Adern umgrenzt; der Löffelstiel ist gegen Süden gerichtet. Diese Adern sieht man auch im Crisium, Humor und Serenitatis und anderswo, nicht aber so geschlossen wie hier im Aestuum. Links vom Aestuum bis zum Krater Schröter zieht sich eine seltsame Landschaft, sie ist einmalig auf dem Mond. Während man sonst mit Recht sagen kann: Hügel oder Gebirge = helle Landschaft, Mare = dunkle Landschaft, so muß es hier heißen: Gebirgslandschaft = dunkle Landschaft! Eratosthenes ist ein alter Meteor-Einsturzkrater; zum Unterschied von Tycho zeigt er kaum mehr Strahlen, die Formen sind weich, rund und bucklig, der Wall innen und außen von hunderten Kleinkratern übersät. Je mehr Einschläge rundherum, um so älter ist der Krater (A13+B13). Die Apenninen sind nun fein zu beobachten, die vier höchsten Berge werden von der Sonne angestrahlt. Der viereckige, beinahe freistehende Wolf im Süden ist interessant, nach Norden zu liegt der höchste Berg der Apenninen, der Huygens (6000m), dann kommt Bradley mit rund 4000m und im Norden der Berg Hadley mit 5000m. Wenig beachtet wird das Gebirgstal Marco Polo mit seinen fünf Furchen. Diese große Grube liegt links vom Wolf, aber etwas nördlich; ein weißer Fleck sitzt auf dem Südrand der Grube. Mindestens drei Furchen sind auf A13 gut zu sehen. Auf dem Photo ist auch der Krater Hadley C zu erkennen, der dadurch berühmt wurde, daß Apollo 15 in der Nähe landete. Er steht für unsere Rohre an der Sicht-

grenze und ist bei guter Beleuchtung gerade noch zu erfassen; ein richtiges Testobjekt! Der Krater Aristillus ist nicht nur wegen seines feindurchfurchten Außenwalles bekannt, sondern auch wegen seiner Strahlen. Sie ziehen über das Imbrium, queren den Kaukasus und landen im Serenitatis. Ein Zeichen, daß der Aristillus jünger als die beiden Mare ist! Zwischen dem seichten Krater Cassini und dem Plato liegen die Alpen mit Gipfel bis zu 4000m (vgl. Mt. Blanc!), gestört durch das berühmte Alpental. Im Norden sind jetzt die Krater Epigenes und Goldschmidt am Terminator.

9. und 10. Tag

Nun tritt hoch im Süden der mächtige Newton ins Licht. Er mißt vom Boden bis zur höchsten Wallspitze 9000m! Auf A24 sehen Sie südlich vom Moretus den Wall hell beleuchtet. Nördlich und rechts vom Tycho findet man eine Kraterellipse, in der sich bis zu 30 Kleinkrater befinden. Am Nordrand des Kraters Hesiod beginnt die Hesiod-Rille. Im Schwierigkeitsgrad ungefähr der Ariadäus-Rille gleich, endet sie nördlich vom Krater Capuanus im Palus Epidemiarum. Ein schönes, "erkämpfbares" Objekt! Rechts vom Krater Birt nach Norden laufend, finden wir die gekrümmte Birt-Rille. Wer die Hesiod- und Birt-Rille studiert und vergleicht, A10, sieht, daß letztere eng und seicht und daher schwer erfaßbar ist. Hier hilft nur intensive Beobachtung, wenn man Erfolg haben will. Am besten lauert man schon ab dem 8. Mondtag auf dem Terminator. Zwischen den Kratern Darney, Bonpland und Fra Mauro sowie dem Riphäengebirge gibt es das Mare Cognitum, das erst von den Astronauten so benannt wurde und daher nur auf neueren Karten zu finden ist. Das Fra Mauro Gebiet mit den Kratern Parry, Bonpland und Guericke war vor dem Mare Nubium da, es gilt als eines der ältesten Mondgebiete. Die Krater Birt und Bullialdus z.B. entstanden später. Der Krater Copernicus ist jetzt gut zu beobachten, ein junger Meteor-einsturzkrater, aber älter als Tycho. Südlich von Copernicus finden wir einen kleinen Doppelkrater,

mit dem sich der große Mondforscher Fauth verewigt hat. Südöstlich vom Copernicus sehen wir die "Oval Rays", von D.Alter so bezeichnet. Auf B13 gut erkennbar, würde man sie als ovale Lavaflecken charakterisieren, deren nördlicher kleiner ist. Wer den Krater Stadius und die rechts von ihm nach Norden ziehende Kleinkraterkette erblicken will, muß den Terminator erwischen. Es empfiehlt sich, schon ab dem 8.Mondtag die Beobachtung aufzunehmen. Die Karpathen gehören zum Schollenring des Imbriums, so wie die Apenninen, der Kaukasus und die Alpen. Die Berge in den Karpathen sind eher niedrig und erreichen kaum die 2500m-Marke. Vom Krater Gay-Lussac führt vom rechten Wallrand südwestlich zu einem länglichen Bergrücken eine feine Rille. Schlecht zu sehen auf B13 (auf anderen Photos gut), ist sie mit unseren Rohren recht gut auszumachen. Der Krater Plato ist einer der meistbeschriebenen und meistbeobachteten Krater; leider sind seine feinen Rillen erst größeren Rohren zugänglich. Gut zu sehen ist das abgespaltene, dreieckige und hohle Felsstück am rechten Wall. Beinahe gegenüber, am linken Wallrand, sehen wir ein Tal oder eine breite Furche, die den Wall spaltet und bis zum Imbrium hinunter führt - zum Geisterkrater, auf dessen Südrand der Pico mit rund 2700m Höhe aufragt. Plato hat von allen lavaerfüllten Großkratern die glatteste Bodenfläche. Der größte Krater, der diese Ebene stört, hat nach P.Moore einen Durchmesser von 3000m. Auf A18 und nur auf diesem (abnehmende Phase, 22.Tag, Nachtobjekt) sehen wir den Kleinkrater in der Mitte des Plato. Ein sehr schwieriges Objekt für unsere Rohre! Dem Durchmesser nach müßte er für uns erfaßbar sein, muß aber so flach und seicht sein, somit ohne Schatten, daß er nur mit sehr viel Glück zu erkennen ist. Im Norden sehen wir jetzt den Krater Anaxagoras, noch ohne seinen schönen, vollkommenen Strahlenkranz; er ist jetzt gut zu sehen mit seinem über 3000m hohen Wall und 1100m hohen Zentralberg. Gut ansehen sollte man sich auch den strukturreichen Birmingham, A18!

11.Tag

Zur bequemen Abendzeit ist jetzt das Mare Humorum ein herrliches Beobachtungsobjekt. Relativ klein, ist der Formenreichtum des Humorum gut zu überblicken. Es zeigt an seinen Ufern mehr in der Lava eingesunkene, überflutete Krater als die anderen Mare. Da ist der Vitello mit seinem inneren Ring um den Zentralberg, der halb versunkene Lee, neben dem Doppelmayer der total überschwemmte, aber gut sichtbare Puiseux, im Osten der Hippalus und der große Gassendi. Dieser Krater wurde in der Vergangenheit genauestens beobachtet, Neison beschreibt ihn sechs Seiten lang und Moore sagt, sein Inneres ist mit Rohren von 10cm Öffnung aufwärts gut zu betrachten. Das Besondere sind drei Zentralberge und das Rillensystem (Lavarisse) im Boden und die Wallstruktur. Rechts (westlich) von Gassendi liegt das kleine Percy-Gebirge, immer gut beleuchtet und fein zu beobachten. Das Interessanteste für uns sind aber die drei gleichlaufenden Hippalus-Rillen, A20 und für das ganze Humorum B20, die sich östlich vom Krater Hippalus nach Westen und Süden ins verkrustete Gebirgsland ziehen. Schwieriger wohl als die Ariadäus-Rille, ist die tiefere erste Nordrille im 10cm-Rohr leichter erkennbar als die anderen. Beachten Sie auf B20 die vielen Bergrücken im und um das Humorum und den von einem glänzenden, dreieckigen, sehr hellen Lichtfleck umgebenen Krater Euclides.

12.Tag

Ab dem 12.Tag ist es möglich, einige schwer zu erkennende Krater in der Südpolgend zu betrachten. Die Krater Scott, Amundsen und mehr gegen Süden, Malapert sowie Cabeus, sind schwer zu identifizieren und man muß mit Mühe Mondkarten und Photos studieren, um sie auf dem Mond erkennen zu können. Newton liegt nun breit und mächtig da und läßt sich genau betrachten, ebenso die "Schlucht", der Durchgang zwischen den Bergen von Newton und Casatus, A23. Im Westen kommen die Krater Nesmyth und Pocyliades ins Licht. Davor

(42)

liegt ein kleinerer Krater mit einem hohen Berg am Westwall. Der Ostwall des Phocylides und der Berg werfen jetzt lange Schatten. Der Bergschatten überquert den Phocylides und endet am Westwall - er muß daher ca. 40km lang sein; ein großartiger Anblick! Je nach Libration ist am 12. und 13.Tag das Schrötertal mit den Kratern Aristarch und Herodot am besten zu betrachten. Achten Sie auf die rechteckige Form dieser Insel im Mare und auf die Kobraform der Rille. Unter dem Krater Gruithuisen am Ende der Landzunge soll man drei isoliert stehende Dome (Berge) betrachten; einer davon ist deformiert, wahrscheinlich sind es Lavablasen; B14. Eine strukturreiche Gegend finden wir um den sehenswerten Krater Pythagoras mit seinen hohen Wällen, die bis 5000m aufragen. Ferner ist der imposante Zentralberg, A-16, und südlich davon der tiefe Krater Robinson auf erhöhter Platte bemerkenswert.

13.Tag

Jetzt ist es wertvoll, sich mit den recht interessanten Randkratern zu beschäftigen, wie Drygalski, Inghirami, Darwin mit hohem Ostwall, Riccioli und anderen. Wenn man aber eine Libration von -6° in Breite entdeckt (Aug.1976), "muß" man sich den Bailly ansehen. Diese eigentlich runde Riesen-Wallebene (nach Moore 250km \emptyset) sieht man bei dieser günstigen Libration vollständig von Rand zu Rand. Der Betrachter soll erkennen, daß es sich bei dieser Großformation keineswegs um ein Klein-Mare handelt, sondern daß alle Strukturmerkmale wie Berge und Hügel, Senken, Gruben und Kleinkrater sowie einige Ringe, deutlich auf eine Kraterlandschaft hinweisen. Ein- oder zweimal während einer Beobachtungssaison von 5 Monaten gelingt es mir, die Sirsalis-Rille, die längste Rille auf dem Mond, ganz oder zum größten Teil zu sehen. Auf A21 ist die Rille in ihrer ganzen Länge gut zu verfolgen. Sie beginnt mit dem schwierigsten Teil nordöstlich von Sirsalis und zieht schnurgerade bis zu einem Kleinkrater, leicht geknickt und etwas besser zu sehen, bis zum Krater

(43)

De Vico A, quert ihn und wandert in einem Bogen nach Süden, am Ostrand des Darwin entlang bis zum Krater Byrgius. Dieser Teil heißt heute Byrgius-Rille und ist gut, oft stetig, zu sehen. Verzweigungen der Sirsalis-Rille in den Darwin und Byrgius hinein sind für unsere Rohre nicht erfaßbar. Ein "hartes", aber schönes Objekt, eine erreichbare Trophäe. Der Rümker, ein Plateau von nur 600m Höhe, wird leicht übersehen; liegt ganz isoliert im Sinus Roris, ca. 40km \emptyset , rund, hügelig und verkrustet. Ohne Anstrengung beobachtbar!

14.Tag

Bei Vollmond kann man mit Vorteil die schwarzen Lavaflecke und ihre Gruppierungen betrachten. Denken Sie an das winzige Mare Struve, an die zwei Flecken im Atlas, an die drei im Alphonsus; im Mare Vaporum ein Blick auf das Mare Australe, auf die dunkle Uferumrahmung des Serenitatis, auf die Ovalstrahlen beim Copernicus - jetzt sind sie gut sichtbar! Betrachten Sie die "heissen" Flecken, die wie hunderte helle Punkte gerade nun leuchten und wirklich wärmer als ihre Umgebung sind. Die Strahlensysteme zeigen sich in höchstem Glanz. Man kann nun den Ausfall im Strahlenkranz des Tycho und Proclus vergleichen. Man sieht, daß im Furnerius und am Stevinus zwei kleine, intensive Strahler sitzen; ein Strahl von Tycho geht dorthin. Verfolgen Sie den Strahl, der vom Stevinus gerade und ungehindert über Fra-castorius (dort trifft ihn ein Strahl von Tycho) bis durch den Theophilus führt und beim Alfraganus C rechtwinkelig in einer Gabel endet. Ungeklärt ist noch, warum sich Strahlen von verschiedenen Kratern gradlinig verbinden: Sehr gut zu sehen bei Copernicus, Kepler und Aristarchus, B14. Doch genug der Mondwunder! Für Sternfreunde, die sich mit Rillen auseinandersetzen wollen, führe ich eine Skala der Systeme in zunehmender Schwierigkeit an, damit das Einarbeiten leichter wird: Hyginus, Aristarchus, Gay-Lussac, Hesiod / Cauchy, Hippalus, Hypatia, Sirsalis / Plinius, Tries-

22. Fortsetzung Referat: Der Mond

(44)

necker, Gutenberg, Birt; diese letzten vier sollen erst nach einiger Erfahrung angehen. Abschließend wünsche ich Ihnen viel Freude und großen Erfolg!

Auswahl 50 typischer Formationen im MOND-ATLAS von A. Rühl!

AUS DER WELTRAUMTECHNISCHEN ERFORSCHUNG DES MONDES

Gelungene weiche Landungen auf dem Mond (Seminarpapiere 1981)

Mission	Gelandet	Landegegend	Landeort	Aktivitäten
LUNA 9	1966 02 03	Oceanus Procellarum, bei Cavalerius	64,4°W/07,1°N	1. weiche Landung, 4 Panoramaphotos, 1. Untersuchung der Bodenfestigkeit.
SURVEYOR 1	1966 06 02	Oceanus Procellarum	43,2°W/02,5°S	11240 Aufnahmen mit Details bis 0,5mm.
LUNA 13	1966 12 24	Oceanus Procellarum	62,1°W/18,9°N	3 Panoramaphotos, Messung Bodenfestigkeit.
SURVEYOR 3	1967 04 20	Mare Cognitum, bei Lansberg	23,3°W/02,9°S	6326 Aufnahmen, 15cm tiefe Furchen mit mechanischer Schaufel. Siehe Apollo 12!
SURVEYOR 5	1967 09 11	Mare Tranquillitatis, bei Sabine	23,2°E/01,4°N	19118 Aufnahmen, 1. Untersuchung der chemischen Zusammensetzung des Bodens.
SURVEYOR 6	1967 11 10	Sinus Medii, bei Bruce	01,4°W/00,5°N	14500 Aufnahmen, dann kurzer Aufstieg, neue Landung 2,5m seitlich; Stereoaufnahmen. Insgesamt 29952 Photos.
SURVEYOR 7	1968 01 10	25 km nördl. Tycho	11,4°W/41,0°S	21038 Photos, 1. weiche Landung in gebirgigem Gelände.
APOLLO 11	1969 07 20	Mare Tranquillitatis, bei Sabine	23,5°E/00,7°N	1. Landung von Menschen. Seismometer, Leser-Reflektor installiert, 1. Bodenproben zur Erde gebracht.
APOLLO 12	1969 11 18	Mare Cognitum, bei Lansberg	23,3°W/02,5°S	2. Landung von Menschen, 350m neben Surveyor 3; 1. ALSEP-Station.
LUNA 16	1970 09 20	Mare Fecunditatis	56,3°E/00,7°S	1. automatische Probenahme aus einer Tiefe bis 35cm.
LUNA 17	1970 11 17	Mare Imbrium, bei Sinus Iridum	35,0°W/38,3°N	1. automatisches Labor, 10 Monate tätig. "Lunochod 1" fuhr 10,5km. 4 Panorama-TV-Kameras, mechanisch-chemische Analysen.
APOLLO 14	1971 02 05	Fra Mauro	17,5°W/03,7°S	3. Landung von Menschen, Handwagen benutzt. 2. ALSEP-Station.
APOLLO 15	1971 07 30	Apenninen, bei Hadley	03,7°E/26,1°N	4. Landung von Menschen, "Lunar Rover", Bohrungen bis 1,5m Tiefe, 3. ALSEP-Station; Photogrammetrie des Mondes.
LUNA 20	1972 02 21	Mare Fecunditatis, bei Apollonius	56,5°E/03,5°N	Automatische Probenahme, 1. in bergigem Gelände.
APOLLO 16	1972 04 21	Descartes	15,6°E/09,0°S	5. Landung von Menschen. Weitere geologische Untersuchungen, UV-Kamera für Astrophysik. 4. ALSEP-Station.
APOLLO 17	1972 12 11	Taurus-Littrow	30,8°E/20,2°N	6. Landung von Menschen, 1. Wissenschaftler auf dem Mond; Geologe. Junges Gebiet erforscht. 5. ALSEP-Station.
LUNA 21	1973 01 15	Mare Serenitatis, bei Le Monnier	30,5°E/25,9°N	2. automatisches Labor, 5 Monate tätig. "Lunochod 2" fuhr 37km. Gegenüber "Lunochod 1" noch Magnetometer, Astro-Photometer, 1 weitere TV-Kamera. Solare Röntgenstrahlung gemessen.
LUNA 24	1976 08 18	Mare Crisium	62,3°E/13,1°N	Automatische Probenahme aus 2m Tiefe.

Übersicht: Die Instrumente der ALSEP-Stationen (Apollo Landing Surface Experimental Package).

Instrumente	Apollo 11	Apollo 12	Apollo 14	Apollo 15	Apollo 16	Apollo 17
Instrumentarium Bodenmechanik	x	x	x	x	x	x
Instrumentarium Geologie	x	x	x	x	x	x
Passives Seismometer	x	x	x	x	x	
Aktives Seismometer; Impulse			x		x	
Profil-Seismometer						x
Laser-Winkelprismenspiegel	x		x	x		
Magnetometer		x		x		
Thermoelemente unter Oberfläche				x	x	
Grevimeter						x
Meßgeräte für Boden-Elektrik						x
Neutronenzähler						x
Suprathermal-Ionendetektor		x	x	x		
Ionendetektor			x	x		
Detektor für geladene Teilchen			x			
Atmosphären-Analysator						x
Sonnenwind-Spektrometer		x		x		
Detektor für kosmische Strahlung					x	x
UV-Kamera und Spektrograph					x	
Mondstaub-Detektor			x	x		

(= noch kein ALSEP)

23. Fortsetzung Referat: Der Mond

Mondbodenproben:

Es stehen bis heute Proben von sechs Apollo-Missionen der USA und von drei unbemannten Luna-Missionen (UdSSR) zur Verfügung.

Jedes größere durch die Astronauten aufgesammelte Handstück erwies sich als komplexe Brekzie (Trümmergestein), die wieder aus mikroskopisch kleinen Mineral- und Gesteinsbruchstücken aufgebaut war. Die identifizierten Gesteinstypen überraschten durch ihre Vielfalt. Der obere Mondmantel besteht aus Eisen-Magnesium-Silikaten, die frühe Mondkruste aus Kalzium-Aluminium-Silikaten.

Die Mondmare bestehen aus Basalten, deren wichtigste Mineralkomponenten Klinopyroxen $(Ca, Mg, Fe, Al)_2(Si, Al)_2O_6$ sowie Plagioklas $(Ca, Al)_2Si_2O_8$ sind; die Hochländer bestehen aus durchwegs plagioklasreichen Gesteinen. Die Mondgesteine bestehen also aus den gleichen chemischen Elementen wie ihre irdischen Gegenstücke, doch ihre Zusammensetzung ist anders. Sie enthalten mehr Ca, Al und Ti als die meisten irdischen Proben. Na, K und andere Elemente mit niedrigem Schmelzpunkt sind dagegen selten. Die Hochländer sind reich an Ca und K, die Mare enthalten weniger davon, dafür aber mehr Ti, Fe, Mg.

Die Mondsatelliten-Mission "Clementine":

Am 21. Februar 1994 trat die Sonde in eine polare Umlaufbahn um den Mond ein, die sie bis auf 400 km an ihn heranführte; rund einen Monat lang wurde die Südhemisphäre und dann, nach Bahnänderung, die Nordhemisphäre bis 23. April beobachtet. Es wurden verwendet:

CCD-Kamera für V- und UV / CCD-Kamera für IR / Hochauflösende CCD-Kamera / LIDAR, Laser Identification and Ranging - System / 2 Star-Tracker - Kameras mit 40° Sehfeld / Radar-System.

Erste Ergebnisse: Kartographie in 11 Strahlungsbereichen zwischen 415 und 2750 nm mit einer Genauigkeit von 100 m, global und mit fast völliger Ausfüllung der noch beim Südpol bisher verbliebenen unkartierten Gegend samt Höhen (Höhenunterschiede bis 25 km) / Schwere- und Dichtekarte der äußeren Mondsichten: Rund um die Marebecken bestehen Ringe geringerer Schwere; die Mondkruste mit einer mittleren Dicke von 60-70 km verringert sich auf 12 km unter dem Südpol-Aitken-Becken / Suche nach Eis in den polaren Schattengebieten: Erste Hinweise sprechen dafür, daß Eis vorhanden sein könnte.

o-o-o

Dipl. Ing. A. Rühl bzw. Ing. M. Pietschnig gestatteten sehr dankenswert die Verwendung von Daten aus dem MONDATLAS bzw. SEMINARPAPIEREN 1981.

Prof. H. Mücke, Hasenwartgasse 32, A-1238 Wien.

Referat: **Die Sonne**

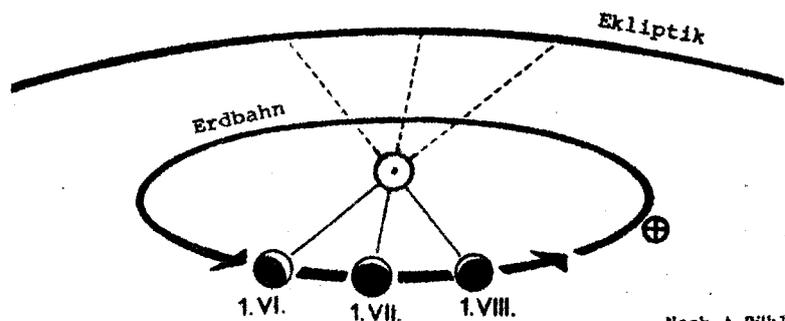
1. Die Sonne, Stern und Wandelgestirn

Neben rein praktischen Argumenten (Beobachtung bei Tageslicht, große Helligkeit) ist die Sonnenbeobachtung sehr geeignet für die *astronomische Bildung*, denn kaum ein Himmelsobjekt eignet sich so, um auf *sämtliche Aspekte der Astronomie* zuzugreifen.

Im Zusammenhang mit der Sonne ist es ideal, auf die Natur der Erde als Planet im Unterschied zu Sternen hinzuweisen. Die Sonne ist das einzige Objekt, das die Eigenschaften Wandelgestirn und Stern vereinigt.

Für die Menschen in vorteleskopischer Zeit waren Untersuchungen über die Sonne fast immer Beobachtungen der Sonne in ihrer Rolle als Wandelgestirn. Um 140 entsand die Syntaxis des Ptolemaios, eine Zusammenfassung des gesamten astronomischen Wissens und Beschreibung des geozentrischen Weltbildes, das 1400 Jahre lang nicht sehr verändert wurde. Die Sonnen-, Mond- und Planetentafeln erlaubten die Berechnung von Wandelgestirnrörtern. Erst an der Wende vom Mittelalter zur Neuzeit beschrieb Kopernikus 1543 das heliozentrische System. Gesetze über die Planetenbewegung veröffentlicht Kepler 1609 in „Astronomia nova“ (die ersten beiden Kepler'schen Gesetze: 1) Planetenbahnen sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht 2) Radiusvektor überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen) und das dritte Gesetz beschreibt er 1619 in „Harmonices Mundi“ (Quadrate der Umlaufzeiten verhalten sich wie dritten Potenzen der Entfernungen)

Warum die Sonne für den Beobachter auf der Erde Wandelgestirnnatur zeigt, sieht man aus nebenstehender Abbildung. Die scheinbare Bahn der Sonne ist nichts anderes als die Widerspiegelung der Erdbahn. Daher verändert die Sonne genau wie die Planeten den Ort vor dem Hintergrund der Sterne.



Nach A. Rühl

Es ist ganz einfach, die Natur der Sonne als *Wandelgestirn* nachzuerleben; dazu dient beispielsweise die bereits beim Mond gemachte Beobachtung, daß die Phasenplätze des Mondes (etwa die Orte des Vollmonds) während eines Jahres einen Großkreis an der Himmelskugel beschreiben. Gleiche Phasenplätze des Mondes bedeuten gleichen Längenunterschied von Sonne und Mond, eine Veränderung der Vollmondplätze ist also eine Veränderung des Sonnenortes (siehe Karte Referat: Der Mond)

Die Ekliptik, die Bahn der Erde um die Sonne, ist gegen den Himmelsäquator um $23^{\circ}26'21'',448$ (Mittelwert für das Jahr 2000) geneigt, diese Ekliptikschiefe ist eine Eigenschaft der Erdbahn (Neigung der Bahnebene der Erde gegen die Rotationsebene) und wird durch Beobachtung im Meridian gemessen (Meridiankreis). Die Messung der Sonnenhöhen in den beiden Extremwerten (Sommer- und Winterbeginn) unter Berücksichtigung der Korrektur auf Refraktion liefert sofort die Schiefe der Ekliptik.

Wie in Kap. 2.2.4.1 beschrieben wird, genügt die Messung der Veränderung des Sonnendurchmessers, um die Exzentrizität der Erdbahn zu ermitteln.

Die Entfernung zur Sonne wird mittels Radarmessung ermittelt. Der von der I.A.U. akzeptierte Wert lautet

$$1 \text{ AE} = 149\,597\,870 \text{ km.}$$

1. Fortsetzung Referat: Die Sonne

1.1. Kosmologische Betrachtungen

Unsere Milchstraße ist eine flache Sternenscheibe mit einem Durchmesser von ca. 100 000 Lichtjahren und einer Dicke von 10 000 LJ, unsere Sonne ist etwa 30 000 LJ vom Zentrum entfernt. Die Milchstraße ist eine Galaxie unter vielen. Das ganze System rotiert, am Ort der Sonne in etwa 250 Millionen Jahren einmal um seine Achse.

Gerade weil unsere Sonne ein normaler Stern ist, wie aus der folgenden Tabelle leicht zu erkennen ist, kann aus der Beobachtung der anderen Sterne eine Prognose für die Entwicklung der Sonne abgegeben werden.

Seit 5 Milliarden Jahren befindet sich die Sonne in einem stabilen Zustand, die Zustandsgrößen haben sich in dieser Zeit nicht merkbar geändert. Dieser stabile Zustand wird noch weitere 4 Milliarden Jahre andauern.

Spektraltyp	Effektiv temperatur in K	Masse Sonnenmasse = 1	Radius Sonnenradius = 1	Rotations geschwindigkeit in km/s an der Oberfläche
B0	33 000	17,5	7,5	200
B5	16 500	6,5	4,0	210
A0	10 000	3,2	2,6	190
A5	8 000	2,1	1,8	160
F0	7 200	1,78	1,35	95
F5	6 500	1,47	1,20	25
G0	5 960	1,10	1,05	12
G5	5 270	0,93	0,94	12
K0	4 900	0,80	0,85	12
K5	4 350	0,65	0,74	12
M0	4 000	0,49	0,63	12
Sonne (G2)	5 780	1,00	1,00	2

2. Natur der Sonne

2.1. Zustandsgrößen

Entfernung	1AE = 149 597 870 km
Radius	$R_{\odot} = 696\,300\text{ km}$
Masse	$M_{\odot} = 1,9891 \cdot 10^{33}\text{ g}$
Dichte	$\rho_{\odot} = 1,41\text{ g/cm}^3$
Leuchtkraft	$L_{\odot} = 3,83 \cdot 10^{23}\text{ kW}$
Spektraltyp	G2V
effektive Temperatur an der Oberfläche	$T_{\text{eff}} = 5780\text{ K}$

2. Fortsetzung Referat: Die Sonne

2.2. Erscheinungsbild

Um die Sonne zu beobachten, muß der Betrachter ganz anders vorgehen, als bei „üblichen“ astronomischen Objekten. Bereits mit einfachen Hilfsmitteln gelingt es aber, die Struktur *unseres Sterns* zu zeigen. Interessante Details sind die fast ideal *runde* Form der Scheibe, mit *gelbweißer* Farbe, deren Helligkeit zum Rand hin deutlich abfällt (*Randverdunkelung*). Sehr oft sieht man dunkle *Sonnenflecken* und helle *Fackeln*, mit geeigneten Hilfsmitteln immer *Protuberanzen* und *Filamente*, eher selten Strahlungsausbrüche (*Flares*).

2.2.1. Beobachtung mit freiem Auge

Einiges von diesen Erscheinungen, kann bereits mit freiem Auge beobachtet werden, so ist die Randverdunkelung bereits seit dem Altertum bekannt und einzelne Beobachter (etwa in China vom 4. bis zum 13. Jhd., in Arabien im 9. Jhd) beschreiben auch ohne besondere Hilfsmittel die Beobachtung von Sonnenflecken. Bei totalen Sonnenfinsternissen kann auch die Sonnenatmosphäre, die Korona gesehen werden, was bereits im 2. Jhd bei Plutarch beschrieben wird.

Ein einfaches „optikloses“ Instrument zur Fotografie der Sonne ist die Lochkamera. Das ist ein dunkler Kasten, Vorderseite enthält eine Bohrung, Rückseite eine fotografische Platte (Film). Die Größe der Bohrung hängt von der Bildweite B ab, welche den Sonnendurchmesser bestimmt. Der Lochdurchmesser ist aus der Beziehung $d = \sqrt{B \cdot 0,00127}$ zu ermitteln, es ergibt sich dann ein Sonnendurchmesser $D = B \cdot \tan$ Sonnendurchmesser. Bei einer Bildweite von 150 cm und einer Bohrung von 1,4 mm ergibt sich ein Sonnenbild von rund 14 mm.

2.2.2. Randverdunkelung

Auf dem ersten Blick erscheint die Sonne gleichmäßig hell, bei näherer Betrachtung jedoch sinkt die Helligkeit in Richtung Rand rasch ab und die Farbe verändert sich in den roten Bereich. Das ist der augenfälligste Beweis für die Gasnatur der Sonne, war bereits in vorteleskopischer Zeit bekannt. (Ein glühender fester Körper (Glühdraht) zeigt diese Eigenschaft nicht).

2.2.3. Oberflächeneinzelheiten der Sonne

Ein typischer Sonnenanblick bei aktiver Sonne ist auf der nächsten Seite abgebildet.

Das Sonnenbild erscheint sehr kreisähnlich, kreisähnlicher als der Vollmond (Gebirge) oder etwa der Jupiter (Abplattung). Die Sonne ist im kleinen Fernrohr das kreisähnlichste, flächige Objekt. Allerdings erscheint der Sonnenrand nur äußerst selten vollkommen scharf, das „seeing“ (vergleiche das „Funkeln“ der Sterne bei Nacht) beträgt oft bis zu 10 Bogensekunden (bei Nacht weniger, minimal 1 Bogensekunde).

Bei sehr guten Bedingungen und Instrumenten über 10 cm Durchmesser erscheint die Photosphäre aber inhomogen, von einem Raster überzogen. Diese Erscheinung ist die Granulation der Sonne, ein Granulum entspricht etwa 1 Bogensekunde (das sind etwa 750 km auf der Sonne, Lebensdauer rund 6 Minuten).

Die auffälligste Erscheinung sind natürlich die Sonnenflecken. Ein Sonnenfleck besteht aus einem dunklen Kern (Umbra) und einen helleren Hof (Penumbra). Sonnenflecken sind kühlere Gebiete auf der Sonnenoberfläche und erscheinen nur aus Kontrastgründen so dunkel (sind aber heller als der Vollmond).

Besonders in der Nähe des Sonnenrandes erkennt man auch hellere, meist fadenförmige Gebiete, die Fackeln. Im allgemeinen treten sie in Fleckenregionen auf.

Betrachtet man die Sonne an zwei aufeinanderfolgenden Tagen, so erkennt man sofort eine Verschiebung der Sonnenfleckengruppen, bedingt durch Rotation.

3. Fortsetzung Referat: Die Sonne

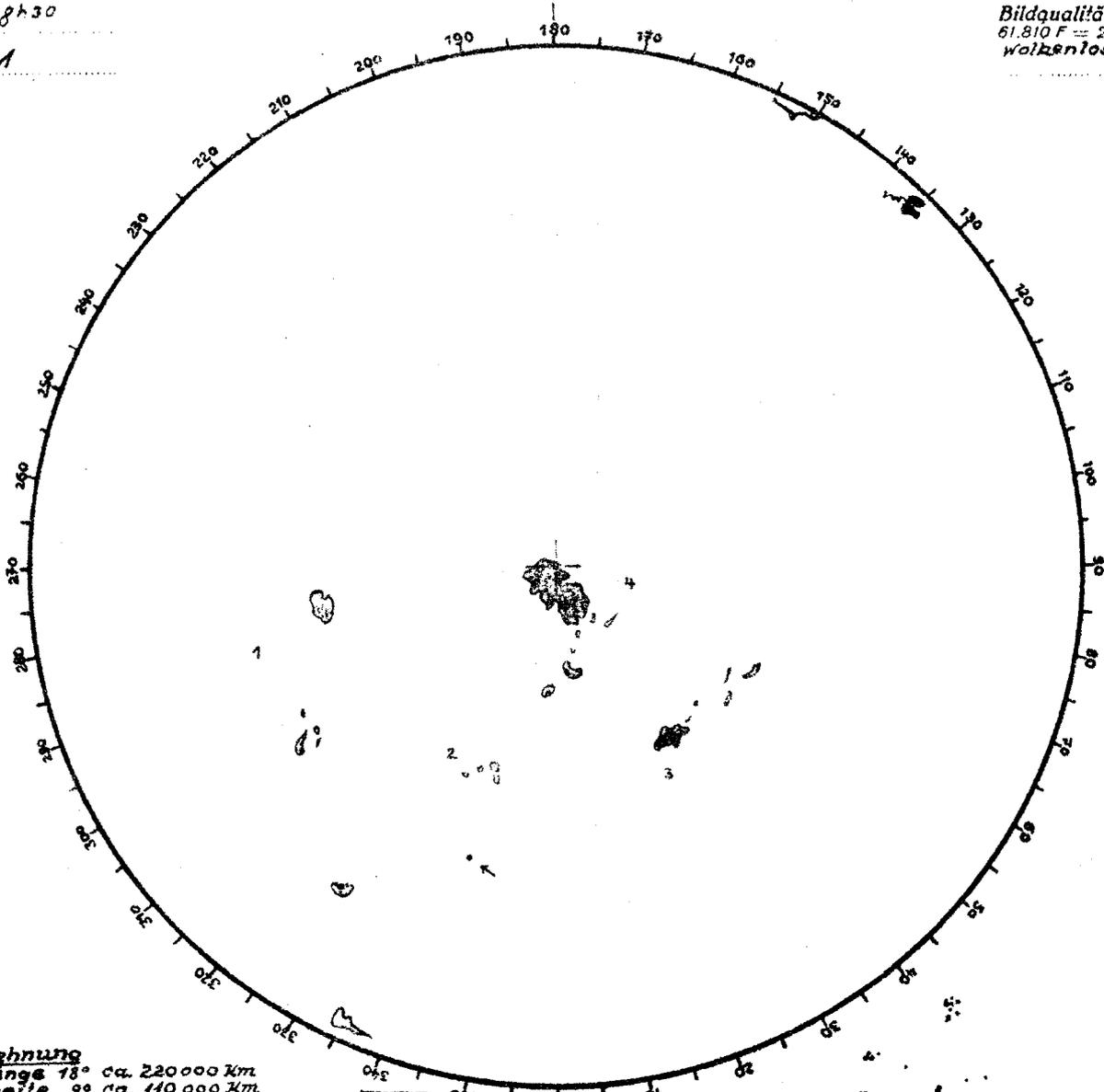
1949 Okt. 7.

MEZ 8h30

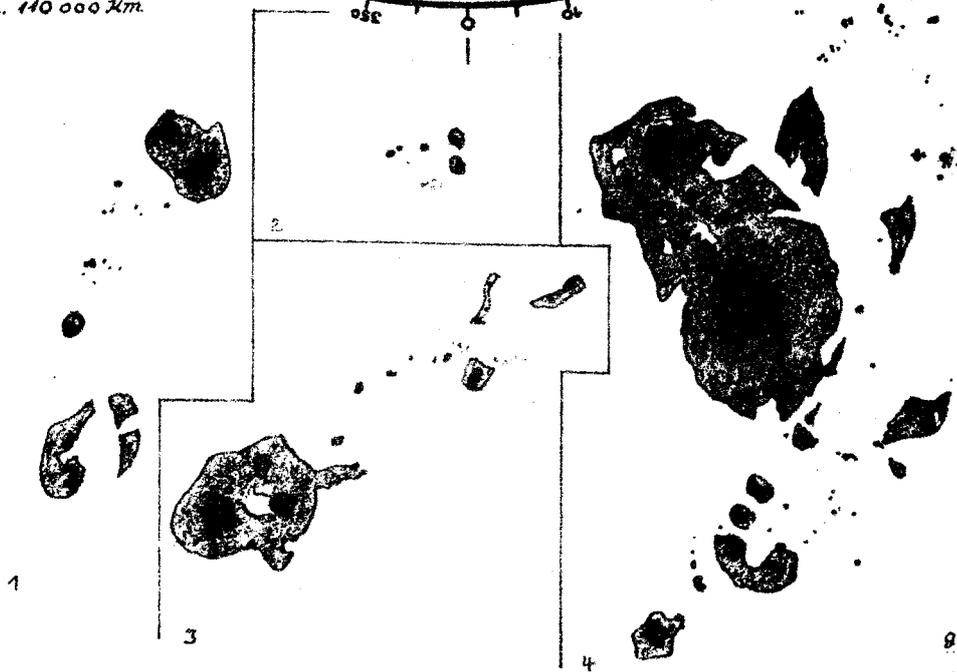
Bild 1

Blatt Nr. 1537

Bildqualität: 5
 61.810 F = 20 u 12.5
 wolkenlos



Ausdehnung
 in Länge 18° ca. 220 000 Km
 in Breite 9° ca. 140 000 Km.
 Z = 25° b = +7°



$P_0 = +26.3$

$B_0 = +6.4$

$R = 245$

$g = 6$

$f = 185$

BEOBACHTER: EUGEN STECK, FELDKIRCH, VLBG.

4. Fortsetzung Referat: Die Sonne

Beobachtung der Sonne

Projektion

Die Projektionsmethode ist zweifellos die einfachste Methode, die mit jedem Fernglas, jedem kleinen, aber auch größeren Fernrohr durchgeführt werden kann. Man achte nur auf die Hitzeentwicklung innerhalb des Fernrohrs und verwende keine gekitteten Okulare.

Auf der Uraniasternwarte steht den Besuchern ein Gelenk aus zwei Zenitspiegeln zur Verfügung, mit dessen Hilfe ein bis zu 100 cm \varnothing großes Sonnenbild auf einer Projektionswand erzeugt wird. Alle Besucher können hier gleichzeitig das Sonnenbild betrachten.

Das Bild läßt sich problemlos fotografieren und ist der Projektionsschirm stabil konstruiert, kann das Bild auch gezeichnet werden.

Helioskop

Ein Helioskop ist ein Sonnenokular, das das Licht mittels Reflexion an einem Prisma oder einer Glasplatte dämpft.

Auf der Uraniasternwarte ist ein Polarisations-Helioskop nach Colzi zur direkten Sonnenbeobachtung im Einsatz. Im Unterschied zu sehr vielen Sonnenokularen wird in diesem Instrument die Wellenlänge (=Farbe) praktisch nicht verändert.

Objektivsonnenfilter

Für den Amateur eignet sich die Verwendung eines Objektivsonnenfilters besser, da dieser vor dem Objektiv angebracht wird und damit das Gerät nicht so stark erhitzt wird und ein eventuelles Springen der optischen Teile (Verletzungsgefahr!) gebannt ist. Vor der Verwendung von Rettungsfolie sei allerdings gewarnt, das Ergebnis ist sicher schlechter, als die Wahl der Projektionsmethode!

2.2.4. Der Durchmesser der Sonne

Die Messung des Sonnendurchmessers stellt keine besonderen Anforderungen an Beobachter und Instrument, ist einfach durchzuführen, beliebig wiederholbar und läßt eine Vielzahl von Grundgrößen nachempfinden. Aus der bloßen Messung eines projizierten Sonnenbildes lassen sich beispielsweise folgende astronomische Tatsachen demonstrieren (Lit.13):

Erdrotation, Bestimmung der Exzentrizität der Erdbahn

Durchmesser der Sonne

Form der Erdbahn, Bestimmung der Exzentrizität

Mittlere Dichte der Sonne

Oberflächentemperatur der Sonne

Instrumentelle Voraussetzung für das Experiment „Messung des Sonnendurchmessers“ sind ein Fernglas oder kleines Fernrohr mit Projektionsschirm zur Sonnenbeobachtung.

Die Sonne bewegt sich über den Himmel, zweimal im Jahr zu Frühlings- und Herbstbeginn auf einem Großkreis, dem Himmelsäquator, mit einer Winkelgeschwindigkeit von

$$360^\circ / 24^h = 15''/s$$

sonst mit einer Geschwindigkeit

$$v = \cos\delta \cdot 15''/s$$

wobei δ die Deklination ist; $|\delta| \leq 23,4^\circ$

Der Sonnendurchmesser SD wird dann in der Zeit t zurückgelegt

$$SD = v \cdot t = \cos\delta \cdot t \cdot 15''/s$$

Die Sonnendeklination δ erhält man aus einem Jahrbuch (Himmelskalender).

Jetzt kann die Zeit t durch Verfolgung des wandernden Projektionssonnenbildes gemessen werden. Das Sonnenbild sollte etwa 4 bis 10 cm im Durchmesser messen, etwa mit 8x30 Fernglas. Der Projektionsschirm wird mit einem Meßkreis versehen, etwas größer als das

5. Fortsetzung Referat: Die Sonne

Sonnenbild. Zur Messung wird das Sonnenbild (annähernd) in die Mitte des Meßkreises gebracht und wandert dann (evtl. Nachführung anhalten!) auf den Meßkreis zu. Man mißt nun die Zeit zwischen 3. Kontakt (Berührung des Meßkreises durch Sonne Innen) und 4. Kontakt (Berührung außen).

Dieser Versuchsaufbau ist recht genau, bei Meßgenauigkeit innerhalb einer Sekunde und einer Zeit t von etwa 130 sek bleibt der Fehler unter 20 Bogensekunden. Durch wiederholte Messungen, stabile Montierung und gute Optik (scharfes Sonnenbild) erreicht man sogar eine Genauigkeit von 1 Promille (lt. Lit. 13).

Es ergibt sich eine jahreszeitliche Schwankung etwa zwischen $31',5$ und $32',5$, ein verlässlicher Mittelwert ist ein Sonnendurchmesser von

$$SD = 32'$$

Dazu gehört die mittlere Entfernung Sonne-Erde, hier dürfen wir sie als eine astronomische Einheit bezeichnen, dann kann man den Sonnendurchmesser als

$$D = 1 \text{ AE} \sin SD = 1 / 107 \text{ AE}; \quad r = 1 / 214 \text{ AE}$$

ausdrücken.

In km ergeben sich damit die Werte

$$D = 1\,392\,500 \text{ km} \quad r = 696\,250 \text{ km}$$

2.2.4.1. Demonstration der Erdrotation, Bestimmung der Exzentrizität der Erdbahn

Die Sonne erscheint nur zu Zeiten des Auf- und Unterganges (bezüglich Objekten des Landschaftshorizonts) am Himmel merklich in Bewegung. Beim Höchststand der Sonne scheint sie bei flüchtiger Betrachtung ziemlich unbewegt.

Die Projektion des Sonnenbildes vergrößert den Sehwinkel beträchtlich, ein Sonnenbild von 9 cm ergibt in einer Entfernung von 25 cm einen Sehwinkel von 20° , Damit ist der Sehwinkel um das 40 fache vergrößert und entsprechend wächst die Winkelgeschwindigkeit der Sonne auf das Vierzigfache und beträgt jetzt $10'/s$. Dieser Wert ist eindeutig als Bewegung bemerkbar.

Die Messungen des Winkeldurchmessers der Sonne (die wie bereits erwähnt präzise Werte liefern) sind keineswegs konstant im Jahreslauf, sondern schwanken zwischen den Werten

$$SD_1 = 32'35''$$

$$SD_2 = 31'31''$$

wobei der erste Wert Anfang Jänner und der zweite Wert Anfang Juli erreicht wird.

Wenn man nun aus den Formeln

$$SD_1 = D / 1 \text{ AE} (1-e)$$

$$SD_2 = D / 1 \text{ AE} (1+e)$$

D Sonnendurchmesser

AE Astronom. Einheit

e Exzentrizität der Erdbahn

den Quotienten bildet, fallen Erdentfernung und Sonnendurchmesser weg und man erhält

$$SD_1 / SD_2 = (1 + e) / (1 - e)$$

für unsere Zwecke ist es ausreichend, weil e klein ist, anzugeben

$$SD_1/SD_2 = 1 + 2e$$

Aus den oben angeführten und gemessenen Werten ergibt sich

$$e = 0,017$$

2.2.4.2. Oberflächentemperatur

Zwischen der Sonne und der Erde findet keine Absorption der Strahlung statt, nur eine Abschwächung mit dem Quadrat der Entfernung. Beträgt die Leistung pro Quadratmeter Sonnenoberfläche L_0 , so ist ihre Gesamtleistung bei einem Radius r

$$L = 4 \pi r^2 L_0$$

und diese muß jede Kugelschale um die Sonne voll durchdringen; in der Entfernung R lautet diese Beziehung mit der dortigen Leistungsdichte L_R

$$L = 4 \pi R^2 L_R$$

und wir erhalten für das Verhältnis der Leistungsdichten

$$L_R / L_0 = r^2 / R^2 \quad \text{und daraus} \quad L_R = (r / R)^2 L_0$$

Mit dem vorhin erhaltenen Wert $r/R = 1/214$ für $R = 1 \text{ AE}$ ergibt sich, daß die Leistungsdichte auf der Sonnenoberfläche um $214^2 = 45\,800$ mal größer sein muß als auf der Erde.

Nach Boltzmann hat ein mit der Temperatur T_S (Kelvin) strahlender schwarzer Körper (ein solcher gibt alle produzierte Strahlung ab und nimmt auch alle auf ihn fallende Strahlung auf) die Strahlungsleistung L_S pro Quadratmeter

$$L_S = \sigma T_S^4, \quad \text{worin } \sigma \text{ die Boltzmann'sche Konstante zu } 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W / (m}^2 \text{ K}^4 \text{) bedeutet}$$

Werden nun die Leistungsdichten durch die Temperaturen T_0 der Sonnenoberfläche und T_R der Temperatur in Entfernung R ersetzt, so folgt

$$\sigma T_R^4 = \sigma T_0^4 (r / R)^2 \quad \text{oder}$$

$$T_0 = T_R \sqrt{(R / r)}; \quad \text{mit } R=1 \text{ AE folgt}$$

$$T_0 = T_R \sqrt{(1 / r)}; \quad r \text{ in AE}$$

Ohne Drehung wäre das die Temperatur eines senkrecht von der Sonne bestrahlten Flächenelements der Erdoberfläche. Diese hat bekanntlich die mittlere Jahrestemperatur $T_E = +14^\circ \text{ C} = 287 \text{ K}$.

Der Kugelquerschnitt ist nun $1/4$ der Erdoberfläche und für die drehende Erde gilt daher

$$\sigma T_R^4 / 4 = \sigma T_0^4 (r / R)^2$$

Daraus folgt schließlich

$$T_0 = 2 \cdot T_E / \sqrt{1 / r} \quad \text{und mit unseren Zahlen} \quad T_0 = 5\,940 \text{ K}$$

2.2.4.3. Die mittlere Dichte der Sonne

Aus dem dritten Keplerschen Gesetz folgt, daß sich für alle Planeten im Sonnensystem die Quadrate der Umlaufzeiten wie die dritten Potenzen der Sonnenentfernungen verhalten.

$$T^2 / R^3 = \text{const.}$$

Aus der Gleichheit von Fliehkraft und Anziehungskraft erkennt man sofort, daß

$$(r / R)^3 \cdot \rho \cdot T^2 = 3\pi / G$$

r ... Sonnenradius
 R ... Bahnradius
 T ... Umlaufzeit
 G ... Gravitationskonstante

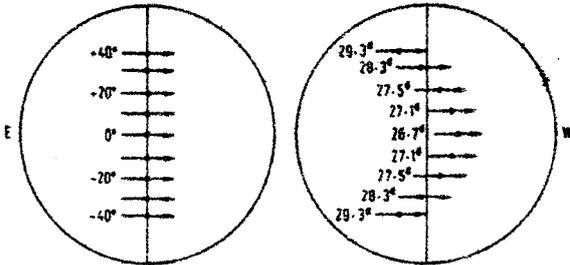
Aus dieser Beziehung folgt die mittlere Dichte ρ mit dem schon ermittelten Wert $r/R = 1/214$, der Jahreslänge $T = 3,16 \cdot 10^7 \text{ s}$ und der Gravitationskonstanten $G = 6,672 \cdot 10^{-11}$ zu

$$\rho = 1386 \text{ kg/cm}^3$$

7. Fortsetzung Referat: Die Sonne

2.2.5. Drehung

Die Rotation der Sonne ist seit der teleskopischen Sonnenbeobachtung bekannt. Sie zeigt sich in der Wanderung von Sonnenflecken über der Sonnenscheibe.



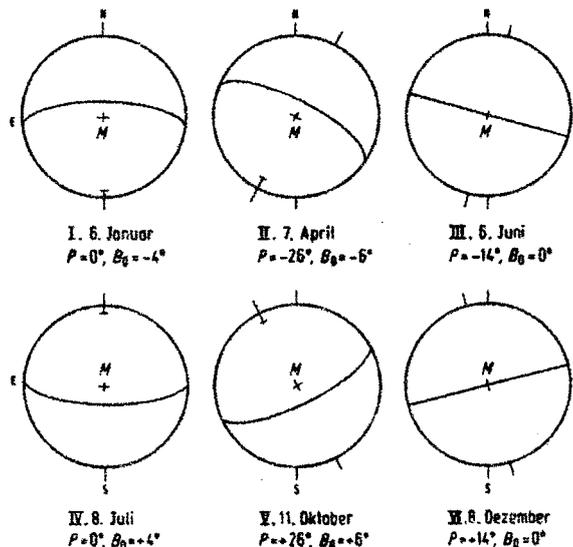
Diese Drehung ist aber keinesfalls starr, sondern für die verschiedenen heliografischen Breiten unterschiedlich und schwankt zwischen etwa 26 Tagen in der Nähe des Sonnenäquators und 34 Tagen in der Nähe der Pole. Diese *differentielle Rotation* ist Grundlage zum Verständnis der Sonnenaktivität. Nebestehende Abbildung aus Lit.10 zeigt ein „Wettrennen“ von Flecken verschiedener Breite auf der Sonne.

2.2.5.1. Positionsbestimmung auf der Sonne

Prinzipiell können die Rotations-elemente der Sonne mit zwei unterschiedlichen Methoden ermittelt werden. Durch Messungen von Oberflächenerscheinungen, wie Flecke, Fackeln oder Protuberanzen oder aber durch spektroskopische Messungen (Dopplereffekt der Fraunhoferlinien des Sonnenrandes). Für den Amateur wird meist nur die erste Methode angewandt.

Die Neigung des Sonnenäquators erzeugt von der Erde aus gesehen Ellipsenbahnen. An den Tagen, wo die Erde durch die Knotenlinie geht (um den 6. Juni und 8. Dezember), wird die Bahn zur Geraden.

Versucht man die Rotation der Sonne durch Beobachtung von Fleckengruppen zu messen, so erkennt man, daß Ende Mai/Juni und November/Dezember die Bewegungsrichtung der Flecken Gerade sind, ein Vierteljahr später dagegen Bögen. Der Grund ist die Lage der Sonnenachse zum Beobachter, kann bis zu $7,25^\circ$ von der Ekliptik abweichen.



Koordinaten eines Sonnenflecks

Die Vermessung von Strukturen auf der Sonne wird zweckmäßigerweise in Projektion durchgeführt. Achtung auf rechtwinkelige Lage des Schirms zur Projektionseinrichtung! Ein Schmalfilmprojektor-Objektiv statt dem Okular ergibt kaum Bildverzerrung; sie kann aber trotzdem berücksichtigt werden (Lit.7). Aus dem gemessenen Durchmesser des Sonnenbildes folgt sein Radius R .

Beobachtung

Man projiziert die Sonne in einem Kreis, der völlig ausgefüllt wird. Dann wird die Nachführung ausgeschaltet, man markiert die Schnittpunkte des Kreises mit dem Sonnenbild und

8. Fortsetzung Referat: Die Sonne

erhält als Verbindungsgerade die N-S-Orientierung des Sonnenbildes. Dann wird die Nachführung wieder eingeschaltet und die Flecken mit Bleistift markiert. Jetzt können sie sehr einfach mit einem Geodreieck vermessen werden. Rechtwinkeliges Koordinatensystem mit Ursprung in der Mitte des Sonnenbildes, x positiv nach Westen, y positiv nach Norden. Einheiten: Die gleichen wie beim Radius des Sonnenbildes (mm).

Berechnung

Aus einem Jahrbuch (Himmelskalender) werden für den Beobachtungszeitraum interpoliert

- P_0 Positionswinkel des Sonnennordpols (von N über O, S, W bis N)
- B_0 Heliografische Breite der Scheibenmitte
- L_0 Heliografische Länge der Scheibenmitte (Zentralmeridian)

Nun sind die Polarkoordinaten der Struktur aus x und y zu berechnen

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad \vartheta^* = \arctan y/x$$

$$\vartheta = \vartheta^* - P_0 \quad \rho = \arcsin (r / R) .$$

Damit werden die heliographische Länge L und Breite B berechnet

$$B = \arcsin (\cos \rho \sin B_0 + \sin \rho \cos B_0 \sin \vartheta) ,$$

$$l = \arcsin (\cos \vartheta \sin \rho / \cos B) ,$$

$$L = L_0 + l .$$

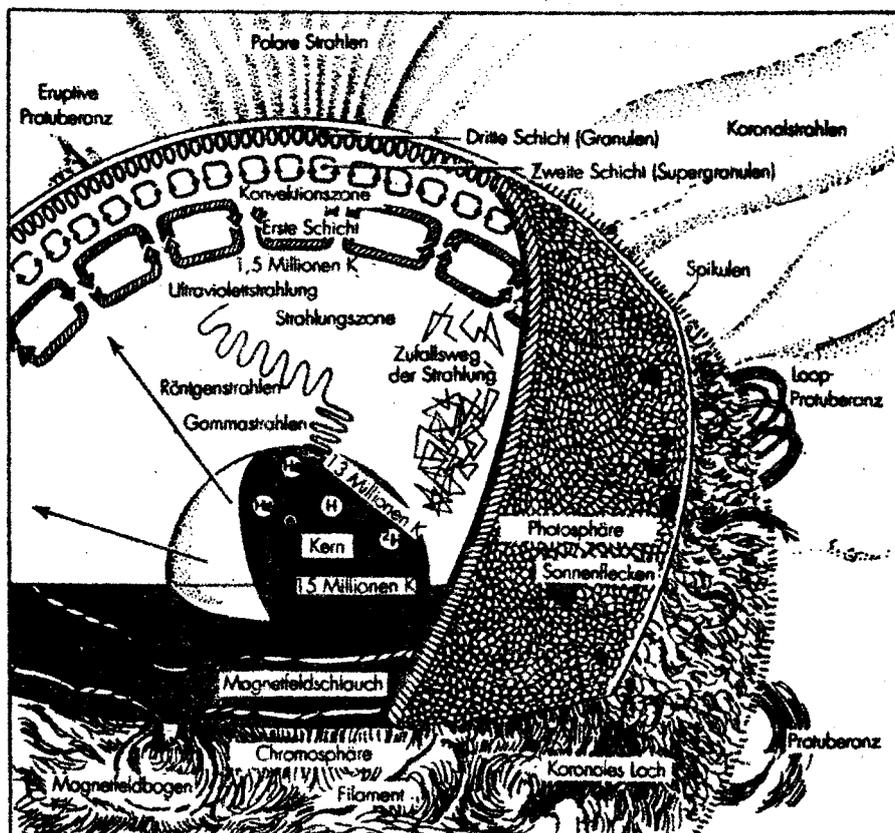
Beispiel: 1949 10 07, 8^h 30 MEZ, Beobachtung der Maximumsonne von 3. Fortsetzung, Pfeil weist auf den vermessenen kleinen Fleck, Radius des Sonnenbildes $R = 75 \text{ mm}$.

$P_0 = 26,3^\circ$,	$x = + 13 \text{ mm}$	$\rho = 35,9^\circ$	$B = 30,9^\circ$,
$B_0 = 6,4^\circ$,	$y = + 42 \text{ mm}$	$\vartheta^* = 72,8^\circ$	$l = 28,1^\circ$
$L_0 = 253,9^\circ$	$r = 44 \text{ mm}$	$\vartheta = 46,5^\circ$	$L = 282,0^\circ$.

2.3. Aufbau und Energieproduktion

2.3.1. Aufbau des Sterns Sonne

Abb. aus Lit.3



9. Fortsetzung Referat: Die Sonne

Der Stern Sonne besteht aus einem Kern, (23 % des Sonnenradius, $15\,000\,000^{\circ}$ mit großer Dichte zu 100 g/cm^3 und 40% der Sonnenmasse). Das ist der Ort der Energieerzeugung, aus 4 Atomen Wasserstoff wird ein Atom Helium erzeugt und dabei etwa 1% der Masse in hochenergetische Strahlung verwandelt.

Es folgt dann die Strahlungszone, eine Art „Sonnenmantel“, wo die Strahlung langsam zur Sonnenoberfläche wandert. Ein Lichtteilchen braucht rund $10\,000\,000$ Jahre um vom Inneren zur Sonnenoberfläche zu gelangen, die oberste Schicht heißt Konvektionszone und ist als Granulation der Photosphäre sichtbar.

Über der Photosphäre liegen die äußerst interessanten Atmosphärenschichten. Die unterste Schicht heißt Chromosphäre (Farbschicht), weil nur in bestimmten Farben (etwa $H\alpha$) beobachtet werden kann. Die Materie wird dort extrem dünn, die Teilchen können sich sehr rasch bewegen und es steigt die Temperatur.

Der Strahlenkranz um die Sonne heißt Korona mit Temperaturen von bis zu 2 Millionen Grad.

2.3.2. Die aktive Sonne

Die Sonnenaktivität zeigt sich an einer Reihe verschiedener Phänomene in der Photosphäre, Chromosphäre und Korona: Neben den bekannten Sonnenflecken sind dies photosphärische Fackelgebiete, chromosphärische Fackeln (Plages), Sonneneruptionen (Flares), Protuberanzen und Filamente, koronale Kondensationen, Anstieg der Strahlung im UV-, Röntgen und Radiobereich des Sonnenspektrums, Bewegungen und Auswürfe von Sonnenplasma und Beschleunigung rascher Elektronen und Protonen. Diese Phänomene stehen miteinander in Verbindung und sind auf bestimmte Gebiete aus der Sonne konzentriert (Aktivitätsgebiet).

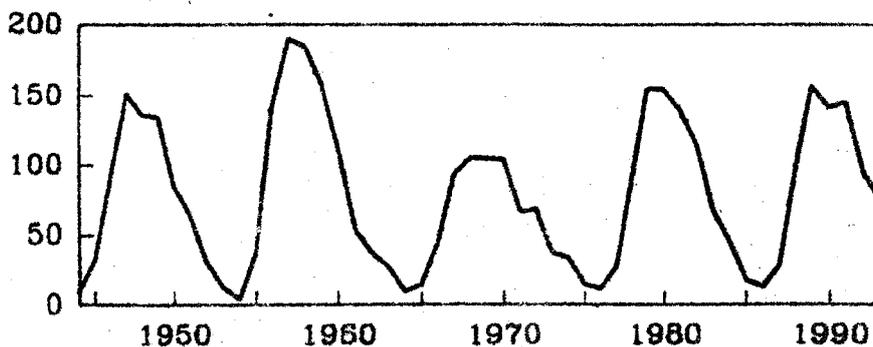
Ein Aktivitätsgebiet zeichnet sich durch ein verstärktes Magnetfeld aus, Lebensdauer einige Wochen bis einige Monate, die Anzahl der aktiven Regionen ändert sich periodisch über einen Zeitraum von etwa 11 Jahren.

Am einfachsten ist die Bestimmung der Sonnenfleckenrelativzahlen, eine durch Wolf 1848 willkürlich eingeführte Maßzahl, definiert durch

$$R = k(f + 10g)$$

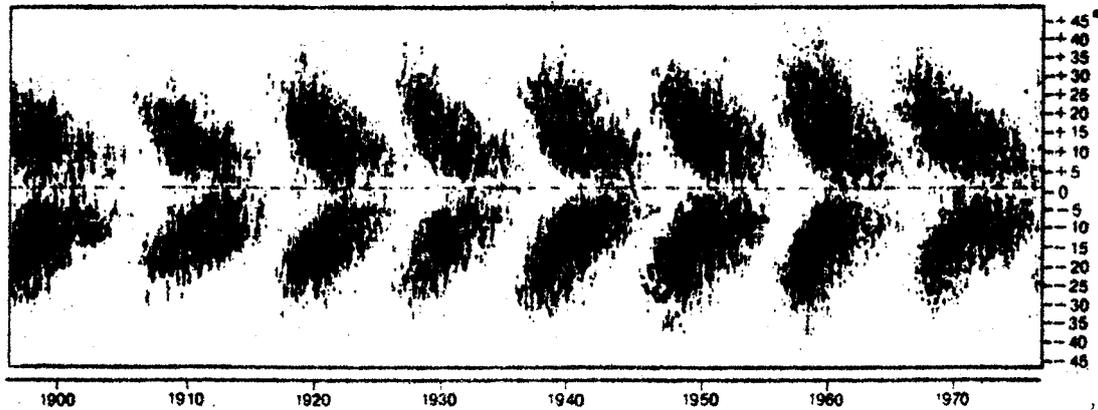
wobei R die Relativzahl, k ein Faktor abhängig von Fernrohr, Beobachter und Beobachtungsbedingungen, f die Zahl der sichtbaren Flecken und g die Zahl der Fleckengruppen. Die Anwendung dieser so definierten Züricher Sonnenfleckenrelativzahl wird bis heute durchgeführt. Es zeigte sich daß andere Methoden, wie die Messung der Fleckenfläche zu den gleichen Resultaten führen. Die Güte der Beobachtung hängt aber von der Anzahl der Beobachter ab und diese klassische Messung der Relativzahl stellt keine besonderen Ansprüche an Instrumente.

Die Veränderung dieser Maßzahl im Laufe der Jahrzehnte zeigt die folgende Abbildung aus Lit.6. Man erkennt unschwer neben der Veränderung in Höhe (=Anzahl der Sonnenflecken) auch eine Veränderung in Breite (=Länge eines Sonnenfleckenzyklus). Dieses Bild wurde aus Beobachtungsserien des Sonnenobservatoriums Kanzelhöhe gewonnen.



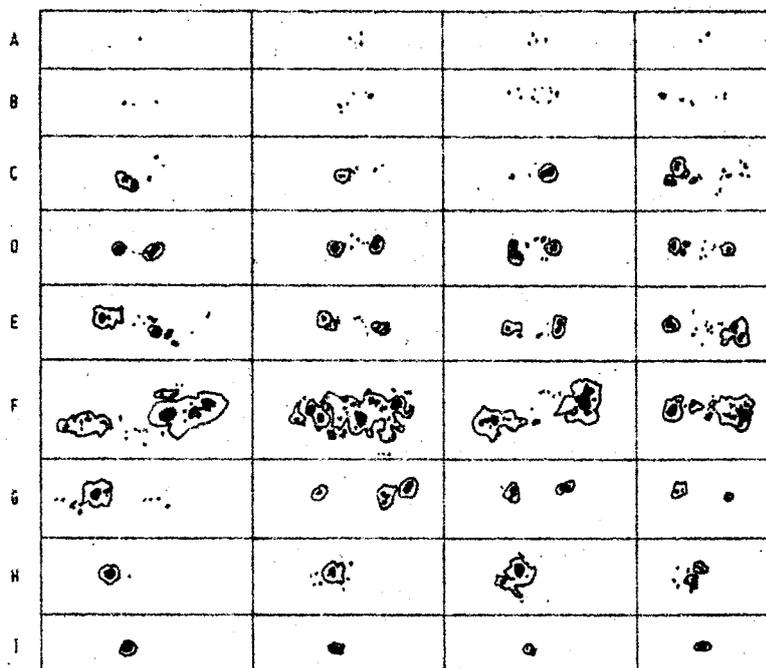
10. Fortsetzung Referat: Die Sonne

Interessanterweise ändert sich im Laufe eines Fleckenzklus auch die Position der aktiven Regionen auf der Sonnenscheibe. Die folgende Abbildung aus Lit.9 zeigt das berühmte Schmetterlingsdiagramm. Die ersten Flecken eines neuen Zyklus erscheinen in hohen heliographischen Breiten von 40° und mehr, bei Erreichen des Fleckenmaximums beträgt die mittlere Breite der Flecken um 15° und gegen Ende des Fleckenzklus erscheinen die letzten Flecken in Äquatornähe.



Das Erscheinungsbild der Sonnenflecken ändert sich. Es gibt mehrere Methoden der Klassifikation von Flecken, die üblichste ist die Zürich-Klassifikation. Diese Klasseneinteilung ist gleichzeitig ein Entwicklungsschema, eine voll entwickelte Fleckengruppe durchläuft die Klassen A-B-C-D-E-F-G-H-J-A. Die Fleckenklasse F ist dabei die maximale Entwicklungsphase. (Abb. aus Lit.7) .

- A: einzelner Fleck oder Anhäufung von Flecken ohne Penumbra, ohne bipolare Struktur
- B: Gruppe von Flecken ohne Penumbra in bipolarer Anordnung
- C: bipolare Gruppe, einer der Flecken mit Penumbra
- D: bipolare Gruppe, beide Flecken mit Penumbra, mindestens einer mit Struktur, Länge etwa 10°
- E: große, bipolare Gruppe, beide Hauptflecken mit komplizierter Struktur, zwischen den beiden Flecken zahlreiche kleine Flecken, Länge mehr als 10°
- F: sehr, große bipolare Gruppe, Länge mehr als 15°
- G: große, bipolare Gruppe ohne kleinere Flecke zwischen den Hauptflecken, Länge mehr als 10°
- H: unipolarer Fleck mit Penumbra, Durchmesser mehr als $2,5^\circ$
- J: unipolarer Fleck mit Penumbra, Durchmesser weniger als $2,5^\circ$



0° 10° 20° 30°

Nach M. Waldmeier

11. Fortsetzung Referat: Die Sonne

2.3.3. Spektrum

Strahlung ist die einzige Information, die die Astronomen von den Sternen erhalten, es ist auch die wichtigste Information von der Sonne.

In der Natur sieht man das Sonnenspektrum als Regenbogen, woraus sich bereits Rückschlüsse auf die Zusammensetzung des Sonnenlichts gewinnen lassen. 1802 bemerkte Wollaston 4 dunkle Linien, „Farben ohne Licht“ im Sonnenspektrum, Fraunhofer konnte bereits 547 Linien vermessen. Es dauerte aber noch bis 1859 bis der Ursprung der Strahlung und der dunklen Linien durch Kirchhoff und Bunsen erklärt wurden.

Das Spektrum der Sonne besteht ist ein Farbenband, es besteht aus dem Kontinuum und den Fraunhoferschen Linien. Diese Linien werden im untersten Teil der *Chromosphäre* erzeugt, sind also Teile der Sonnenatmosphäre.

Strahlendes Gas, wie es in der Sonnenoberfläche vorkommt, sendet Licht in bestimmten Wellenlängen (=Farben) aus. „Strahlen“ bedeutet: innerhalb eines Atoms springt ein Elektron von einem höheren Energieniveau in ein niedrigeres und gibt daher Energie ab. Ebenso kann im Atom ein Elektron von einem niedrigen in ein höheres Energieniveau wechseln und dabei Energie absorbieren, dann fehlt Strahlung dieser speziellen Wellenlänge und wir beobachten eine dunkle Linie.

Aus dem von Stefan und Boltzmann gefundenen Strahlungsgesetz über alle Wellenlängen folgt eine Proportionalität der Gesamtstrahlung (E) zur vierten Potenz der Temperatur (T):

$$E = \sigma T^4 \quad \sigma \text{ Stefan-Boltzmann'sche Konst. } 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W / (m}^2 \text{ K}^4)$$

und damit wird die *effektive Temperatur* der Sonnenoberfläche zu 5780° berechnet.

Einen Überblick über das Sonnenspektrum mit den wichtigsten Linien zeigt die nächste Seite, Gratiskurztext der Uraniasternwarte .

2.3.3.1. Natrium in der Sonnenatmosphäre

Mit einem Spaltspektroskop wird das Sonnenspektrum (es genügt auch das Taghimmelslicht) betrachtet; es zeigen sich die wichtigsten Fraunhofer'schen Linien. Dann wird mit einer Propoangasflamme vor dem Spektroskopspalt Kochsalz verdampft. Das Natrium im Kochsalz färbt die Flamme intensiv gelb und im Spektrum erscheint eine gelbe Doppellinie, die sich mit einer dunklen im Sonnenspektrum deckt:

Natrium in Emission (Brenner) -

Natrium in Absorption (Sonnenatmosphäre).

Dieser Versuch wird den Besuchern auf der Uraniasternwarte gerne vorgeführt.

3. Sonne und Erde

Alle Auswirkungen der Sonne auf die Erde, die ihren Ursprung in der Sonnenaktivität haben, nennt man *solar-terrestrische Beziehungen*. Dazu gehören Schwankungen des Erdmagnetfelds, die Polarlichter und der Ionisationsgrad der Ionosphäre.

Die *Intensität des erdmagnetischen Feldes* schwankt mit dem Aktivitätszyklus der Sonne und außerdem mit der Sonnenrotation in einem Zyklus von 27 Tagen.

Der *Ionisationsgrad der Ionosphäre* (F-Schicht) bestimmt die Grenzfrequenz im Rundfunkverkehr. Die Grenzfrequenz ist die höchste Radiofrequenz die (bei senkrechter Einstrahlung) gerade noch reflektiert wird Höhere Frequenzen werden dann nicht mehr reflektiert. Diese Grenzfrequenz ändert sich mit dem Fleckenzklus, in Zeiten hoher Fleckentätigkeit kann mit höheren Frequenzen gearbeitet werden.

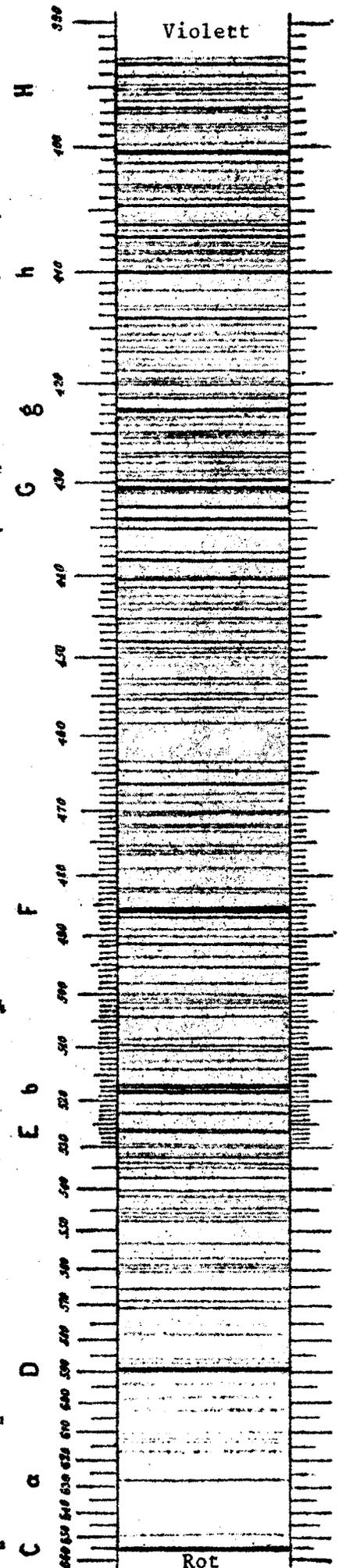
Es ist schwer zu sagen, ob eine totale Sonnenfinsternis oder eine Nacht voller *Polarlichter* eindrucksvoller ist. Innerhalb weniger Minuten bilden sich Bögen und Bänder aus weißlichem, rötlichen, grünem und blauen Licht am Himmel, so dünn, daß die Sterne dahinter durchscheinen. Die Polarlichter erscheinen in Höhen von etwa 110 km, die Lichtstrahlen sind

Das folgende Verzeichnis gibt die Wellenlängen in nm; die geschätzte Intensität, wobei die der C-Linie = 10; Bemerkungen: v. verwaschen, v.v. sehr verwaschen, n.r. nach rot, n.bl. nach blau, dupl. doppelt. C, D, E, F, G Fraunhofer'sche Linien.- Nach Plassmann, Handbuch "Hevelius", p.273 bis 275, Ferd.Dümmler, Berlin 1922.

Wiener Urania Sternwarte, Prof.H.Mucke

Wellenlänge	Beschreibung		Wellenlänge	Beschreibung		Wellenlänge	Beschreibung	
	Int.	Bemerkungen		Int.	Bemerkungen		Int.	Bemerkungen
656.2	10		598.0	1	dupl.	568.4	2	
651.6	1		594.5	1.5	dupl.	565.8	2	
649.5	2		589.5	4	} sehr eng D	563.9	1	sehr schwach
627.6	3		588.9	5		562.4	1.5	
616.5	1.5	dupl.	585.6	1		561.4	2.5	
613.8	1		578.3	1.5	v. n. r.	559.9	2.5	} dunkler Zwischenraum
612.1	1		576.2	1		558.7	2.5	
610.1	1		575.3	1		552.8	2	
601.8	1	dupl. v.	570.7	2		547.6	2.5	

Wellenlänge	Beschreibung		Wellenlänge	Beschreibung		Wellenlänge	Beschreibung	
	Int.	Bemerkungen		Int.	Bemerkungen		Int.	Bemerkungen
546.2	1.5		472.9	2	dupl.	423.5	2	
545.5	1.5		471.4	1.5		423.3	3	
544.5	2		470.8	2		422.6	17	
543.2	1		470.2	2	dupl. f	421.6	5	
542.9	1		469.0	1		421.0	2	
542.4	1		467.9	1.5		420.2	4	
540.4	3		466.6	7		419.8	4	
537.0	4		465.5	2		419.5	3	
535.1	1		464.7	3		419.1	1.5	
534.0	2		463.5	1		418.7	4	
532.5	5		460.1	1	} breiter verw. Streifen	418.3	2	dupl.
529.9	2	dupl. f	459.0	1			417.8	2
528.2	1		458.4	2		417.2	4	
526.9	4		458.1	2		416.7	2	
526.4	4		457.1	2.5		416.1	1	} verw. Streifen
523.2	1		456.4	2.5		415.6	1	
522.6	4		455.4	2.5		415.3	2	
521.5	1		454.9	2.5		414.9	1	
520.5	2	dupl. f	453.4	3	} dunkler Zwischenraum	414.3	9	
519.0	1		452.8	4			413.4	5
518.3	8		451.3	1		413.1	5	
517.2	5		450.0	2		412.6	1	dupl.
516.7	5		449.4	2		412.2	1	dupl.
514.0	1	v. v. n. r.	449.0	2		411.8	4	
512.4	1	v.	448.2	5		411.0	1	} breiter verw. Streifen
510.8	1		446.9	1.5		410.1	20	
509.8	2.5		445.9	3	} dunkler Zwischenraum	410.1	20	
508.0	2.5	} dunkler Zwischenraum	445.4	4			409.6	1
506.4	1.5			444.2	2		409.1	2
505.0	1	v.	443.5	2.5		408.5	3	dupl. v.
504.1	4		443.0	1		407.8	4	dupl. v.
503.5	2		442.6	1		407.1	10	
502.7	1		442.2	1		406.7	3	
501.7	1		441.5	4		406.3	12	
501.2	1		440.4	6		405.7	3	
500.6	1		440.2	2		405.5	1.5	
500.1	1		438.4	10		405.2	1.5	
498.3	3.5		437.5	2.5		404.5	18	
496.8	1	v. v.	436.8	1		404.0	2	
495.7	4		435.9	1		403.4	2.5	
493.8	2		435.2	5		403.2	2.5	
493.3	1		434.0	10	} dunkler Zwischenraum H _γ	403.0	3.5	
491.9	5		433.7	3			402.0	2
491.0	1		432.5	6		401.3	3	
490.3	1		432.3	4		400.5	8	dupl. f
489.0	4	v. n. bl.	431.2	4		399.7	4	v. n. bl.
487.1	2.5		431.2	4	} dunkler Zwischenraum G	398.6	3	
486.0	15		430.7	6			398.2	2
483.9	1	v. dupl. f	429.8	5		397.2	6	} dunkle Zwischenräume H ₁
483.0	1		428.9	4		396.7	15	
482.3	2		428.6	2		396.1	4	
480.3	1		428.0	2		395.6	4	
479.9	1.5		427.5	3		395.2	6	
478.7	2	dupl. v.	427.1	5		394.7	4	
477.2	1		426.0	4		394.3	12	
476.4	3	dupl.	425.4	2		393.3		} dunkler Zwischenraum H ₂
475.5	1.5		425.0	3	dupl.	392.9	6	
473.6	1		424.3	1.5				

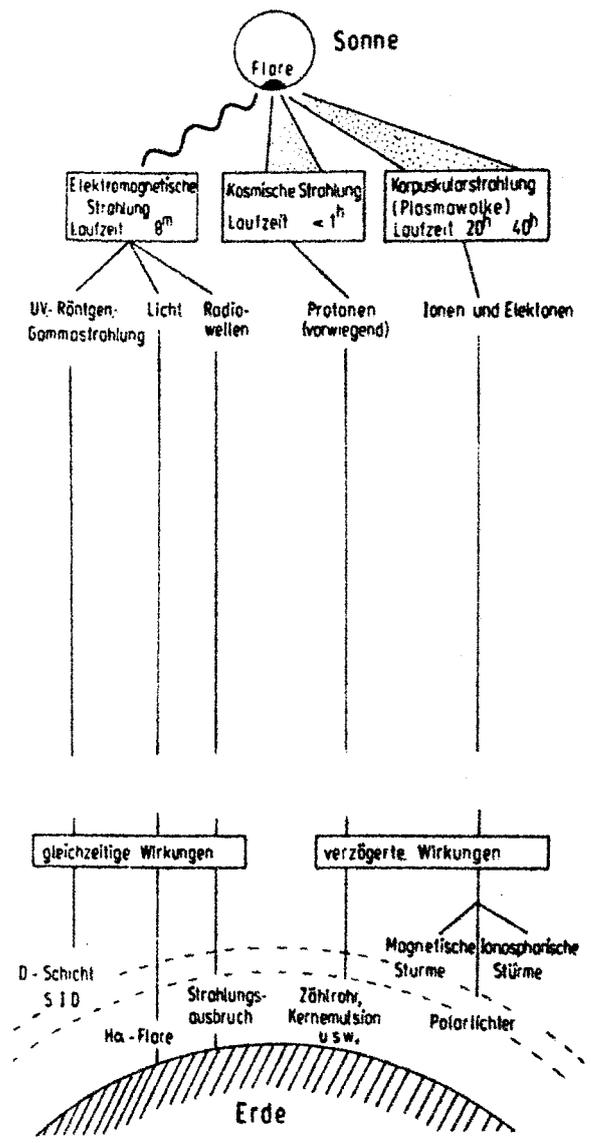
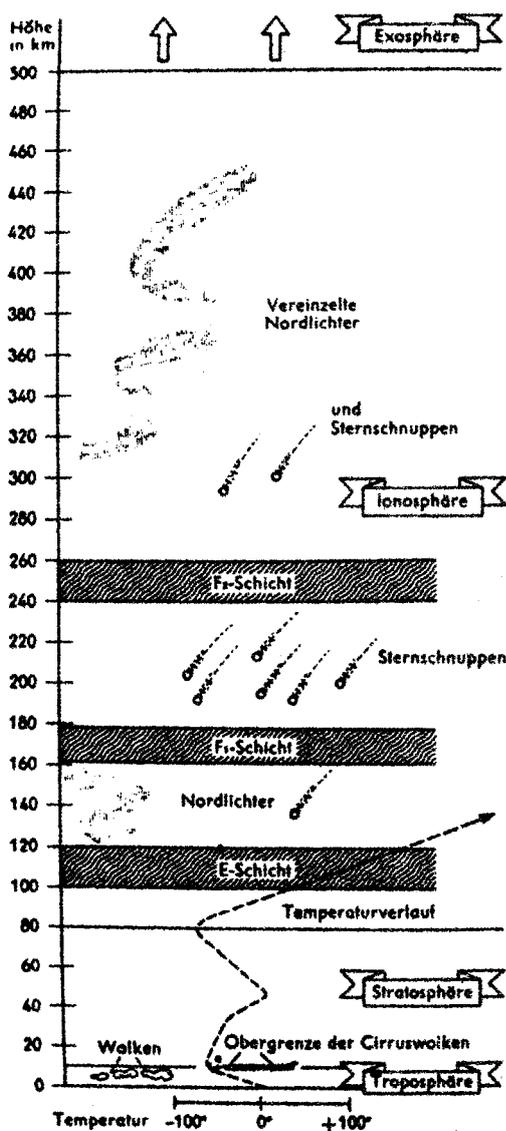


13. Fortsetzung Referat: Die Sonne

durchschnittlich 90 bis 140 km lang. Die größte Polarlichthäufigkeit ist innerhalb eines ovalen Gürtels in der Nahe des Magnetpols, aber der „Polarlichtpol“ ist 3000 km vom Magnetpol entfernt. Polarlichter bei Tag sind unsichtbar, können aber mit Hilfe der Radartechnik gemessen werden.

Die auffälligsten solar terrestrischen Beziehungen sind die Folgewirkungen von *Flares*. Es gibt gleichzeitige Wirkungen, ausgehend von der Emission elektromagnetischer Strahlung (EUV-, Röntgen-, Gammastrahlung), zeitlich verzögerte Wirkungen durch solare kosmische Strahlung (Laufzeit etwa 1^h) und durch Partikelstrahlung (Laufzeit 20^h bis 40^h).

Folgende Abb. zeigen den Aufbau der Erdatmosphäre und die Auswirkungen von Flares auf die Erde (Lit.7).



4. Beobachtung der Sonne

4.1. Sonnenbeobachtung für Amateure und Volkssternwarten

Eine ausführliche Beschreibung der Möglichkeiten zur Sonnenbeobachtung für den Amateurastronomen findet sich in Lit.1.

Die Beobachtung der Sonne ist ein sehr dankbares Gebiet für Amateure, wenngleich sie ganz andere Voraussetzungen wie die „Nachtastronomie“ hat. Nicht die Instrumentengröße (das Vermögen Licht zu sammeln) ist in der Sonnenbeobachtung wichtig, jedoch die Auflösung.. Ein Refraktor eignet sich besser zu Beobachtung, ein kleines Instrument mit etwa 60 mm Durchmesser ist zur Beobachtung von Flecken und Fackeln im allgemeinen ausreichend, bei einem Objektivdurchmesser von etwa 12 bis 15 cm ist bereits die Granulation zu beobachten und dabei liegt auch die sinnvolle maximale Instrumentengröße. Günstig bei Berücksichtigung des wesentlich schlechteren seeing ist ein Fernrohr mit kleineren Öffnungsverhältnis zwischen 1:10 bis 1:100.

Mit guten Zusatzgeräten läßt sich jedes, auch ein kleineres Fernrohr für Sonnenbeobachtung umrüsten, besonders in der Bildungsarbeit ist die Beobachtung bei Tag ein zusätzlicher Vorteil.

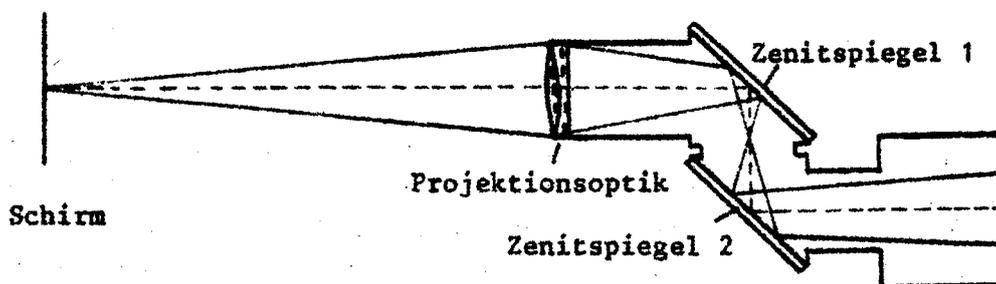
Von der Verwendung von kleinen Okularsonnenfiltern wird wegen der großen Hitzeentwicklung und Gefahr des Zerspringens abgeraten.

4.1.1. Sonnenbeobachtung im sichtbaren Licht

Eine ausgezeichnete Möglichkeit die Sonne zu beobachten, ist die Projektionsmethode. Ein Projektionsschirm ist einfach selbst herzustellen, das erzeugte Bild steht allen Beobachtern zu gleichen Zeit zur Verfügung und kann jederzeit gezeichnet oder fotografiert werden.

Auf der Uraniasternwarte ist ein optisches Gelenk aus zwei Zenitspiegeln und einem Projektionsobjektiv (zwischen 80 und 150 mm Brennweite) im Einsatz. Ein Sonnenbild, 15cm bis 100cm groß, wird auf die magnetische Projektionsfläche geworfen, die neben dem Kuppelspaltmontiert ist und daher immer im Schatten liegt.

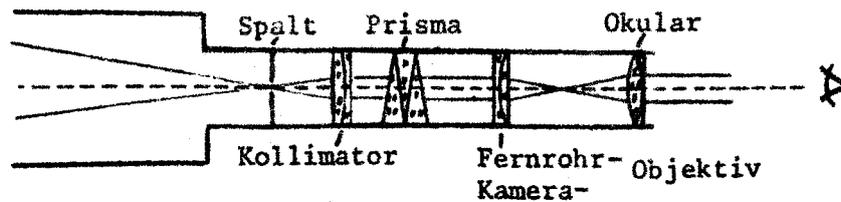
Die Abbildungen, sowie eine genauere Beschreibung der Geräte der Uraniasternwarte finden sich in Lit.7.



4.1.2. Das Spektrum der Sonne

Die meisten Erkenntnisse über die Sonne stammen genauso wie die allermeisten Erkenntnisse über Sterne aus der Beobachtung des Spektrums. Ist für den Amateur die Beobachtung von Sternspektren wegen der geringen Lichtmenge eher schwierig, so ist ein Sonnenspektrum aber sehr leicht zu erzeugen. Ein einfaches Spaltspektroskop zeigt das Kontinuum des Sonnenlichts mit den wichtigsten Fraunhoferschen Linien.

Mit einem Spaltspektroskop können neben der Sonnenbeobachtung auch die Spektren künstlicher Lichtquellen, wie Quecksilber- und Natriumdampflampen beobachtet werden.

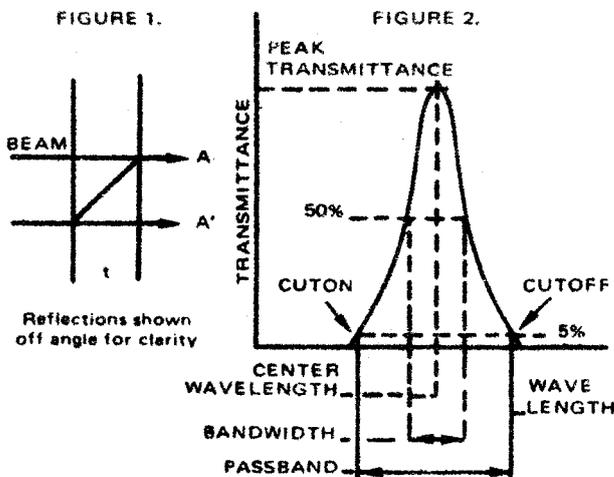


4.1.3. Beobachtung im H α -Licht

Die Fraunhoferlinie C (H α bei 656,3nm) ist im kleinen Spektroskop als deutliche rote Linie zu erkennen. Das Licht innerhalb dieser Linie stammt aus der Chromosphäre, dem innersten Teil der Sonnenatmosphäre, der erstmalig 1868 von Lockyer und Frankland während einer totalen Sonnenfinsternis am 18. August beschrieben und definiert wurde.

Mit geeigneten Geräten gelingt es ausschließlich die Strahlung innerhalb der Spektrallinie herauszufiltern und damit ein Chromosphärenbild zu erzeugen. Auf der Uraniasternwarte ist ein Filter mit einer Durchlaßbreite von 0,08 nm im Einsatz. Der Funktionsweise nach handelt

es sich um ein „Multilayer Interference Filter“. Zwei teil-reflektierende, durch Luftspalt t getrennte Schichten bewirken an durchgehendem Licht Interferenz. Die Wellenzüge A und A' verstärken sich für $2t = n\lambda$, sonst kommt es zu Auslöschung. Durch viele solcher Schichten neben Breitbandfilter wird ein sehr schmaler Wellenbereich durchgelassen (Lit.7).



Die Beobachtung der Sonnenatmosphäre zeigt auch bei mäßigen Beobachtungsbedingungen Protuberanzen, Flecken wie in der Photosphäre, Flares und Fackeln sehr viel deutlicher, sowie bei guten Bedingungen die Supergranulation und Filamente. Bei Vergrößerungen ab etwa 120-fach sind die Spikulen deutlich sichtbar, die dem Sonnenrand ein „gesägtes“ Aussehen verleihen.

4.2. Sonnenbeobachtung in Österreich - Das Sonnenobservatorium Kanzelhöhe der Universität Graz

Weil die Aktivität der Sonne die Ionosphäre und damit die Ausbreitung von Funkwellen beeinflusst, errichtete die ehemalige Deutsche Luftwaffe während des zweiten Weltkrieges mehrere Sonnenobservatorien. Das größte dieser Institute nahm 1943 auf der Kanzelhöhe bei Villach den Betrieb auf. Zweck des Sonnenobservatoriums ist besonders eine lückenlose Überwachung aller Erscheinungen und eine sorgfältige statistische Auswertung sowie eigenständige Forschungsaufgaben. Nach der Fertigstellung des Kanzelhöhe Vakuum Teleskops können auch hochmoderne spektroskopische Untersuchungen durchgeführt werden.

16. Fortsetzung Referat: Die Sonne

Die routinemäßige Sonnenbeobachtung im optischen Spektralbereich umfaßt das Zeichnen der Sonnenflecken im 25 cm Projektionsbild und Bestimmen der Fleckenrelativzahl, Aufnahmen der Photosphäre zur genauen Positionsbestimmung und Katalogisierung der Sonnenflecken, Sonnenbeobachtung im H_{α} -Licht und Flareüberwachung. Das Überwachungsinstrument besteht aus drei Linsenfernrohren. Ein Fernrohr für die Sonnenprojektion zur Anfertigung der Zeichnungen, eines für die Überwachungskamera und eines zur Beobachtung und Fotografie im H_{α} -Licht. Das Kanzelhöhen Vakuumteleskop ist ein 40cm Spiegelfernrohr, Brennweite 26 m, mit angebauten Vakuumspektrograph (Brennweite 10m). Lichtempfänger sind CCD's, die Bilder werden im Computer weiterverarbeitet. (Lit.6).

5. Zusammenfassung

Die Sonne ist *Zentralgestirn des Planetensystems* und auch ein klassisches Wandelgestirn. Die scheinbare Sonnenbewegung zeigt uns die Besonderheiten der Erdbewegungen, sowie die Gesetze der Himmelsmechanik. Das Wandelgestirn Sonne erklärt uns den Wechsel der Tages- und Jahreszeiten. Die Sonne ist für sämtliche Bewegungsabläufe im Planetensystem „verantwortlich“, konzentriert sich doch über 99,8% der Gesamtmasse des Sonnensystems in der Sonne.

Die Sonne ist aber auch ein typischer Fixstern, mit *allen Zustandsgrößen* (Leuchtkraft, Spektrum, Radius, Masse, Temperatur, Rotation, Magnetfeld, Chemische Zusammensetzung) im mittleren Bereich. Außerdem ist die Sonne der *einzig*e Stern, dessen Oberfläche wegen seiner Nähe direkt untersucht werden kann. Nicht zuletzt ist mit der Sonne eine ausgesprochen interessante *Forschungsgeschichte* verbunden, die Beobachtung der Sonne spielt in Geschichte, Philosophie, Wissenschaft, Kunst (bsp. Sonnenuhren) und Kultur eine unüberschätzbare Rolle.

6. Literatur

1. Beck, Hilbrecht, Reinsch, Völker/HANDBUCH FÜR SONNENBEOBACHTER, Berlin 1982
2. Gingerich, Tresch-Fienberg/LABORATORY EXERCISES IN ASTRONOMY - THE ROTATION OF THE SUN, Sky and Telescope 1982
3. Gribbin/UNSERE SONNE - EIN RÄTSELHAFTER STERN?, Basel, 1992
4. Hanslmeier/DIE TURBULENTE SONNENOBERSFLÄCHE, /Der Sternbote, Wien, 1992/8
5. Haupt/WIE „KONSTANT“ IST DIE SOLARKONSTANTE, Der Sternbote, Wien, 1992/8
6. Haupt/DAS SONNENOBSERVATORIUM KANZELHÖHE DER UNIVERSITÄT GRAZ, Der Sternbote, Wien, 1994/2
7. Mucke/12. Sternfreundeseminar 1984/DIE SONNE, Wien 1984
8. Mucke/4. Sternfreundeseminar 1976/FERNROHRE UND IHR GEBRAUCH, Wien 1976
9. Nicolson/DIE SONNE, Freiburg, 1982
10. Roth / HANDBUCH FÜR STERNFREUNDE, Berlin, 1989
11. Scheffler, Elsässer / PHYSIK DER STERNE UND DER SONNE, 1974
12. Schlosser, Schmidt-Kaler/ASTRONOMISCHE MUSTERVERSUCHE FÜR DIE SEKUNDARSTUFE II, Frankfurt, 1991
13. Schlosser/DREI MINUTEN INSTANT ASTRONOMIE, Der Durchmesser der Sonne als Schlüsselwert in der Schulastronomie, Sterne und Weltraum 7/87 bis 4/88
14. Waldmeier/ERGEBNISSE UND PROBLEME DER SONNENFORSCHUNG, Leipzig 1955
15. Wolf/HANDBUCH DER ASTRONOMIE, Leipzig 1890
16. Zimmermann/ASTRONOMISCHES PRAKTIKUM I, Mannheim, Neudruck 1977

Renate Weiland
Schwendergasse 45/19
A-1150 Wien

Hinweise: Weiterführende Literatur zu Sonnenuhren

- * Seminarpapiere 1991 "SONNENUHREN". Erhältlich vom Astronomischen Büro, Hasenwartgasse 32, A-1238 Wien, Tel.0222 - 889 35 41. S 215.-
- 1 - 2 Titelseite; Inhaltsverzeichnis. 19 Jahre Österreichische Sternfreunde-Seminare zur Weiterbildung der Amateure.
- 3 - 16 Ausgewählte Literatur zu Sonnenuhren samt Computerprogrammen zur Berechnung und Zeichnung von Sonnenuhren-Lineaturen (Prof.Hermann Mucke, Wien). Weitere Angaben in den einzelnen Referaten.
- 17 - 28 Aus der Geschichte der Sonnenuhren (Renate Weiland, Wien).
- 29 - 48 Astronomische Grundlagen der Sonnenuhren (Prof.Hermann Mucke, Wien).
- 49 - 76 Sonnenuhren und himmelskundliche Bildung (StR.Arnold Zenkert, Potsdam, Deutschland). Dazu: Bastelheft "Sonnenuhren" und Sonnenuhren-Bastelbögen.
- 77 - 102 Theorie der Sonnenuhren. Sonnenuhren auf Ebenen in allgemeiner Lage, auf Zylinder- und Kugelflächen (OStR.Prof. Mag.Walter Hofmann, TGM Wien 20). Mit Demonstrations-Modellen.
- 103-110 Errichtung einer Sonnenuhr auf dem Gebäude des Vermessungsamtes in Eisenstadt (Dipl.Ing.Reinhard Jaendl, Leiter des Vermessungsamtes Eisenstadt und Neusiedl sowie Vorsitzender der Dr.Adalbert Jeszenkovitsch-Gesellschaft, Eisenstadt). Mit Demonstration der originalen 1:1 - Vorlage zur Übertragung von Lineatur, Schrift und Symbolen auf die Uhrfläche.
- 111-112 Eine Spiegelsonnenuhr aus Jena (Dr.Ludwig Meier, Jena); Beilage.
- 113-118 Sinnsprüche, Chronogramme und Wortspiele auf Sonnenuhren - Die "Weisheit der Sonnenuhren" (StR.Arnold Zenkert, Potsdam, Deutschland). Beilage.
- 119-124 Einiges zu Sonnenuhren aus der Sicht des Restaurators und Künstlers (Mag.Art.August Kicker, Akademischer Maler und Restaurator, Wien).
- 125-128 Die Sonnenuhr in der Denkmalpflege (Dipl.Ing.Karl Neubarth, Bundesdenkmalamt, Wien).
- 129-165 Von ortsfesten Sonnenuhren in Österreich und deren Katalog.- Beschreibung von 49 interessanten Sonnenuhren in Österreich in Wort und z.T. auch Bild. Mit Ortskatalog (Zusatzkatalog) zum Katalog von 1953 ortsfesten Sonnenuhren in Österreich (Hofrat Dipl.Ing.Karl Schwarzinger).
- * "KATALOG ORTSFESTER SONNENUHREN IN ÖSTERREICH". Erhältlich von Hofrat DI.K.Schwarzinger, Leiter der Arbeitsgruppe Sonnenuhren, Am Tigls 76a, A-6073 Sistrans. Tel.0512 - 37 88 68. 2.Aufl.1993, 2220 Sonnenuhren mit Beschreibung, z.T. mit Bildern. S 189.-

Gasttext: Beobachtung von Sonnenflecken mit freiem Auge

Das Bild, das man sich von einem Astronomen macht, hat sich in den vergangenen Jahrzehnten radikal gewandelt. Anstatt wie früher in kalten und dunklen Sternwartenkuppeln Himmelskörper im sichtbaren Licht durch ein Fernrohr zu beobachten, sitzen die Astronomen von heute meistens in geheizten, hellerleuchteten Räumen vor Bildschirmmonitoren, über die Meßdaten von fernen Sonden auf irgendeinem Orbit flimmern. Und - Astronomie bringt man fast zwangsläufig in Zusammenhang mit Begriffen wie Urknall, schwarzen Löchern, Gravitationslinsen und Ähnlichem. Diese Erungenschaften der modernen Astrophysik und Kosmologie sind mit einem derart gigantischen instrumentellen Aufwand verbunden, daß sich manch ein Freizeitastronom fragt, wozu er überhaupt noch durch sein Fernrohr beobachten soll, geschweige denn mit freiem Auge. Nun gibt es in der Astronomie aber auch heute noch viele Rätsel, zu deren Lösung keine teuren Ausrüstungen erforderlich sind, sondern eigentlich nur Sorgfalt und Geduld, verbunden mit ein bißchen Scharfsinn. Im folgenden Beitrag wird ein solch einfaches Beobachtungsprojekt vorgestellt, in dem der Frage nachgegangen wird, ob es möglich ist, den Sonnenfleckenzyklus ohne Hilfe eines Fernrohres - also nur durch die Beobachtung mit bloßem Auge - aufzuzeichnen, und ob sich die Periodizität der Sonnenflecken nicht auch in der Zeit vor der Erfindung des Fernrohres nachweisen ließe.

1. HISTORISCHE BEOBACHTUNGEN

Heutzutage ist allgemein bekannt, daß große Sonnenflecken oder Sonnenfleckengruppen auch ohne die Hilfe von optischen Instrumenten gesehen werden können, vorausgesetzt, daß gleißende Sonnenlicht werde durch Nebel oder Dunst so stark gedämpft, daß man die Sonnenscheibe ungeblendet betrachten kann. Bei solchen Bedingungen wurden Sonnenflecken schon vor mehr als zweitausend Jahren beobachtet, die meisten davon in China. Jene Beobachter verglichen die Flecken, die sie sahen, mit alltäglichen Dingen, wie z.B. einer Münze, einem Hühnerer oder einem fliegenden Vogel [1]. Diese Vergleiche sind ein Hinweis dafür, daß es sich um enorm große Sonnenflecken gehandelt haben muß; sie werfen aber auch die Frage auf nach der minimalen Größe, die ein Fleck haben muß, um mit bloßem Auge gesehen werden zu können. Heute kennen wir dank Fernrohrbeobachtungen die 11jährige Periode der Sonnenfleckenentätigkeit. Diese Fleckenperiode kann bis zurück ins Jahr der teleskopischen Entdeckung der Sonnenflecken - 1610 - recht gut nachgewiesen werden. Wie aber verlief sie in der vorteleskopischen

1. Fortsetzung Gasttext: Beobachtung von Sonnenflecken mit freiem Auge

Zeit? Den einzigen direkten Hinweis, um darüber Aufschluß zu erhalten, liefern die historischen Aufzeichnungen von Sonnenfleckenbeobachtungen mit bloßem Auge. Leider sind bis heute aber nur rund 200 derartige Aufzeichnungen bekannt, was über 1600 Jahre verteilt, im Durchschnitt nur 1 Beobachtung mit bloßem Auge alle 8 Jahre ergibt. Umso wichtiger ist es, diese spärlichen Aufzeichnungen besser verstehen und genauer quantifizieren zu können, um aus ihnen das Maximum an Information herauszuholen, und dadurch eventuell auch zum besseren Verständnis von Klimaveränderung in jenen Zeiten beizutragen. Dies ist heute möglich - durch einen direkten Vergleich von Parallelbeobachtungen mit Fernrohr und bloßem Auge.

2. SYSTEMATISCHE BEOBACHTUNGEN

Damit die Sonne mit bloßem Auge regelmäßig und gefahrlos beobachtet werden kann, muß ihre blendende Lichtfülle durch geeignete Filter um einen Faktor von rund 10^6 gedämpft werden. Empfehlenswert sind Glasfilter, wie sie auch an Teleskopen verwendet werden, Schweißgläser Nr. 12, 13, oder 14, oder auch Folienfilter, sogenannte "solarscreen". Durch solche Lichtfilter betrachtet, erscheint die Sonne als hell leuchtende, perfekte Scheibe, und Sonnenflecken, die groß genug sind um mit bloßem Auge sichtbar zu sein, erscheinen als kleine schwarze Punkte, wie Löcher in der Scheibe. Diese Beobachtungsmethode ist zweifellos die einfachste Art systematischer Überwachung der Sonne nach Flecken, weil der materielle und zeitliche Aufwand auf ein Minimum reduziert ist. Die Filter kann man stets einsatzbereit bei sich tragen und dadurch jede Gelegenheit - selbst bei kurzem Sonnenschein - zur Beobachtung ausnützen, sei es am Arbeitsplatz, auf der Straße oder auf Reisen.

Um solche Beobachtungen quantitativ erfaßbar und statistisch auswertbar zu machen, wurde 1980 die **Fleckenzahl A** eingeführt, wobei der Buchstabe **A** für das Auge steht. Für jeden Tag, an dem eine Beobachtung möglich ist, wird die Anzahl der beobachteten Flecken **A** notiert, wobei an Tagen, an denen keine Flecken sichtbar sind, $A = 0$ ist. Oft braucht es wochen- oder sogar monatelange Geduld, bis man einen Fleck sieht, denn die Flecken für das bloße Auge sind - vor allem, wie derzeit, während eines Fleckenminimums - eher seltene Erscheinungen. Andererseits können aber zu Zeiten maximaler Sonnenaktivität an einzelnen Tagen durchaus auch mehrere Flecken gleichzeitig die goldene Scheibe zieren.

Um die Fleckenzahl **A** möglichst lückenlos erfassen zu können, ist es vorteilhaft, wenn sich mehrere Beobachter an geographisch verschiedenen Orten an einem sol-

2. Fortsetzung Gasttext: Beobachtung von Sonnenflecken mit freiem Auge

chen Beobachtungsprogramm beteiligen. Aus dieser Überlegung heraus wurde 1984 im Rahmen der "Fachgruppe Sonne der Vereinigung der Sternfreunde VdS" (eine Vereinigung von Amateurastronomen in Deutschland) das A-Netz gegründet. An diesem internationalen Netz beteiligen sich rund 50 Beobachter aus 8 Ländern, die mit freiem Auge Ausschau nach Flecken auf der Sonne halten. Sie schicken ihre Beobachtungsprotokolle mit den täglichen Fleckenzahlen A am Ende jeden Monats oder jeden Quartals an die Sammelstelle, die beim Autor liegt (Ing. Hans Ulrich Keller, Kolbenhofstraße 33, CH-8045 Zürich, Schweiz). Aus diesen Einzelbeobachtungen wird dann für jeden Tag eine mittlere Fleckenzahl A_{Netz} bestimmt, die derjenige Anzahl Flecken entspricht, die von der Mehrzahl der Beobachter für den betreffenden Tag angegeben wurde. Die Beobachtungsergebnisse des A-Netzes werden regelmäßig im Mitteilungsblatt der Amateursoronnenbeobachter "SONNE" publiziert.

3. DER ELFJÄHRIGE ZYKLUS, MIT BLOSSEM AUGE REGISTRIERT

Bedingt durch die Einfachheit der Beobachtungsmethode, ist die Zählskala natürlich auch entsprechend grob. An den meisten Tagen sind keine oder nur ein Fleck sichtbar; während eines Fleckenmaximums manchmal aber auch 2 oder 3 Flecken, und in seltenen Fällen bis zu 5 Flecken gleichzeitig. Die Variation der Fleckenhäufigkeit kann bereits am Anteil der Tage, an denen keine Flecke mit bloßem Auge sichtbar sind, festgestellt werden. Während eines Fleckenminimums sind an mehr als 90% aller Tage keine Flecken sichtbar, wogegen der Anteil fleckenfreier Tage während eines Maximums bis gegen 40% sinkt (Abb.1):

Um die Häufigkeitsvariation aber besser und differenzierter sichtbar zu machen, müssen die täglichen Fleckenzählungen über längere Zeitspannen ausgemittelt werden, wozu sich dasselbe Ausgleichsverfahren eignet, das auch zur Ausmittlung der teleskopisch bestimmten Sonnenflecken-Relativzahlen angewandt wird. In einem ersten Schritt werden aus den Fleckenzählungen jeden Monats die arithmetischen Monatsmittel, und in einem zweiten Schritt aus 13 aufeinander folgenden Monatsmitteln die ausgeglichenen Monatsmittel berechnet. Abb.2 zeigt den aus dem A-Netz ermittelten Verlauf der Fleckenkurve. Diese erreichte im Herbst 1986 ein Minimum und im Sommer 1989 das erste Maximum des Zyklus Nr.22, was in guter Übereinstimmung mit der Relativzahlkurve steht. Damit ist gezeigt, daß sich der Sonnenfleckenzyklus auch durch Beobachtungen mit freiem Auge verfolgen läßt.

3. Fortsetzung Gasttext: Beobachtung von Sonnenflecken mit freiem Auge

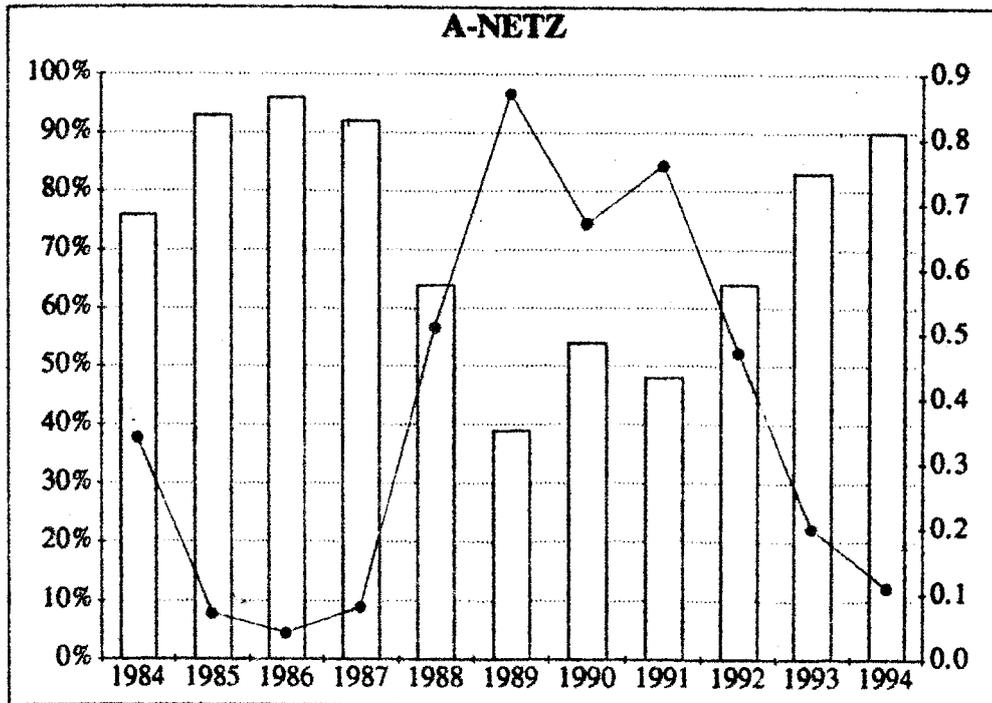


Abb. 1: Säulen: Prozentualer Anteil der Tage, an denen keine Flecken mit freiem Auge sichtbar waren (Skala links). Punkte: A-Netz Jahresmittel (Skala rechts). Fleckenminimum 1986, Fleckenmaximum 1989.

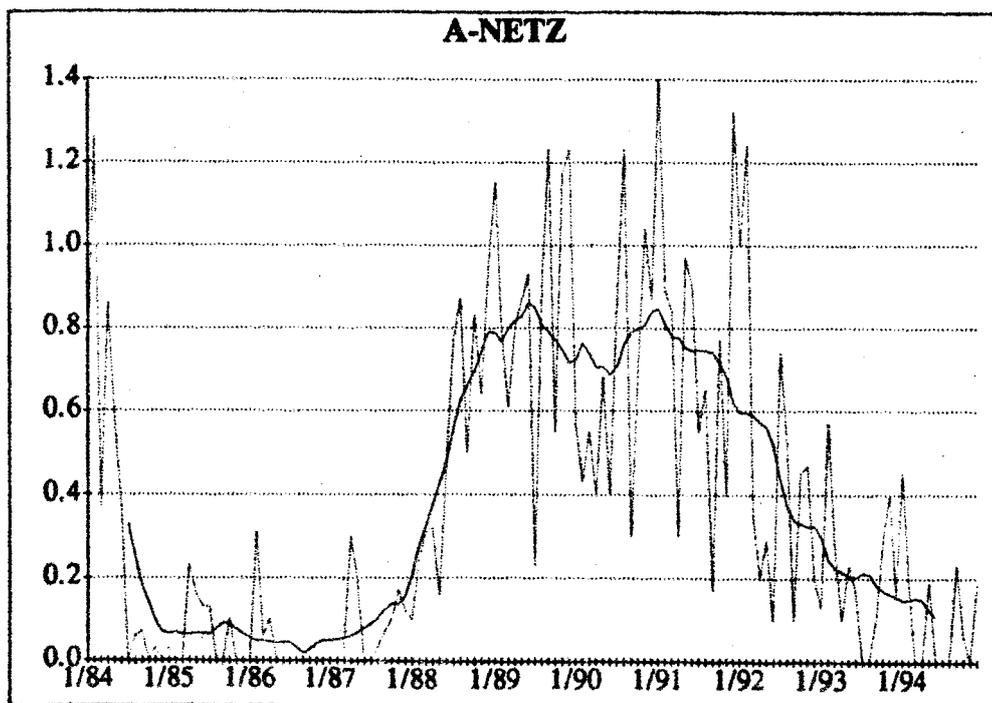


Abb. 2: A-Netz Sonnenfleckenkurve. Feine Linie: A-Netz Monatsmittel. Starke Linie: A-Netz ausgeglichene Monatsmittel.

Mit etwas Übung können auch einfache Skizzen der Positionen der beobachteten Flecken auf der Scheibe ange-

4. Fortsetzung Gasttext: Beobachtung von Sonnenflecken mit freiem Auge

fertigt werden. Durch einen Vergleich von Skizzen aufeinander folgender Tage wird die Rotation der Sonne sichtbar und es kann festgestellt werden, daß ein Fleck bei seiner gesamthaft 13 1/2 Tage dauernden Ost-West-Passage während höchstens 11 Tagen mit freiem Auge gesehen werden kann.

4. FREISICHTIGE SICHTBARKEITSGRENZE VON SONNENFLECKEN

Wie groß muß ein Sonnenfleck sein, damit er mit bloßem Auge gesehen werden kann? Die Frage ist zwar einfach, doch erfordert ihre Beantwortung einige Umsicht. Denn für die Sichtbarkeit eines Sonnenflecks mit bloßem Auge ist nicht allein seine Größe ausschlaggebend, sondern ebenso die individuelle Sehschärfe des Auges. Und außerdem kann die Frage nicht allein aus den Fleckenbeobachtungen mit bloßem Auge beantwortet werden, sondern es sind dazu auch noch Fernrohraufnahmen der Photosphäre erforderlich, auf denen die Ausdehnungen der Flecken ausgemessen werden können. Für diese Ausmessungen der Fleckengröße dienten mir Fleckenzeichnungen ab Projektionsbild mit einem Sonnendurchmesser von 25cm, die ich täglich an der Zürcher Sternwarte anfertige. Ausgemessen wurde jeweils der größte und der kleinste Umbra- und Penumbradurchmesser und daraus wurde der mittlere Umbra- und Penumbradurchmesser sowie außerdem der Abstand des Flecks vom Scheibenzentrum berechnet - letzterer, um die perspektivische Verzerrung berücksichtigen zu können. Ausgemessen wurden nur klar definierte und einigermaßen regelmäßig geformte Hofflecken; also keine komplexen Fleckengruppen. Um eine durchschnittliche Sichtbarkeitsgrenze bestimmen zu können, erweist sich das A-Netz als außerordentlich nützlich, weil daran Beobachter mit unterschiedlicher Sehschärfe und Beobachtungserfahrung beteiligt sind. Aus den A-Netz Fleckenzahlen geht hervor, ob Flecken von der Mehrzahl der Beobachter gesehen wurden oder nicht, und auf den Projektionsbildzeichnungen läßt sich die Größe sowohl der sichtbaren als auch der nicht sichtbaren Flecken ausmessen. Interessant sind natürlich vor allem jene Flecken, die nur von einem Teil der Beobachter gesehen wurden, während andere Beobachter sie nicht sehen konnten, weil es sich dabei um Flecken handeln muß, die nahe der durchschnittlichen Sichtbarkeitsgrenze liegen. Ausgemessen wurden die Umbradurchmesser von insgesamt 122 Flecken, und die Penumbradurchmesser von 117 Flecken. Als Ergebnis kam dabei heraus, daß ein Sonnenfleck in der Nähe des Sonnenscheibenzentrums einen Penumbradurchmesser von mindestens 41 Bogensekunden (30.000 km) und einen Umbradurchmesser von mindestens 15 Bogensekunden (11.000 km) haben muß, um von einem Beobachter mit durchschnittlicher Sehschärfe mit bloßem Auge gesehen werden zu können.

5. Fortsetzung Gasttext: Beobachtung von Sonnenflecken mit freiem Auge

Es wäre nun allerdings unüberlegt, das Ergebnis dieses exakten Experimentes einfach auf die historischen Fleckenaufzeichnungen anzuwenden. Denn einerseits wurden jene Beobachtungen kaum durch künstliche Lichtfilter, sondern bei natürlicher Abschwächung des Sonnenlichtes ausgeführt, und andererseits gab es bei dem hier beschriebenen Versuch auch Flecken mit einem Penumbra-durchmesser von nahezu 1 Bogenminute, die der Beobachtung durch die Mehrheit der Beobachter entgingen. Um Klarheit darüber zu erhalten, ob die Fleckenperiode auch bei Beobachtungen ohne die Hilfe von Filtern feststellbar ist, werden seit 1993 im Rahmen des A-Netzes Fleckensichtungen, die bei natürlicher Lichtdämpfung erfolgten, von den Beobachtern mit A* bezeichnet und gesondert ausgewertet. Aussagekräftige Ergebnisse dürften aber erst in einigen Jahren vorliegen.

Dieser Beitrag soll zeigen, daß selbst mit einfachsten Beobachtungsmethoden an der Grenze des Möglichen interessante und nützlich Ergebnisse erzielt werden können. Da es bekanntlich mehr Genugtuung bereitet, Astronomie aktiv zu betreiben als nur darüber zu lesen, und Österreich bisher erst mit einem Beobachter im A-Netz vertreten ist, würde es mich freuen, weitere Beobachter und Beobachterinnen zur Mitarbeit gewinnen zu können. Interessierte mögen sich dazu bitte mit dem Autor in Verbindung setzen - Adresse siehe Seite 92 unten. Gedankt sei allen Beobachtern des A-Netztes für ihre geschätzte Mitarbeit, sowie der VdS-Fachgruppe Sonne für die ideale Plattform, die sie für den Datenausch bietet.

LITERATUR

- [1] Wittmann, A.: Astron.Astrophys.66 (1978).

Ing. Hans Ulrich Keller
Kolbenhofstraße 33
CH-8045 Zürich

Unser Autor hat dankenswerterweise gestattet, diesen von ihm für den "Sternenboten" Nr.5/1995 verfaßten Beitrag hier wiederzugeben (Red.).

Referat: Astronomische Finsternisse

1. SONNEN- UND MONDFINSTERNISSE

Zustandekommen

Beim Blick von oben auf die Erdbahnebene - unsere Zeichenebene - sehen wir Sonne, Erde und Mondbahn "im Grundriß". Neumond tritt ein, wenn aus dieser Sicht die Mitten von Erde, Mond und Sonne auf einer Geraden liegen; Vollmond liegt vor, wenn die Folge auf dieser Geraden Mond, Erde, Sonne lautet. Diese beiden Mondstellungen zu Sonne und Erde heißen Syzygien (griechisch συζυγία = Paar):

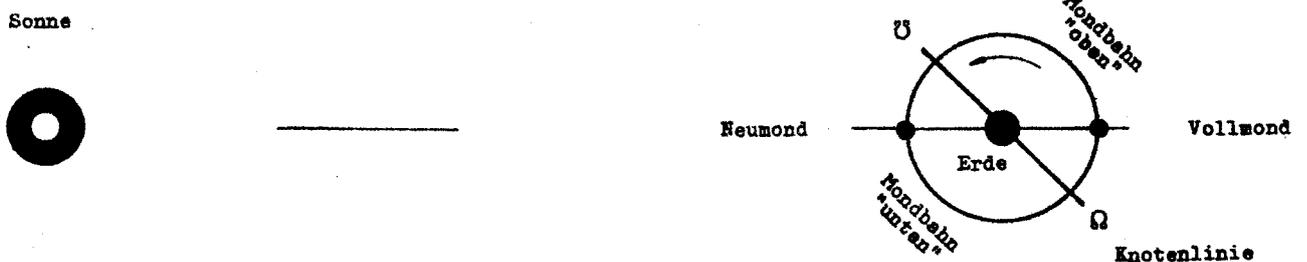
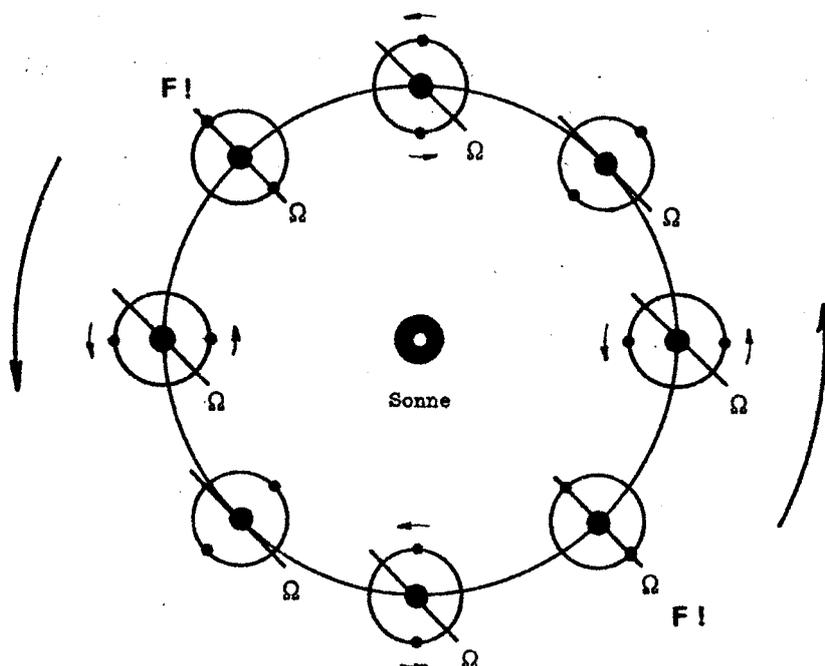


Abb.1: Mondbahn, Syzygien, Knotenlinie

Die Mondbahnebene ist ein wenig zur Erdbahnebene geneigt und schneidet sich daher mit ihr in der Knotenlinie $\Omega - \Omega$. Der Mond steht in der einen Bahnhälfte über und in der anderen unter der Erdbahnebene und durchstößt sie im aufsteigenden (Ω) und absteigenden Knoten (Ω). In Abb.1 tritt der Vollmond "oben" und der Neumond "unten" ein.

Die Mondbahn wird von der umlaufenden Erde mitgenommen, wobei sich in Wirklichkeit die Knotenlinie ein wenig - rund 19° im Jahr - dreht.



Nur dann, wenn die Knotenlinie auf die Sonne weist, kann ein nahe der Knotenlinie eintretender Neumond seinen Schatten auf die Erde werfen oder der Vollmond durch den Erdschatten gehen: F! 2-3 mal je Umlauf gibt es daher "Sonnen- und Mondfinsternis-Zeiten",

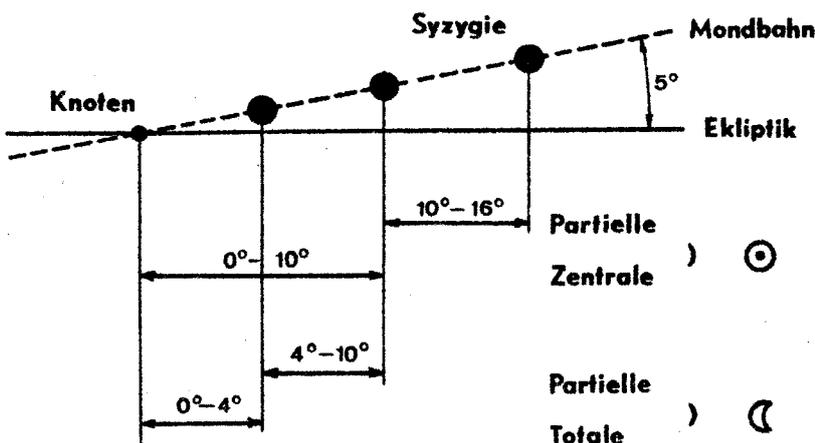
Abb.2: Umlauf von Erde und Mondbahn

1. Fortsetzung Referat: Astronomische Finsternisse

je nachdem, wo wir den Umlauf beginnen lassen: Denn 12 synodische Monate umfassen nur rund 354 Tage und liegt eine Finsterniszeit am Jahresanfang, so fällt die zweite knapp in die Jahrmitte und eine dritte an das Ende des Jahres, das ja 365 (366) Tage hat. Es wären also deshalb z.B. drei Sonnenfinsternisse im Jahr möglich; tritt aber eine knapp vor dem Knoten ein, so kann noch eine zweite einen Mondumlauf später knapp nach dem Knoten eintreten und das kann auch in der folgenden Finsterniszeit der Fall sein. Deshalb ist die höchste Zahl von Sonnen- oder Mondfinsternissen im Jahr fünf, die niedrigste zwei.

Sonnen- und Mondfinsternisse ereignen sich also nur, wenn die Syzygien in oder nahe genug an der Erdbahnebene eintreten, die daher auch "Finsternisebene" oder Ekliptikebene (griechisch $\epsilon\kappa\lambda\epsilon\iota\pi\epsilon\iota\nu$ = verlassen, sich verfinstern) heißt. Ihr Schnitt mit der Himmelskugel ist der Großkreis der **Ekliptik**, auf ihr liegen die Knoten der Mondbahn und nur dort können Finsternisse zustande kommen.

Die Sonne ist keine punktförmige, sondern eine flächige Lichtquelle. Sie wird daher vom Mond (von der Erde aus gesehen) oder von der Erde (vom Mond aus gesehen) nicht schlagartig, sondern nach und nach bedeckt, der geworfene Schatten besteht deshalb aus einem **Kern-** und einem ihn umgebenden **Halbschattenkegel**. Erreicht nur der Halbschatten des Mondes die Erde, so tritt eine **partielle**, trifft sie auch der Kernschatten, so tritt eine **totale** Sonnenfinsternis ein. Ein Sonderfall der partiellen Sonnenfinsternis ist die **ringförmige**, wenn der Kernschattenkegel die Erde nicht erreicht. In Sonderfällen ist eine Sonnenfinsternis zunächst wegen der Kugelgestalt der Erde ringförmig, dann total und dann wieder ringförmig; dann liegt eine **ringförmig-totale** Sonnenfinsternis vor (P-, T-, RT-Finsternisse). Erreicht die Mondschattenachse die Erde, so sprechen wir von einer **zentralen** Sonnenfinsternis. Verfinstert der Kernschatten der Erde



den Mond, so ereignet sich eine **totale** oder **partielle** Mondfinsternis im **Kernschatten**. Mondfinsternisse können auch total oder partiell im **Halbschatten** sein.

Abb.3: Engste Finsternisgrenzen in grobem Schema

2. Fortsetzung Referat: Astronomische Finsternisse

1.1. Sonnenfinsternisse

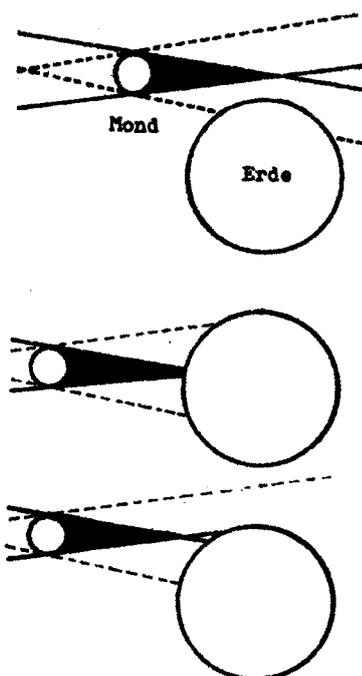


Abb.4:
Hauptarten der
Sonnenfinsternisse

Partielle Sonnenfinsternisse (P):

Polgend der Erde (Nord oder auch Süd) wird vom Halbschatten verfinstert, z.B. 1996 10 12, 2000 07 31, 2000 12 25 (N); 1997 09 02, 2000 02 05, 2000 07 01 (S).

Totale Sonnenfinsternisse (T):

Kern- und Halbschatten verfinstern einen Teil der Erde, z.B. 1997 03 09, 1998 02 26, 1999 08 11. Schmale Totalitätszone, in ihr zieht die Schattenachse die Zentrallinie.

Ringförmige Sonnenfinsternisse (R)

Kernschatten erreicht die Erde nicht, z.B. 1998 08 22, 1999 02 16. Schmale Ringförmigkeitszone, in ihr Zentrallinie.

Ringförmig-Totale Sonnenfinsternisse (RT):

Letzte 1987 03 29, Nächste 2005 04 08. Zentrallinie in schmaler Ringförmigkeitszone, die in Totalitätszone und wieder Ringförmigkeitszone übergeht.

Näheres zu Sonnenfinsternissen - ihren Erscheinungsformen, Sichtbarkeitsgebieten und ihrer Berechnung - findet sich in den Papieren des Sternfreunde-Seminars 1979 "Astronomische Finsternisse" (Lit.1).

Die Sonnenfinsternisse von -2003 bis +2526 samt allen Daten zur Ermittlung des jeweils örtlichen Verlaufes enthält der "Canon der Sonnenfinsternisse" (Lit.2). Wir geben die Überblickskarten der Sonnenfinsternisse 1995 10 24 bis 2000 12 25. Sie haben die Aufgabe, rasch über die Art und das jeweilige Sichtbarkeitsgebiet zu informieren: Ein kleiner Erdglobus zeigt die der Sonne zugewandte Halbkugel der Erde in ihrer für den Zeitpunkt der größten Phase gültigen Lage hinsichtlich Drehung sowie Kippung und Neigung. Die Pole (meist ist nur einer sichtbar) sowie die Schnittpunkte des Erdäquators mit dem Scheibenumriß und dem Zentralmeridian sind durch kleine Kreuze dargestellt. Am linken Rand des Erdumrisses geht die Sonne auf bzw. am rechten unter, dort ist Morgen bzw. Abend. Im Zentralmeridian ist wahrer Mittag und in der Scheibenmitte steht die Sonne im Zenit. Die Sonnenhöhe h steigt mit dem in mm gegen die Scheibenmitte hin

3. Fortsetzung Referat: Astronomische Finsternisse

gemessenen Abstand r des gewählten Ortes vom Erdumriß; er folgt aus $\cos h = 1 - r/15$. Die Umrisse des Kern- und Halbschattens wandern von links nach rechts, parallel zu den strichlierten Grenzlinien, längs der sich Sonnen- und Mondscheibe außen berühren. Von einer Grenzlinie steigt die Finsternisgröße bis zur voll gezeichneten Zentrallinie von 0 bis zur Zentralität an und kann daher leicht abgeschätzt werden: 1973 06 30 war für die Nordküste Afrikas der Sonnendurchmesser von Süden her etwa halb bedeckt.

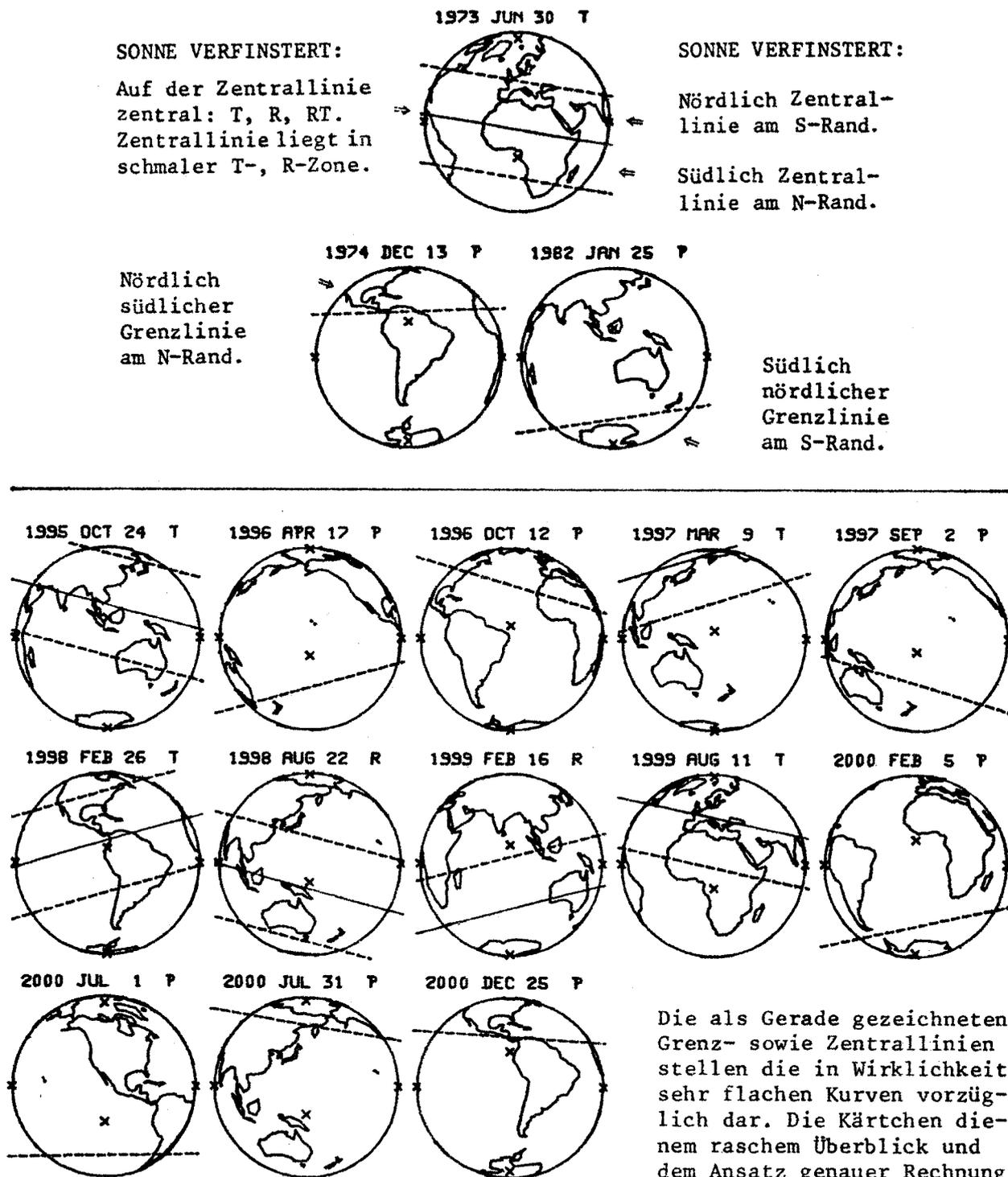


Abb.5: Sonnenfinsternis-Sichtbarkeitsgebiete im Überblick (Lit.2)

4. Fortsetzung Referat: Astronomische Finsternisse

Beispiel für genauere Darstellung des Sichtbarkeitsgebietes einer partiellen Sonnenfinsternis. Geographische Längen positiv nach Ost gezählt, Uhrzeiten Weltzeit UT. Nach USNO Circular 170 (Lit.3).

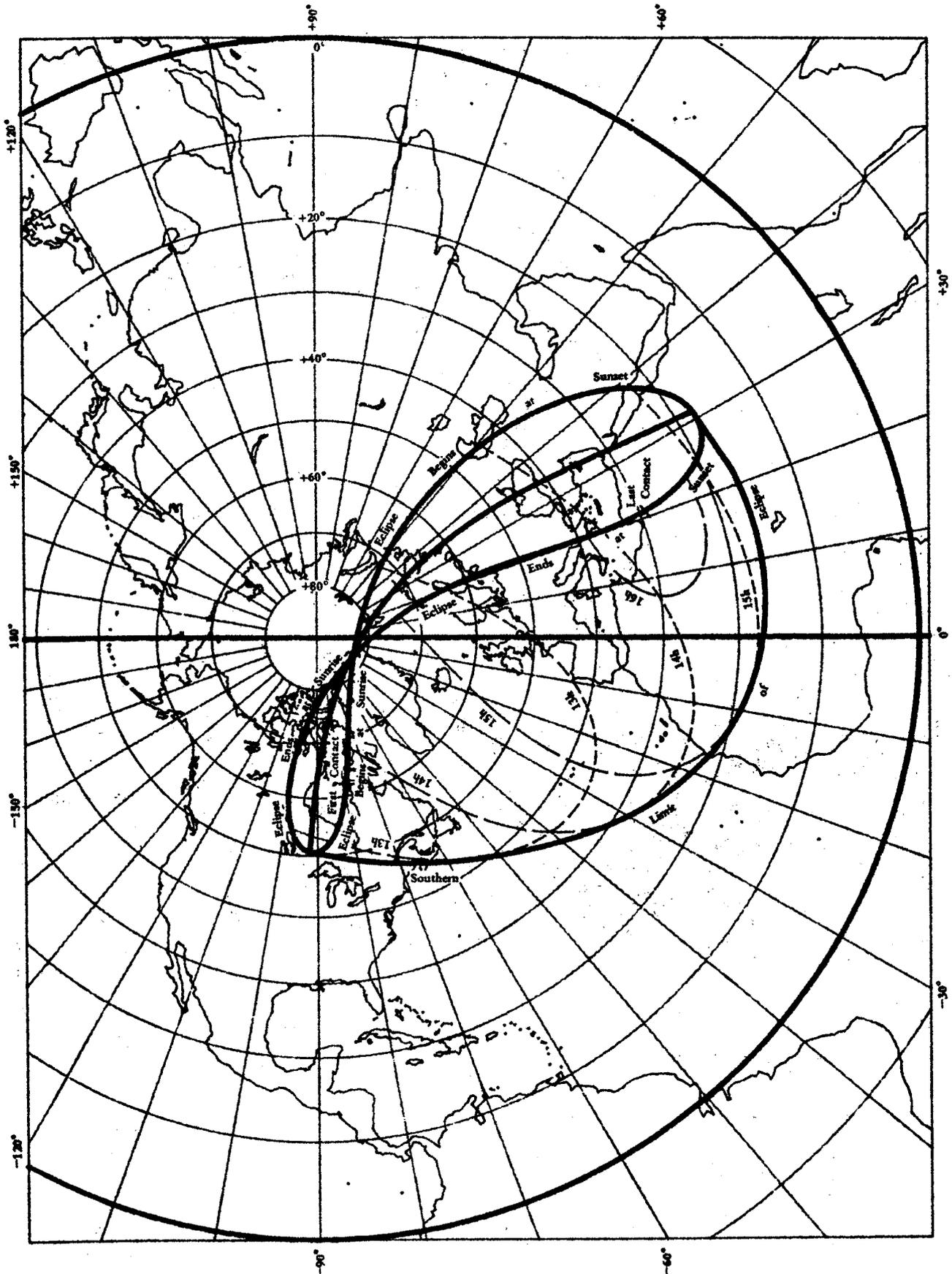


Abb.6: Sichtbarkeitsgebiet der partiellen Sonnenfinsternis 1996 10 12

5. Fortsetzung Referat: Astronomische Finsternisse

Beispiel für genauere Darstellung des Sichtbarkeitsgebietes einer totalen Sonnenfinsternis. Geographische Längen positiv nach Ost gezählt, Uhrzeiten Weltzeit UT. Nach USNO Circular 170 (Lit.3).

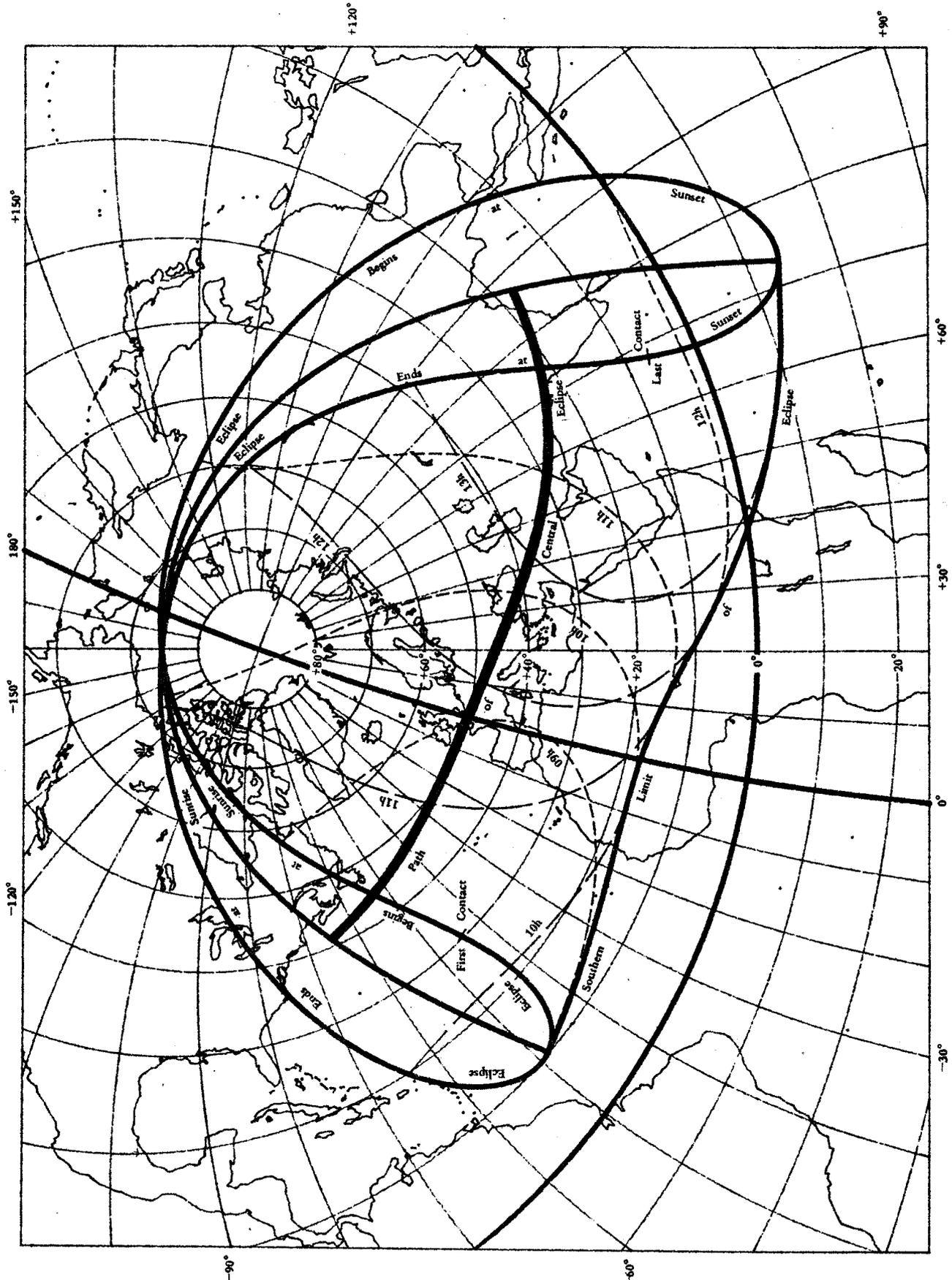


Abb.7: Sichtbarkeitsgebiet der totalen Sonnenfinsternis 1999 08 11

6. Fortsetzung Referat: Astronomische Finsternisse

Eine Sonnenfinsternis ist in ihrem Ablauf grundsätzlich ein lokales Ereignis. Insbesondere ist eine totale oder ringförmige Sonnenfinsternis nur in der bis zu einigen hundert Kilometern breiten Totalitäts- oder Ringförmigkeitszone total oder ringförmig beobachtbar, während sie in den angrenzenden Bereichen des Sichtbarkeitsgebietes bis hin zu den Grenzlinien mehr oder weniger partiell erscheint. Eine partielle Sonnenfinsternis ist in ihrem ganzen Sichtbarkeitsgebiet nur partiell mit einer Stelle größter Phase sichtbar. Aus unserer Sonnenfinsternisliste sind nur zwei in Österreich sichtbar: Genauere Sichtbarkeitsgebiete auf den Vorseiten - nun Näheres.

Partielle Sonnenfinsternis 1996 10 12:

Ort	Anfang		Maximum			Ende	
	MEZ	Höhe	MEZ	Höhe	Größe	MEZ	Höhe
Wien	14 ^h 26	+23°	15 ^h 40	+14°	0,611	16 ^h 47	+3°
Innsbruck	14 22	+27	15 37	+17	0,593	16 46	+7

Totale Sonnenfinsternis 1999 08 11:

Ort	Anfang		Maximum			Ende	
	MEZ	Höhe	MEZ	Höhe	Größe	MEZ	Höhe
Wien	10 ^h 24	+52°	11 ^h 47	+57°	0,990	13 ^h 09	+54°
Innsbruck	10 16	+49	11 38	+57	0,984	13 02	+57

Unter den Landeshauptstädten Österreichs ist Totalität nur für Graz, Linz und Salzburg gegeben; Eisenstadt liegt knapp außerhalb der Nordgrenze der Totalitätszone.

Näheres zum örtlichen Ablauf dieser Finsternisse ist dem "Österreichischen Himmelskalender" zu entnehmen.

1.2. Mondfinsternisse

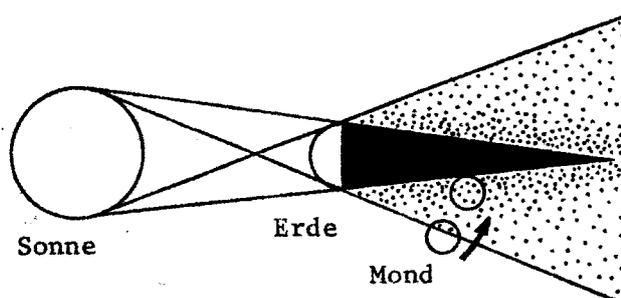


Abb.8: Mondfinsternis-Schema

Der Erdschatten besteht aus dem je nach den meteorologischen Verhältnissen mehr oder weniger dunklen Kernschattenkegel und den ihn umgebenden, gegen den Kernschatten hin immer dunkler werdenden Halbschattenkegel.

Die Entfernungen Sonne-Erde-Mond bestimmen die Dimensionen der beiden Erdschattenkegel. Die Erdatmosphäre bewirkt eine Vergrößerung

7. Fortsetzung Referat: Astronomische Finsternisse

beider Erdschattenkegeldurchmesser. "Traditionell" wird um $1/50$ vergrößert, aber damit erfahren die beiden Kegel gleiche **relative** Vergrößerung. Um die abdunkelnde Wirkung der Lufthülle korrekt in Rechnung zu stellen, muß der Erdradius - und damit die Mondparallaxe - vergrößert werden (Danjon). So erhalten beide Schattenkegel die gleiche **absolute** Vergrößerung und dies ist der einzig gangbare Weg. Dementsprechend wurde im "Canon der Mondfinsternisse, -2002 bis +2526" (Lit.4) und u.a. im "Österreichischen Himmelskalender" (Lit.5) verfahren.

Beobachtungen haben gezeigt, daß eine Mondfinsternis bereits dann für das freie Auge beginnt, wenn der Mond mit 70% seines Durchmessers im Halbschatten steht. Ähnlich tritt für das freie Auge das Ende einer Mondfinsternis mit dem Erreichen dieses Standes im Halbschatten ein. Es ist also unrichtig, daß Halbschattenfinsternisse mit freiem Auge unsichtbar seien; sie sind es vielmehr nur dann, wenn sie nicht die Größe 0,70 im Halbschatten erreichen.- Der "verwaschene" Kernschattenrand wird durch den steilen Anstieg der Dunkelheit des Halbschattens in Kernschattennähe erzeugt.

Näheres zu Mondfinsternissen - ihren Erscheinungsformen, Sichtbarkeitsgebieten und ihrer Berechnung - findet sich in den Papieren des Sternfreunde-Seminars 1979 "Astronomische Finsternisse" (Lit.1). Auf den beiden nächsten Seiten sind alle Mondfinsternisse 1995 10 08 bis 2000 07 16 zusammengestellt und jene, die in Österreich sichtbar sind, genauer beschrieben. Die Übersichtskarten stammen aus (Lit.4) und können mit der geographischen Länge und Breite des Ortes, in dessen Zenit der Mond in bestimmter Phase - die alle Orte einer Erdhälfte gleichzeitig sehen - ausgewählt werden.

Ein kleiner Erdglobus zeigt die dem Mond zugewandte Erdhälfte für den Anfang der Freisichtigkeit, die größte Phase und das Ende der Freisichtigkeit in richtiger Lage nach Drehung, Kippung und Neigung. Am linken Rand des Erdumrisses geht der Mond auf bzw. am rechten unter, dort ist Abend bzw. Morgen. Im Zentralmeridian ist wahre Mitternacht und in der Scheibenmitte steht der Mond im Zenit. Die Mondhöhe h läßt sich wie die Sonnenhöhe bei den Sonnenfinsternissen für beliebige Orte der mondseitigen Erdhälfte ermitteln.

Wieder bedeuten die kleinen Kreuze die Pole (meist nur einer sichtbar) sowie die Schnittpunkte des Erdäquators mit dem Scheibenumriß und dem Zentralmeridian.

Gegeben wird: Datum, Art (N oder S nennt bei partiellen Finsternissen den verfinsterten Mondteil Nord oder Süd), Größe in Einheiten des Monddurchmessers im Kern- oder Halbschatten, Uhrzeit MEZ, Mond-

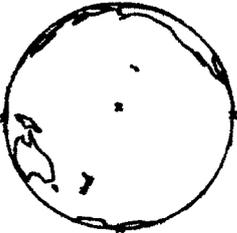
8. Fortsetzung Referat: Astronomische Finsternisse

höhen in Wien und Innsbruck topozentrisch, ohne Refraktion. Schattenvergrößerung nach Danjon.-

Abb.9: Mondfinsternis-Sichtbarkeitsgebiete im Überblick:

Anfang der Freisicht	Maximum	Ende der Freisicht	
			<p>1995 10 08 Partiiell S Halbschatten 0,825 16^h19 17^h04 17^h49 - 9° Höhe Wien + 6° -12° Innsbruck + 2°</p>
			<p>1996 04 03/04 Total Kernschatten 1,380 23^h01 1^h10 3^h19 +34° Höhe Wien +20° +34° Innsbruck +23°</p>
			<p>1996 09 27 Total Kernschatten 1,240 1^h56 3^h54 5^h53 +34° Höhe Wien + 0° +37° Innsbruck + 4°</p>
			<p>1997 03 24 Partiiell S Kernschatten 0,919 3^h31 5^h39 7^h48 +22° Höhe Wien -19° +26° Innsbruck -16°</p>
			<p>1997 09 16 Total Kernschatten 1,191 17^h53 19^h47 21^h40 - 2° Höhe Wien +31° - 5° Innsbruck +29°</p>
			<p>1998 03 13 Partiiell S Halbschatten 0,708 5^h08 5^h19 5^h29 +12° Höhe Wien + 8° +15° Innsbruck +12°</p>

9. Fortsetzung Referat: Astronomische Finsternisse

Anfang der Freisicht	Maximum	Ende der Freisicht	
			1998 08 08 Partiiell S Halbschatten 0,122 Maximum 3 ^h 25 Nicht freisichtig
			1998 09 06 Partiiell N Halbschatten 0,813 Maximum 12 ^h 10 In Österreich nicht sichtbar
			1999 01 31 Total Halbschatten 1,003 16 ^h 11 17 ^h 17 18 ^h 24 - 6° Höhe Wien +14° -10° Innsbruck +10°
			1999 07 28 Partiiell S Kernschatten 0,396 Maximum 12 ^h 33 In Österreich nicht sichtbar
			2000 01 21 Total Kernschatten 1,325 3 ^h 45 5 ^h 44 7 ^h 42 +36° Höhe Wien - 1° +40° Innsbruck + 2°
			2000 07 16 Total Kernschatten 1,769 Maximum 14 ^h 56 In Österreich nicht sichtbar

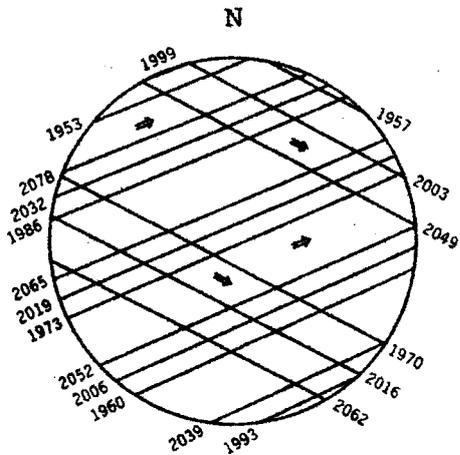
Finsternisperioden: Linearkombinationen von SAROS (223 Lichtmonate, 6585,3 Tage und INEX (358 Lichtmonate, 10572,0 Tage) - siehe (Lit.1).

10. Fortsetzung Referat: Astronomische Finsternisse

2. MERKUR- UND VENUSDURCHGÄNGE

2.1. Merkurdurchgänge

Bei unteren Konjunktionen des Merkur mit der Sonne, die in genügender Knotennähe stattfinden, tritt ein Durchgang vor der Sonne ein. Es bestehen Mai-Serien und November-Serien mit 46jähriger Periode.



Von 1995 bis zum Ende des 20. Jahrhunderts findet nur ein Merkurdurchgang statt. Er ist in Österreich unsichtbar. Daten für die Erdmitte (Lit.6):

Größte Phase

1999 11 15

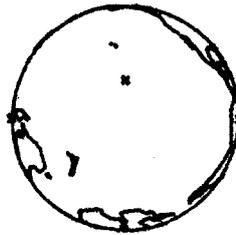
Beginn 22h15 MEZ PW 32°

Mitte 22 41

Ende 23 07 14°

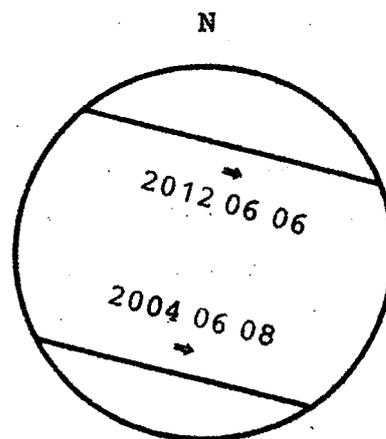
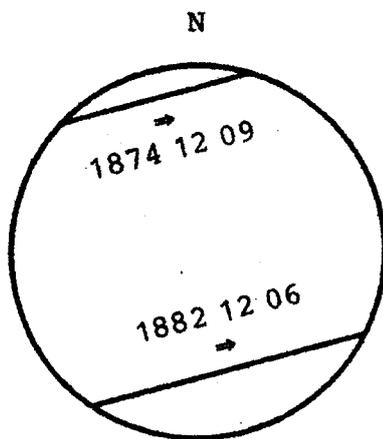
Durchgang nahe nördl.

Sonnenrand!



2.2. Venusdurchgänge

Bei unteren Konjunktionen der Venus mit der Sonne, die in genügender Knotennähe stattfinden, tritt ein Durchgang vor der Sonne ein. Es bestehen Juni-Serien und Dezember-Serien mit folgender Periodik: 8 - 105,5 - 8 - 121,5 - 8 - 105,5 .. Jahre. Näheres siehe (Lit.6).



3. BEDECKUNGEN DURCH DEN MOND

Der Mond kann bei seiner Bewegung um die Erde Gestirne des Hintergrundes bedecken, beispielsweise Planeten und Sterne. Es handelt sich dabei um die häufigsten astronomischen Finsternisse. Durch die langsame Drehung seiner Bahnebene unter Beibehaltung ihrer Nei-

11. Fortsetzung Referat: Astronomische Finsternisse

gung - siehe Referat "Der Mond" - kommt es bei jedem Umlauf zu etwas anderen Bedeckungsumständen und auch zu Bedeckungsserien verschiedener Art, siehe Abb.11 aus den "Astronomischen Kurzkalendern 1900 bis 2000" (Lit.7):

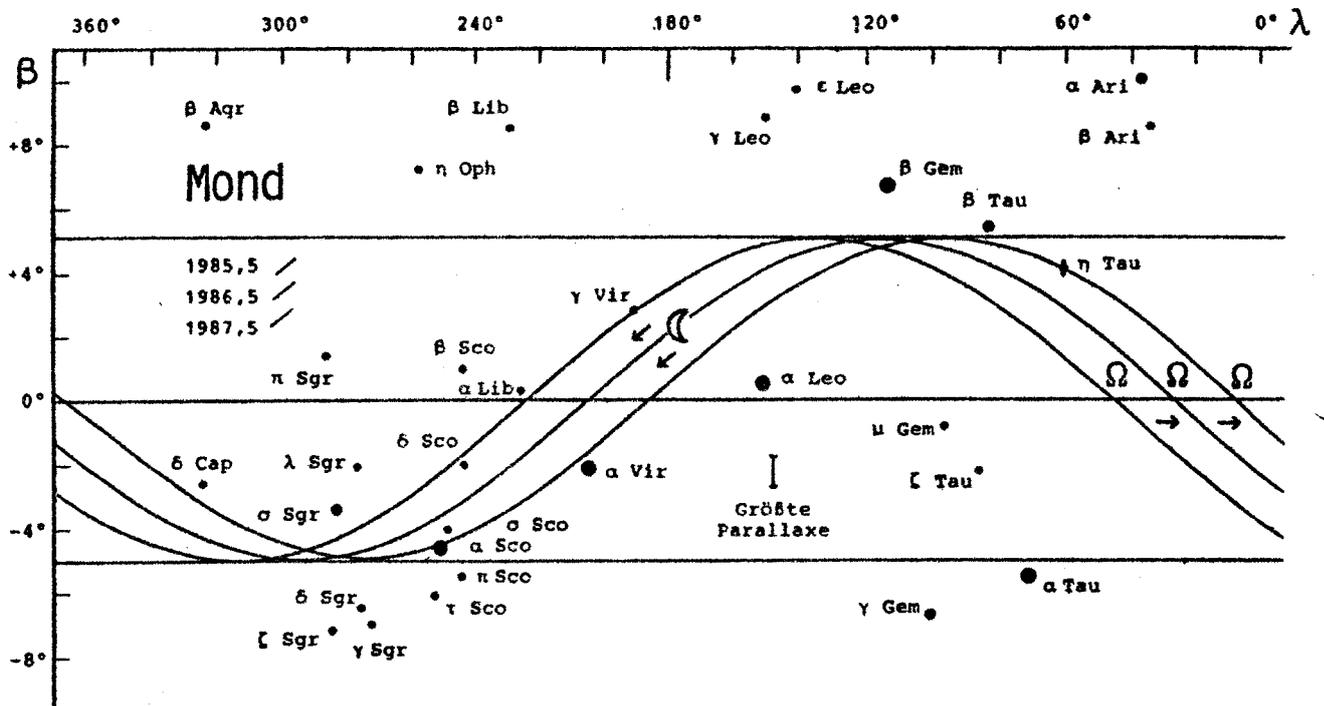


Abb.11: Die geozentrische Zone des Mondes im ekliptikalischen Netz. Die ekliptikalen Breiten sind zehnfach überhöht.

Nach Datengrundlagen von J.Meeus (private Mitteilungen und Lit.8) wurden folgende Bedeckungen von Sternen erster Größe und hellen Planeten berechnet, die in Wien und Innsbruck bis zum Ende des 20. Jahrhunderts vollständig sichtbar sind. Das bedeutet auch Sichtbarkeit für die allermeisten Orte in Österreich. Uhrzeiten MEZ, H Höhe des bedeckten Gestirns, ohne Refraktion. Bei Planeten beziehen sich die Angaben auf die Scheibenmitte.

Datum	Wien		Innsbruck		Gestirn
	Anfang H	Ende H	Anfang H	Ende H	
1995 05 12	20 ^h 30 27°	21 ^h 17 30°	20 ^h 31 27°	21 ^h 04 29°	α Vir
1995 05 27	6 49 35	7 36 42	6 40 31	7 32 39	Venus
1996 07 12	9 05 59	10 30 57	8 55 59	10 21 59	Venus
1996 10 01	21 47 12	22 42 21	21 46 9	22 40 18	α Tau
1997 03 14	20 06 41	21 15 30	20 01 45	21 13 33	α Tau
1997 05 08	14 32 55	15 42 48	14 25 58	15 35 52	α Tau
1997 07 02	4 53 23	5 50 32	4 51 19	5 45 28	α Tau
1997 07 29	12 42 25	13 34 17	12 39 29	13 36 20	α Tau

12. Fortsetzung Referat: Astronomische Finsternisse

Datum	Wien			Innsbruck			Gestirn
	Anfang H	Ende H	H	Anfang H	Ende H	H	
1997 11 12	2 ^h 36 11°	3 ^h 29 2°		2 ^h 34 15°	3 ^h 30 5°		Saturn
1998 03 26	12 42 27	13 41 20		12 35 30	13 38 24		Jupiter
1998 04 28	19 49 15	20 21 10		19 46 18	20 25 12		α Tau
1998 06 22	15 26 22	16 16 14		15 24 26	16 18 17		α Tau
1998 11 06	2 44 55	3 54 47		2 36 58	3 47 51		α Tau
1998 12 31	0 40 44	1 46 33		0 36 48	1 42 37		α Tau
1999 03 22	19 51 39	20 54 28		19 47 43	20 51 32		α Tau
1999 03 28	15 26 7	16 03 13		15 26 3	16 02 9		α Leo
1999 04 24	22 55 38	23 22 34		22 44 43	23 27 36		α Leo
1999 09 08	16 57 8	17 30 3		17 01 11	17 30 6		α Leo
2000	kein Ereignis						

Näheres zu Sternbedeckungen - ihre Berechnung und Beobachtung - ist in (Lit.1) sowie im "Sternenboten", Heft 9/1986 (Lit.9) zu finden. Bedeckungen von Planeten und Sternen bis zur 7.Größe für Wien und Innsbruck finden sich im "österreichischen Himmelskalender" (Lit.5).

4. MITERLEBEN ASTRONOMISCHER FINSTERNISSE

Astronomische Finsternisse aller Art sind in ihrem Ablauf sehr lehrreich, denn sie vermitteln dem Betrachter **Bewegungen** von Himmelskörpern im Raum, die in ihrer **Berechenbarkeit** ein wenig vom Wesen einer exakten Naturwissenschaft nachhaltig erleben lassen. Schließlich sind sie - wie totale Sonnenfinsternisse - ungemein beeindruckende Naturschauspiele mit sonst nicht auftretenden Erscheinungen.

So wertvoll ernsthafte Beobachtungen astronomischer Finsternisse auch sein mögen: Der Gesichtspunkt des von beobachtungstechnischen Belastungen freien Miterlebens hat auch seinen Wert.

- * **Sonnenfinsternisse:** Feststellung der Uhrzeit der ersten und letzten unter Blendschutz freisichtigen Wahrnehmung / Bei genau festgelegter Uhrzeit und Beobachtungsort: Photos partieller Phasen, Beobachtung auf Grenzlinien / Protuberanzen- und Korona-Photos in definierten Spektralbereichen sowie Flashspektrum bei totalen Finsternissen / Meteorologische Erscheinungen ...
- * **Mondfinsternisse:** Feststellung der Uhrzeit der ersten und letzten freisichtigen Wahrnehmung / Kratergenaue Beobachtung / Gesamtheitlichkeit des verfinsterten Mondes in zeitlichem Verlauf / Nacherleben des "runden" Erdschattens als Beweis für die Kugelgestalt der Erde ...

13. Fortsetzung Referat: Astronomische Finsternisse

- * Merkur- und Venusdurchgänge: Kontaktzeiten / Tropfenphänomen / Planetennachtseite und Sonnenflecke / Nacherleben der Ermittlung der Sonnenparallaxe aus Venusdurchgängen ...
- * Stern- und Planetenbedeckungen durch den Mond: Uhrzeiten von Beginn und Ende an örtlich genau festgelegten Beobachtungsorten (Beobachtungsprogramm des Österreichischen Astronomischen Vereins mit lokalen Vorausdaten) / Mondrandprofil / Unregelmäßige Verlangsamung der Erddrehung / Beobachtung an Grenzlinien - Streifende Bedeckungen / Mondparallaxe / Keine Mondatmosphäre ...
- * Sternbedeckungen durch Planeten und Kleinplaneten: Durchmesser und Form / Planetenatmosphären ...
- * Astronomische Finsternisse in Planetenmond- und Sternsystemen: Bedeckungen, Verfinsterungen und Schattenvorübergänge Galileischer Jupitermonde / Bedeckungsveränderliche Sterne ...

Schon diese unvollständige Aufzählung gibt ein gutes Bild von der Vielfalt astronomischer Finsternisse, die mitzuerleben bereichert! Näheres in spezieller Literatur, über die gern informiert wird.

LITERATUR

- [1] Seminarpapiere 1979 "Astronomische Finsternisse". Astronomisches Büro, 1238 Wien, für Österreichischen Astronomischen Verein, Wien 1979.
- [2] Mucke, H., Meeus, J.: Canon der Sonnenfinsternisse, -2003 bis +2526. 2. Auflage, Astronomisches Büro, Wien 1992.
- [3] Fiala, D., De Young, J.A., Lukac, M.R.: Solar Eclipses, 1991-2000. Circular 170, United States Naval Observatory, Washington 1986.
- [4] Meeus, J., Mucke, H.: Canon der Mondfinsternisse, -2002 bis +2526. 3. Auflage, Astronomisches Büro, Wien 1992.
- [5] Mucke, H.: Österreichischer Himmelskalender ..., Astronomisches Büro, Wien. Erscheint alljährlich für das nächste Jahr.
- [6] Meeus, J.: Transits. Willmann-Bell, Inc., Richmond, VA, USA, 1989.
- [7] Mucke, H.: Astronomische Kurzkalender 1900 bis 2000. Astronomisches Büro, Wien 1989.
- [8] Meeus, J.: Astronomical Tables of the Sun, Moon and Planets. Willmann-Bell, Inc., Richmond VA, USA, 1983.
- [9] Mucke, H.: Beobachtungen von Bedeckungen durch den Mond. Der Sternbote, 9/1986, Astronomisches Büro, Wien 1986.

Prof. H. Mucke, Hasenwartgasse 32, A-1238 Wien.

Referat: **Die Sterne**

Die Sterne sind die häufigsten sichtbaren Himmelsobjekte. Sieht man von der lichtverschmutzten Großstadt aus nur wenige hundert Sterne, so kann man in einer sehr klaren Nacht mehrere tausend Sterne mit freiem Auge sehen.

Die hellsten Sterne der ersten Größenklasse sind die "Top 20". Bis zur 2. Größenklasse (2,5mag) gibt es etwa 100 Sterne. Die hellsten 1000 Sterne bis 4,75mag bilden die nächste Gruppe.

In diesem Referat wird versucht, neben den wichtigsten mit freiem Auge, Fernglas (z.B. 8x30 oder 7x50) oder kleinem Fernrohr (z.B. Telementor, siehe Lit.1) beobachtbaren Eigenschaften der Sterne auch eine Liste jeweils "besonderer Objekte" und eigene Beobachtungsmöglichkeiten anzubieten.

Zur Beobachtung der Sterne sind gute Sternkarten unerlässlich. Besonders empfehlenswert ist eine drehbare Sternkarte (z.B. Lit.7), ein Sternatlas bis etwa 6mag (Lit.8) und ein Sternatlas bis 8mag (Lit.9).

1 Die Natur der Sterne

Sterne sind Sonnen ähnlich der unseren, die tief in ihrem Inneren ungeheuer große Energiemengen erzeugen und daher leuchten. Die Energiequelle der Sterne ist die Kernfusion: Wasserstoff wird in Helium umgewandelt und dabei wird Energie frei. Bei bestimmten Sternen finden auch weitere Kernprozesse statt, die noch schwerere Elemente (Kohlenstoff, Sauerstoff etc.) erzeugen.

Die wichtigste Eigenschaft eines Sterns ist seine Masse. Die Sonne ist ein durchschnittlicher Stern mit 330.000 Erdmassen. Es gibt Sterne mit 1/10 und solche mit fast 100 Sonnenmassen. Eine weitere wichtige Eigenschaft ist die Oberflächentemperatur: Kühle Sterne haben etwa 2700°C (3000 K), die Sonne etwa 6000 K und heiße Sterne bis zu 50000 K. Sterndurchmesser können sehr unterschiedlich sein. Es gibt bizarre "tote" Sterne, die kleiner als die Erde sind. Die Sonne ist 109mal größer als die Erde. Die größten Sterne sind riesig (mehrere 100 Sonnendurchmesser) und würden an die Stelle der Sonne gesetzt das Planetensystem noch weiter als bis zum Mars ausfüllen.

2 Sternnamen

Einige hundert der helleren Sterne haben seit ältesten Zeiten Namen. Unsere heute benutzten Sternnamen stammen teils aus dem Griechischen bzw. Lateinischen (Sirius, Regulus) sowie dem Arabischen (Rigel, Beteigeuze). Wirklich in Gebrauch sind heute meist nur noch einige Dutzend dieser Namen.

Johannes Bayer (um 1600) verwendete griechische Buchstaben (α , β , γ usw.) zusammen mit dem lateinischen Genitiv des Sternbilds: Sirius heißt auch α Canis Majoris. Bayer hat oft eine grobe Helligkeitsreihenfolge eingehalten (α ist der hellste Stern des Sternbilds, β der zweithellste usw.).

1. Fortsetzung Referat: Die Sterne

John Flamsteed ordnete hundert Jahre später den Sternen eines Sternbilds von West nach Ost Nummern zu: Sirius ist nach ihm als α Canis Majoris bezeichnet.

Die schwächeren Sterne tragen oft nur Nummern in einem Sternkatalog. Bei Sirius lauten diese z.B.:

BD $-16^{\circ}1591$ bzw. DM $-16^{\circ}1591$: Bonner Durchmusterung (um 1860)

HD 48915: Henry Draper Katalog (um 1900)

HR 2491 bzw. BS 2491: "Harvard Revised" bzw. "Bright Star Catalog"

SAO 151881: Smithsonian Astrophysical Observatory (1960-70)

3 Die Sterne am Himmel

3.1 Verteilung der Sterne am Himmel

Die hellsten Sterne sind ziemlich regellos am Himmel verteilt. Aber schon bei den Sternen bis $4,75\text{mag}$ merkt man eine deutliche Konzentration zur Ebene der Milchstraße (dem galaktischen Äquator): es gibt drei mal mehr Sterne pro Quadratgrad bei der galaktischen Breite 0° (Äquator) als bei der galaktischen Breite 90° (Pol). Bei den Sternen bis $11,0\text{mag}$, die bereits in einem kleinen Fernrohr sichtbar sind, ist diese Konzentration noch ausgeprägter: es gibt im Mittel 20 Sterne pro Quadratgrad bei der galaktischen Breite 0° und nur 4 bei Breite 90° .

1. Beobachtung: Mit einem kleinem Fernrohr wählen Sie eine niedrige Vergrößerung (z.B. 20-50x). Wie viele Sterne sind in verschiedenen Gegenden des Himmels im Gesichtsfeld des Okulars sichtbar? Wie stark streuen die Zählungen der einzelnen Sternfelder? Wie ist die Abhängigkeit der Sternzahl von der galaktischen Breite der beobachteten Himmelsregion?

Wie stark ist die Abhängigkeit von der Höhe der Sternfelder? Siehe den Abschnitt über Extinktion!

3.2 Besondere Lagen von Sternen am Himmel

3.2.1 Äquatoreales Koordinatensystem

Besonders hervorgehoben ist der Nordpol durch den Polarstern (2.Größe). Polaris wird (durch die Präzession der Erdachse) im Jahr 2102 den geringsten Abstand vom Pol mit $27,5'$ erreichen.

Am Südpol gibt es dagegen nur ein schwaches Sternchen 5.Größe, das dort als Polarstern dienen kann: Sigma Octantis in 1° Abstand vom Südpol.

Der Himmelsäquator wird durch folgende hellere Sterne markiert: δ Ori ($2,3\text{mag}$) und α Aqr ($3,0\text{mag}$).

3.2.2 Ekliptikales Koordinatensystem

Der Nordpol der Ekliptik ist nicht durch hellere Sterne hervorgehoben (aber durch einen im kleinen Fernrohr gut sichtbaren Planetarischen Nebel: NGC 6543). In der Nähe des Südpols der

2. Fortsetzung Referat: Die Sterne

Ekliptik finden wir die Große Magellansche Wolke (Mitte in 85° Südbreite).

Die Ekliptik wird am besten angezeigt durch: Regulus (α Leo; 1,4mag), in 2° Südbreite Spika (α Vir; 1,0), den Doppelstern α Lib (2,8) und β Sco (2,9mag; ebenfalls ein schöner Doppelstern).

3.2.3 Galaktisches Koordinatensystem

In Richtung zum Nordpol der Milchstraße sehen wir keine helleren Sterne. Er liegt im Haar der Berenike etwa in der Mitte des durch Arktur (α Boo), α CVn und β Leo gebildeten Dreiecks.

Der Südpol ist ebenfalls in einer sternarmen Gegend sichtbar: 10° südlich von β Cet (2,0mag), 2° NW von α im Bildhauer (4,3mag). Nicht einmal 1° entfernt ist der bereits im Fernglas sichtbare Kugelsternhaufen NGC 288.

Nahe der Ebene der Milchstraße stehen: γ Cyg (2,2mag) bzw. Deneb (α Cyg; 1,3mag), α Cen (-0,3) und β Cen (0,6) sowie α Cru (0,9mag).

4 Die Helligkeit der Sterne

4.1 Scheinbare Helligkeit

Die Helligkeit der Sterne wird seit dem Altertum in Größenklassen (magnitudo = Größe; abgekürzt mag) angegeben. Die Sterne 1.Größe (1mag) sind die ersten in der Abenddämmerung erscheinenden, die Sterne 2.Größe (2mag) die zweiten usw. In sternklaren Nächten sieht man mit freiem Auge bis etwa 6mag, mit einem Fernglas (z.B. 7x50) bis 9 oder 10mag, mit kleinem Fernrohr (Telementor) bis 11mag schwache Sterne.

Spika (α Vir) hat nach dieser Skala genau 1,0mag. Um auch heller sichtbare Sterne wie Arktur (α Boo) einzureihen, wurde die Helligkeitsskala zu 0mag (Arktur, Wega, α Cen) bzw. -1mag (Sirius) erweitert.

Scheinbare Sternhelligkeiten werden meist nicht absolut sondern relativ zu Vergleichssterne gemessen.

4.2 Die hellsten Sterne des Himmels

Genaueres zu den hellsten Sternen des Himmels bietet Lit.2.

In der folgenden Tabelle sind alle Sterne 1.Größe nach absteigender Helligkeit geordnet.

var Helligkeit merkbar variabel (Veränderlicher Stern)

* Summierte Helligkeit eines engen, mit freiem Auge nicht trennbaren Doppelsterns

3. Fortsetzung Referat: Die Sterne

Rang	Name	Bayer-Bezeichnung	Helligkeit
1	Sirius	α CMa	-1,46
2	Kanopus	α Car	-0,72
3	Rigil Kentaurus	α Cen	-0,27*
4	Arktur	α Boo	-0,04
5	Wega	α Lyr	+0,03
6	Kapella	α Aur	+0,08
7	Rigel	β Ori	+0,12
8	Prokyon	α CMi	+0,38
9	Achernar	α Eri	+0,46
10	Beteigeuze	α Ori	+0,50var
11	Hadar	β Cen	+0,61

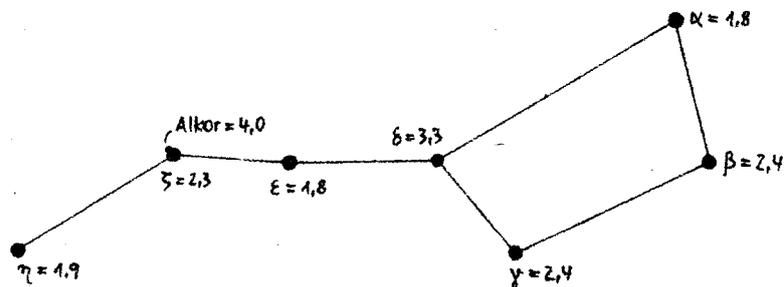
Rang	Name	Bayer-Bezeichnung	Helligkeit
12	Atair	α Aql	+0,77
13	Aldebaran	α Tau	+0,85var
14	Acrux	α Cru	+0,87*
15	Antares	α Sco	+0,96var
16	Spika	α Vir	+0,98
17	Pollux	β Gem	+1,14
18	Fomalhaut	α PsA	+1,16
19	Deneb	α Cyg	+1,25
20	Mimosa	β Cru	+1,25
21	Regulus	α Leo	+1,35

4.3 Helligkeitsschätzungen

Helligkeitsmessungen werden auch mit Meßgeräten (Photometern) fast immer relativ zu anderen Sternen gemacht. Auch mit freiem Auge kann sehr einfach und relativ genau (bis 0,1 oder 0,2mag) die Helligkeit der Sterne durch Einschätzung gegen Vergleichssterne geschätzt werden. Die Vergleichssterne bilden dabei eine Art "Helligkeitslineal", auf das man den zu messenden Stern positioniert.

Zum Ausprobieren kann z.B. der Himmelswagen dienen:

Abb. 1



1. Beobachtung: Ordnen Sie die Sterne des Himmelswagens nach ihrer Helligkeit. Bei δ UMA ist das leicht, das ist der schwächste. Wie sehen Sie es bei den anderen Sternen?

2. Beobachtung: Der hellere Vergleichssterne ist α UMA, der schwächere δ UMA. Wo würden Sie auf dieser Skala β UMA einordnen? Genau in der Mitte?

3. Beobachtung: Wenn Sie α UMA die "Helligkeit" 0 und δ UMA die "Helligkeit" 10 geben: welche Helligkeit haben die anderen Sterne des Himmelswagens auf dieser Skala? Welchen Bezug hat das zu ihrer scheinbaren Helligkeit in Größenklassen?

4.4 Die schwächsten sichtbaren Sterne (Grenzgröße)

Mit freiem Auge können in außerordentlich klarer dunkler Nacht noch Sterne bis 6,5mag, in Extremfällen noch etwas schwächere gesehen werden. An meinem Wohnort in Wien-Floridsdorf sehe ich selten schwächere Sterne als 4,5mag.

4.4.1 Grenzgrößen-Testfeld

Zur Bestimmung der mit freiem Auge erreichbaren Grenzgröße kann die immer sichtbare Himmelsgegend um den Polarstern (Kleiner Wagen) dienen:

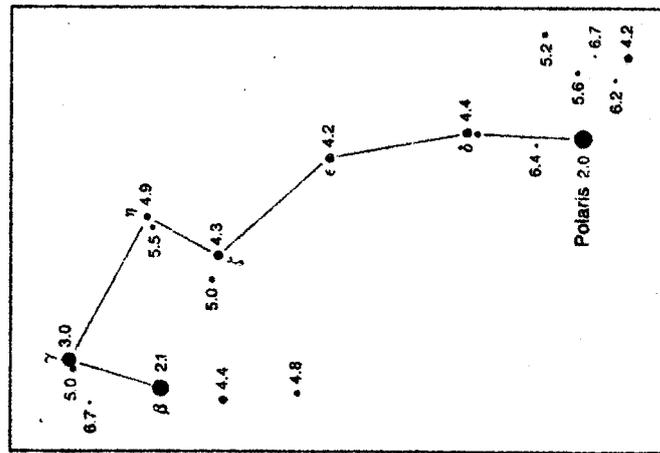


Abb. 2

Beobachtung: Welche Grenzgröße erreichen Sie mit freiem Auge? Wie ist die Abhängigkeit von der Entfernung zur Stadt? Es gibt große Unterschiede von Nacht zu Nacht und auch innerhalb einer Nacht, abhängig von den Wetterbedingungen.

4.4.2 Grenzgröße mit Fernglas bzw. Fernrohr

Sternfeld um den Himmelspol:

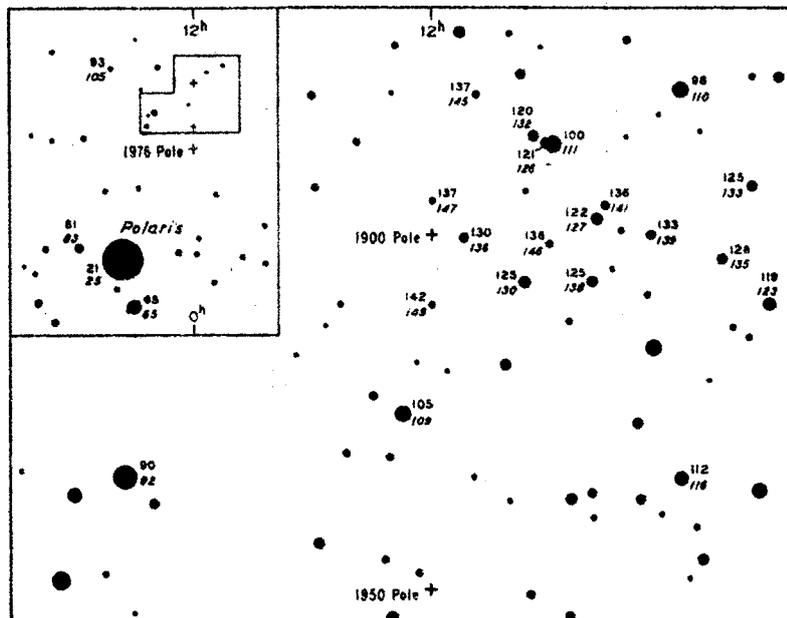


Abb. 3

5. Fortsetzung Referat: Die Sterne

Beobachtung: Bestimmen Sie die schwächsten mit Fernglas bzw. Fernrohr sichtbaren Sterne! Zur Abschätzung des Helligkeitsgewinns gegen die Beobachtung mit freiem Auge kann z.B. die Formel aus Lit.3 dienen: $G = \text{Gewinn in Größenklassen}$, $D = \text{Durchmesser des Fernrohrs in mm}$, $V = \text{Vergrößerung}$:

$$G = 2,8 \log D + 1,9 \log V - 2,4$$

(Für ein 63mm Fernrohr bei $V=34x$: $G=5,5\text{mag}$; bei $V=84x$: $G=6,3\text{mag}$).

4.4.3 Grenzgröße und Höhe

Die sichtbare Grenzgröße schwankt stark mit der Höhe über dem Horizont. Selbst bei extrem klarem Himmel bemerkt man ab etwa 3° Höhe eine sehr deutliche Trübung der Sterne, die durch die Lufthülle der Erde bewirkt wird (Extinktion). Nur bei so klarem Himmel kann man hoffen, helle Sterne wirklich auf- bzw. untergehen zu sehen.

Lit.4 bietet eine nützliche Tabelle der Extinktion abhängig von der Höhe und dem "Trübungskoeffizienten" β an. $\beta = 0,01$ (Hochgebirge); $0,05$ (sehr klar); $0,10$ (leicht trüb); $0,20$ (sehr trüb)

Abb. 4

H'	β	β	β	β	M	H'	β	β	β	β	M
	0,01	0,05	0,10	0,20			0,01	0,05	0,10	0,20	
	mag	mag	mag	mag			mag	mag	mag	mag	
0,0°	4,5	8,0	12,4	21,1	38	19°	0,3	0,4	0,7	1,2	3,049
0,5	3,8	6,7	10,4	17,7	32	20	0,2	0,4	0,6	1,1	2,904
1,0	3,2	5,6	8,7	14,9	27,0	22	0,2	0,4	0,6	0,9	2,654
2,0	2,3	4,1	6,3	10,7	19,8	24	0,2	0,3	0,5	0,8	2,447
3,0	1,8	3,1	4,8	8,2	15,36	26	0,2	0,3	0,4	0,7	2,274
4,0	1,4	2,5	3,8	6,5	12,44	28	0,1	0,2	0,4	0,6	2,123
5,0	1,2	2,0	3,2	5,4	10,40	30	0,1	0,2	0,3	0,6	1,995
6,0	1,0	1,7	2,6	4,5	8,90	32	0,1	0,2	0,3	0,5	1,882
7,0	0,8	1,5	2,3	3,9	7,77	34	0,1	0,2	0,3	0,4	1,784
8,0	0,7	1,3	2,0	3,4	6,88	36	0,1	0,2	0,2	0,4	1,698
9,0	0,6	1,1	1,7	3,0	6,18	38	0,1	0,1	0,2	0,4	1,621
10,0	0,6	1,0	1,5	2,6	5,60	40	0,1	0,1	0,2	0,3	1,553
11,0	0,5	0,9	1,4	2,4	5,120	45	0,1	0,1	0,1	0,2	1,413
12,0	0,5	0,8	1,2	2,1	4,716	50	0,0	0,1	0,1	0,2	1,304
13,0	0,4	0,7	1,1	1,9	4,372	55	0,0	0,0	0,1	0,1	1,220
14,0	0,4	0,7	1,0	1,8	4,075	60	0,0	0,0	0,1	0,1	1,154
15,0	0,3	0,6	0,9	1,6	3,816	65	0,0	0,0	0,0	0,1	1,103
16,0	0,3	0,6	0,9	1,5	3,588	70	0,0	0,0	0,0	0,0	1,064
17,0	0,3	0,5	0,8	1,4	3,388	80	0,0	0,0	0,0	0,0	1,015
18,0	0,3	0,5	0,7	1,3	3,209	90	0,0	0,0	0,0	0,0	1,000

E Tafelwert; E' Extinktion für den Druck p (mm). $E' = E \cdot p / 760$.

Beobachtung: die Bestimmung der Extinktion erfolgt am besten über Sternzählungen im Gesichtsfeld eines kleinen Fernrohrs.

5 Die Farben der Sterne

Bei aufmerksamer Beobachtung bemerkt man, daß die Sterne nicht alle weiß erscheinen. Besonders bei Aldebaran, Beteigeuze, Arktur und Antares bemerkt man eine deutlich gelblich-rötliche Farbe, vor allem beim Vergleich mit weißen Sternen wie Rigel, Sirius, Spika und Wega.

Die Farben der Sterne sind allerdings nicht sehr gesättigt. Durch die enorme Konzentration des Sternlichts auf einen Punkt nehmen wir vor allem die Helligkeit und nur wenig von der Farbe wahr. Selbst ein "roter" (gelber?) Riese wie Beteigeuze hat immerhin eine Oberflächentemperatur von etwa 3000° , etwa vergleichbar mit der

6. Fortsetzung Referat: Die Sterne

glühenden Wolframwendel einer Glühbirne. Die Farbe des Glühbirnenlichts würden wir als gelblich oder vielleicht orange bezeichnen. Vor allem bei Fotos in künstlich beleuchteten Räumen mit normalem Farbfilm für Tageslicht bemerkt man diesen Farbstich.

5.1 Sternfarben und ihre Beobachtung

Die einfachste Möglichkeit der Beobachtung von Sternfarben ist die Einschätzung nach einer Farbenskala. H.Osthoff gibt folgende Skala an (Lit.5):

Farb- stufe	Farbe	Beschreibung
0	W	Weiß
1	GW	Gelblichweiß (Weiß überwiegt)
2	WG	Weißgelb (Weiß und Gelb zu gleichen Teilen)
3	HG	Hellgelb oder Bläßgelb
4	G	Reingelb
5	DG	Dunkelgelb, ein gesättigtes tiefes Gelb
6	RG	Rötlichgelb (Gelb überwiegt)
7	O	Gelb und Rot zu gleichen Teilen (Orange)
8	GR	Gelblichrot (Rot überwiegt)
9	R	Rot

Bei Bedarf kann die Skala noch zu -1 (Bläulich-Weiß) erweitert werden. Bei manchen Doppelsternen bemerkt man im Fernrohr manchmal intensivere Farben als in der Skala angegeben. Sie entstehen meist durch Kontrasteffekte.

1.Beobachtung: Sternfarben beobachtet man am bestem im Fernglas bzw. einem kleinen Fernrohr; sie wirken dann intensiver: so fand ich z.B. folgende Farbstufen:

Stern	Freies Auge	10cm Newton Spiegel
α Boo	3	6
α Lyr	0	0

2.Beobachtung: Sehr lehrreich ist die Farbschätzung hellerer Sterne (bis etwa 5mag mit einem kleinen Fernrohr recht gut durchführbar) und die Beziehung der Sternfarben zum Spektraltyp bzw. zu einem Farbindex. Die heißesten Sterne vom Spektraltyp B bzw. A erscheinen mit Farbstufe 0 bis 1. Die kühlest M-Sterne erscheinen mit Farbstufe 6 bis 7. Sehr kühle Sterne sind besonders rot und können mit Farbstufe 8 oder 9 erscheinen. Dazu verwendbare Sternkataloge sind die Tabellen in den nächsten Abschnitten und z.B. Lit.6.

7. Fortsetzung Referat: Die Sterne

5.1.1 Tabelle der röteten Sterne (für das freie Auge)

Sternname	Rekt 2000.0	Dekl 2000.0	Hellig- keit mag	Spektral typ	Farb- index B-V	Anmerkungen
α Ori	5h55m	+ 7,4°	0,4-1,3	M2	+1,85	Beteigeuze
UU Aur	6 37	+38,4	5,1-7,1	C5	+2,61	
U Hya	10 38	-13,4	4,8-5,8	N2	+2,68	
Y CVn	12 45	+45,4	5,5-6,0	N7.7	+2,54	Secchi: "La Superba"
α Sco	16 29	-26,4	0,9-1,8	M1	+1,83	Antares
μ Cep	21 44	+58,8	3,6-5,1	M2	+2,35	Wilhelm Herschels "Granatstern"
TX Psc	23 46	+ 3,5	5,3-5,8	C5	+2,60	19 Psc

Alle Sterne der Tabelle haben veränderliche Helligkeit. Spektraltyp M ist der kühlfte der Standardreihe der Spektraltypen "OBAFGKM". Die Spektraltypen C und N ähneln M, zeigen aber Banden von Kohlenstoff im Spektrum ("Kohlenstoffsterne"). Der Farbindex wird im nächsten Abschnitt besprochen.

5.2 Farbindices und ihre Beobachtung

5.2.1 Helligkeiten und Farbbereiche

Jeder Empfänger für Licht hat sein Empfindlichkeitsmaximum in einem anderen Farbbereich (Spektralbereich; Wellenlänge). Daher muß man bei Helligkeiten auch angeben, mit welchem Empfänger sie bestimmt wurden und ob ein Farbfilter verwendet wurde.

Visuelle Helligkeiten (durch "v" gekennzeichnet) gelten für das Auge (Empfindlichkeitsmaximum um 510nm). Photographische Helligkeiten ("p" oder "pg") gelten für blauempfindliche Astroplatten (Empfindlichkeitsmaximum um 460nm).

Die lichtelektrische Photometrie definiert verschiedene Helligkeitssysteme durch die Verwendung von Farbfiltern; für unsere Zwecke sind vor allem interessant:

Helligkeitssystem	entspricht etwa	effektive Wellenlänge
B (Blauhelligkeit)	photographische Helligkeit	450 nm
V (Visuell)	visuelle Helligkeit	555 nm
R (Rot)		670 nm

5.2.2 Farbindex

Die Differenz zweier Helligkeiten in verschiedenen Systemen heißt Farbindex. So hat z.B. Arktur die Helligkeit -0,04mag (V) aber nur +1,19mag (B). Sein Farbindex B - V (B minus V) ist daher +1,23mag. Früher wurde stattdessen oft der Farbindex "photographisch minus visuell" ($m_{pg} - m_{vis}$) verwendet.

5.2.3 Visuelle Helligkeit (v) und lichtelektrische V-Helligkeit

Untersuchungen der AAVSO-Veränderlichenbeobachter deuten darauf hin, daß vor allem bei rötteren Sternen ein merkbarer Unterschied zwischen der visuellen Helligkeit und der Helligkeit im V-System besteht: das Auge scheint rote Sterne schwächer zu sehen als der V-Filter. Eine Untersuchung (Lit.3) findet die Beziehung:

$$v = V + 0,16 (B - V)$$

wobei v = visuelle Helligkeit, V = lichtelektrische Helligkeit im V-System, B-V = Farbindex. Beispiel Beteigeuze: V = 0,8mag (veränderlich), B-V = +1,85mag, v = 1,1mag (0,3mag schwächer!)
Beobachtung (für fortgeschrittene Beobachter): Welche Beziehung zwischen v und V finden Sie heraus?

5.2.4 Helligkeiten, Farbindices und Spektraltypen der hellsten Sterne

Die Sterne sind nach Rektaszension 2000.0 sortiert:

Stern	V/D	B	V	R	B-V	V-R	Spektraltyp
α Eri		0,32	0,47	0,50	-0,15	-0,03	B3
α Tau	V	2,40	0,86	-0,37	+1,54	+1,23	K5
β Ori		0,10	0,13	0,12	-0,03	+0,01	B8
α Aur		0,88	0,08	-0,52	+0,80	+0,60	G5
α Ori	V	2,26	0,42	-1,22	+1,84	+1,64	M1
α Car		-0,60	-0,75	-0,99	+0,15	+0,24	F0
α CMa		-1,46	-1,46	-1,46	+0,00	+0,00	A1
α CMi		0,79	0,37	-0,05	+0,42	+0,42	F5
β Gem		2,14	1,14	0,39	+1,00	+0,75	K0
α Leo		1,24	1,35	1,37	-0,11	-0,02	B7
α_1 Cru	D	1,32	1,58	0,88	-0,26	+0,70	B1
α_2 Cru	D		2,09				B1
β Cru		1,02	1,25	1,38	-0,23	-0,13	B1
α Vir	V	0,74	0,97	1,06	-0,23	-0,09	B1
β Cen		0,38	0,61		-0,23		B1
α Boo		1,18	-0,05	-1,02	+1,23	+0,97	K1
α_2 Cen	D	2,21	1,33		+0,88		K1
α_1 Cen	D	0,70	-0,01		+0,71		G2
α Sco	V	2,75	0,91	-0,64	+1,84	+1,55	M1
α Lyr		0,03	0,03	0,07	0,00	-0,04	A0
α Aql		0,98	0,76	0,62	+0,22	+0,14	A7
α Cyg		1,34	1,25	1,14	+0,09	+0,11	A2
α PsA		1,25	1,16	1,10	+0,09	+0,06	A3

V/D V = Veränderlicher Stern,
 D = Komponente des Doppelsternsystems
 B, V, R Helligkeit in den Systemen der lichtelektrischen
 Photometrie
 B-V, V-R Farbindices

9. Fortsetzung Referat: Die Sterne

Spektralt. folgt der Reihe "OBAFGKM" von den heißen O- bis zu den kühlen M-Sternen

5.3 Beobachtung eines Farbindex

Schon mit freiem Auge läßt sich bei Benutzung eines Farbfilters ein Farbindex (unterschiedliche Helligkeit in zwei Spektralbereichen) beobachten. Bei den Farbfiltern des Telementor eignet sich vor allem der Blaufilter für solche Versuche (der Rotfilter ist zu dunkel und zeigt selbst die Sterne 1.Größe nicht mehr; Filterkurven siehe Lit.11).

Zwei besonders geeignete Sternpaare für diese Beobachtung sind α und γ Ori (Beteigeuze und Bellatrix) sowie α und β Gem (Kastor und Pollux).

α und γ Ori: ohne Filter ist α deutlich 1mag heller als γ (ein wenig abhängig von der aktuellen Helligkeit von α , die veränderlich ist!). Mit Blaufilter zeigt sich der Orion wie gewohnt (alle Sterne sind weiße bzw. bläuliche Sterne). Nur Beteigeuze ist stark geschwächt und fast unsichtbar. Im blauen Licht ist α sicher 1mag schwächer als γ . Helligkeiten und Farbindices:

Stern	V/D	B	V	R	B-V	V-R	Spektraltyp
α Ori	V	2,26	0,42	-1,22	+1,84	+1,64	M1
γ Ori		1,42	1,64	1,73	-0,22	-0,09	B2

α und β Gem: ohne Filter ist β merkbar heller als α . Mit Blaufilter ist das gerade umgekehrt (β ist ein rötlicher Stern).

Stern	V/D	B	V	R	B-V	V-R	Spektraltyp
α Gem	D	1,62	1,58	1,52	+0,04	+0,06	A1
β Gem		2,14	1,14	0,39	+1,00	+0,75	K0

6 Sternspektren

6.1 Spektraltypen

Eines der wichtigsten Werkzeuge der Astronomie um etwas über die Sterne herauszufinden ist die Spektralanalyse.

Ein Spektrum ist eine Aufzeichnung der Intensität des Lichts in unterschiedlichen Wellenlängen in der äußeren Hülle eines Sterns. Man kann sich die gasförmige Oberfläche eines Sterns als aus zwei Schichten bestehend vorstellen. Die tiefere, relativ dichte Schicht leuchtet in allen Wellenlängen und erzeugt ein kontinuierliches Spektrum. Darüber ist kühlere und verdünntere Materie, die Licht bestimmter Wellenlängen absorbiert.

Die Strahlung der tieferen Schicht hängt nur von ihrer Temperatur ab. Ein heißerer Stern sendet mehr blaue als rote Strahlung als ein

10. Fortsetzung Referat: Die Sterne

kühlerer aus. Die obere Schicht ist eine Mischung aller Arten von Atomen (und bei kühlen Sternen auch Molekülen). Die Elektronen können auf ihrer Bahn um die Atomkerne nur ganz bestimmte Energiestufen annehmen, die charakteristisch für eine Atomsorte sind. Wenn nun die Kontinuumsstrahlung aus den tieferen Schichten durch die obere Schicht dringt, kann ein Atom nur Licht ganz bestimmter Wellenlängen aufnehmen. Wenn es genügend Atome dieser Sorte gibt, sehen wir eine Verdunkelung im Spektrum: eine dunkle Absorptionslinie.

Zu Beginn unseres Jahrhunderts wurde die noch heute gültige Spektralklassifikation der Sterne durch die Arbeiten am Henry Draper Katalog entwickelt.

Typ	Farbe	Farbindex B-V	Temperatur K	Spektrum und Beispiele
O	blau	weniger als -0,2	25000-40000	Starke Linien von ionisiertem Helium und hoch ionisierten Metallen; Wasserstofflinien schwach ζ Orionis (O9.5)
B	blau	-0,2 bis 0,0	11000-25000	Linien des neutralen Helium auffallend; Wasserstofflinien schwächer als beim Typ O Spika (B1), Rigel (B8)
A	blau bis weiß	0,0 bis 0,3	7500-11000	Starke Wasserstofflinien, ionisiertes Kalzium und andere ionisierte Metalle; schwache Heliumlinien Wega (A0), Sirius (A1), Deneb (A2)
F	weiß	0,3 bis 0,6	6000 bis 7500	Wasserstofflinien schwächer als beim Typ A; ionisiertes Kalzium stark; Linien neutraler Metalle werden auffallend Canopus (F0), Prokyon (F5), Polaris (F8)
G	weiß bis gelb	0,6 bis 1,1	5000 bis 6000	Zahlreiche starke Linien von ionisiertem Kalzium und anderen Metallen; Wasserstofflinien schwächer als beim Typ F Sonne (G2), Capella (G8)
K	orange bis rot	1,1 bis 1,5	3500 bis 5000	Zahlreiche starke Linien neutraler Metalle Arktur (K2), Aldebaran (K5)
M	rot	größer als 1,5	3000 bis 3500	Zahlreiche starke Linien neutraler Metalle; starke Molekülbanden (hauptsächlich Titanoxid) Antares (M1), Beteigeuze (M2)

11. Fortsetzung Referat: Die Sterne

Die Spektraltypen werden noch genauer dezimal unterteilt (was die Reihe ... F0 F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8 F9 G0 G1 G2 ... ergibt). Sogar engere Unterteilungen sind heute üblich (O9.5). Bei gleichem Spektraltyp zeigen sich noch kleine Unterschiede im Spektrum und führen so auch zur Einteilung in Sterne hoher bzw. kleiner Leuchtkraft (Riesen und Zwerge; siehe Lit.2).

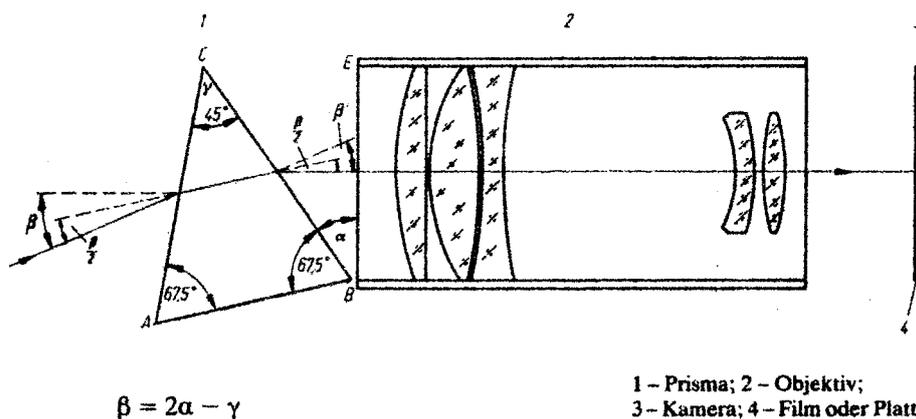
6.2 Visuelle Beobachtung von Sternspektren

Mit einem Okularspektroskop (Telementor siehe Lit.11) wie z.B. auf der Urania-Sternwarte lassen sich die wichtigsten Spektrallinien des Wasserstoffs bei den A-Sternen recht deutlich sehen. Weitere Einzelheiten (viele Spektrallinien) zeigt nur das Sonnenspektrum, da nur dafür genug Licht vorhanden ist.

6.3 Photographische Beobachtung von Sternspektren

Sehr einfach und billig ist die photographische Beobachtung von Sternspektren mit einem spaltlosen Objektivprismenspektrographen. Ein Versuch mit einem 135mm Teleobjektiv, vor das ein Glasprisma aus einem alten Fernglas mit einer Papphalterung gesetzt wurde war sehr erfolgreich. Die brechende Kante des Prismas wurde parallel zur täglichen Bewegung des Himmels gedreht. Die Kamera darf den Sternen nicht nachgeführt werden; dadurch verbreitert sich das schmale Spektralband durch die Mithilfe der Erddrehung. Bei einer Belichtungszeit von wenigen Minuten lassen sich die Wasserstofflinien bei Wega (A-Stern) hervorragend aufnehmen.

Abb. 5



Mit nachgeführter Kamera (z.B. mit "parallaktischem Pult" bzw. am Telementor) läßt man den Stern immer wieder durch die tägliche Bewegung aus dem Fadenkreuz wandern (etwa eine Minute) und holt ihn dann wieder zurück in die Gesichtsfeldmitte. Je weniger man das Spektrum verbreitert, um so schwächere Sterne lassen sich bei gleicher Belichtungszeit spektroskopieren. Man erreicht selbst mit dieser einfachen Anordnung 3. oder 4.Größe!

Eine Bauanleitung für einen solchen Spektrographen und weitere Tips bietet Lit.12.

7 Doppelsterne

Viele Sterne sind als Doppelsterne oder Mehrfachsterne sichtbar (Lit.10). Die meisten sind echte Doppelsterne, bei denen sich zwei oder mehrere Sonnen umkreisen (mit Perioden von Jahren bis zu unmeßbar langen Zeiträumen); Beispiel: Kastor (α Gem). Bei den sehr langen Perioden verraten sich zusammengehörige Sterne durch gleiche Eigenbewegung oder gleiche Radialgeschwindigkeit (Beispiel: Mizar = ζ UMa).

Daneben gibt es optische Doppelsterne: hier stehen zwei Sterne zwar am Himmel dicht nebeneinander; im Raum jedoch weit hintereinander.

Ein schönes Beispiel ist δ Herculis.

Leicht beobachtbar sind auch photometrische Doppelsterne: hier bedeckt ein Stern den anderen regelmäßig im Umlauf. Man spricht auch von Bedeckungsveränderlichen. Das schönste Beispiel ist Algol (β Per). Sie werden im Abschnitt über Veränderliche näher vorgestellt.

7.1 Doppelsterne für das freie Auge

Mit freiem Auge sollte das Paar Mizar-Alkor ("Reiterlein") für jeden leicht trennbar sein. Besonders scharfe Augen können auch noch näher zusammen stehende Sterne der folgenden Liste erkennen. Die Liste ist nach zunehmendem Schwierigkeitsgrad geordnet:

Stern	Rekt 2000.0	Dekl 2000.0	Helligkeiten	Distanz	Positionswinkel
$\omega_1 + \omega_2$ Cas	0h57m	+59,2°	4,6 + 4,8mag	18'	
$\omega_1 + \omega_2$ Sco	16 07	-20,7	4,0 + 4,3	14,6	145°
Mizar-Alkor	13 24	+54,9	2,4 + 4,0	11,8	71
ζ UMa-80 UMa					
δ Lyr	18 55	+36,9	4,5 + 5,6	10,3	296
σ Tau	4 39	+15,9	4,7 + 5,1	7,2	194
α Cap	20 18	-12,5	3,6 + 4,2	6,3	291
μ Sco	16 52	-38,1	3,1 + 3,6	5,8	72
κ Tau	4 25	+22,3	4,4 + 5,4	5,7	173
θ Tau	4 29	+15,9	3,4 + 3,8	5,6	346
υ Pup	7 18	-36,7	4,7 + 5,1	4,0	97
α Lib	14 51	-16,0	2,7 + 5,2	3,9	314
ϵ Lyr	18 44	+39,6	5,0 + 5,1	3,5	173
16+17 Dra	16 36	+52,9	5,2 + 5,6	1,5	194
ν Dra	17 32	+55,2	5,0 + 5,0	1,0	313

Der Positionswinkel ist wie üblich im Sinn NOSW gezählt (vom Hauptstern Richtung N = 0°, O = 90°, S = 180°, W = 270°).

7.2 Doppelsterne für das Fernglas

Das Auflösungsvermögen eines Fernglas für Doppelsterne hängt vor allem von seiner Vergrößerung ab. Es gilt etwa

$$A = 200'' / V$$

wobei A = Auflösungsvermögen in Bogensekunden und V = Vergrößerung. Ein Fernglas 8x30 löst demnach zwei Sterne bis zu einer Distanz von 25'' auf. Ruhige Aufstellung bzw. Befestigung ist dabei vorausgesetzt!

Eine Auswahl der schönsten Objekte (sortiert nach Rektaszension):

Stern	Rekt 2000.0	Dekl 2000.0	Helligkeiten	Distanz	Positionswinkel
ψ 1 Psc	1h06m	+21,5°	5,3 + 5,6mag	31''	160°
ζ Psc	1 14	+ 7,6	5,2 + 6,3	23	63
δ Ori	5 32	- 0,3	2,2 + 6,9	52	0
θ Ori	5 35	- 5,4	4,9 + 5,0	135	314
θ_2 Ori	5 35	- 5,4	5,2 + 6,5	53	92
Σ 747 Ori	5 35	- 6,0	4,8 + 5,7	35	228
σ Ori	5 39	- 2,6	3,8 + 6,5	43	61
γ Lep	5 45	-22,5	3,6 + 6,2	95	350
τ Leo	11 28	+ 2,9	5,1 + 8,0	91	176
17 CVn	13 10	+38,5	6,0 + 6,2	84	297
α Lib	14 51	-16,0	2,7 + 5,2	231	314°
δ Boo	15 16	+33,3	3,5 + 7,8	105	79
μ Boo	15 25	+37,4	4,3 + 6,5	108	171
ν Sco	16 12	-19,5	4,0 + 6,3	41	337
16+17 Dra	16 36	+52,9	5,2 + 5,6	90	194
ν Dra	17 32	+55,2	5,0 + 5,0	62	313
ψ Dra	17 42	+72,2	4,6 + 5,8	30	16
ϵ Lyr	18 44	+39,6	5,0 + 5,1	208	173°
ζ Lyr	18 45	+37,6	4,3 + 5,9	44	149
θ Ser	18 56	+ 4,2	4,1 + 5,0	22	103
β Cyg	19 31	+38,0	3,1 + 5,1	34	54
α_1 Cyg	20 14	+46,7	3,8 + 6,7 + 4,8	107 338	173 323
α Cap	20 18	-12,5	3,6 + 4,2	376	291
β Cap	20 21	-14,8	3,1 + 6,2	205	267
61 Cyg	21 07	+38,8	5,2 + 6,1	30	149
δ Cep	22 29	+58,4	3,5 + 7,5	41	192

7.3 Doppelsterne für ein kleines Fernrohr

Ein kleines Fernrohr zeigt bei guter Luft Doppelsterne gleicher Helligkeit der Komponenten bis zur folgenden Grenze:

$$A = 116'' / D$$

wobei A = Auflösungsvermögen in Bogensekunden und D = Durchmesser des Objektivs in mm ist. Für ein 63mm Fernrohr findet man $A = 1,8''$.

Besonders interessant sind Doppelsterne, bei denen die Bahn bekannt ist und unter Umständen schon nach wenigen Jahren eine Änderung der Stellung der beiden Komponenten zueinander feststellbar ist.

7.3.1 Doppelsterne mit bekannter Bahn für ein kleines Fernrohr

Distanzen und Positionswinkel sind für 1995 und 2000 berechnet:

Stern	Rekt 2000.0	Dekl 2000.0	Hellig- keiten	Dist. 1995	PW 1995	Dist. 2000	PW 2000	P
η Cas	0h49m	+57,8°	3,6 + 7,5 ^{mag}	12,7"	315°	12,9"	317°	480
α Gem	7 35	+31,9	2,0 + 2,9	3,6	72	4,0	67	511
γ Leo	10 20	+19,8	2,6 + 3,8	4,4	125	4,4	125	619
ξ UMa	11 18	+31,5	4,4 + 4,8	1,1	313	1,8	273	60
γ Vir	12 42	- 1,4	3,6 + 3,6	2,5	280	1,9	268	172
α Cen	14 40	-60,8	0,3 + 1,7	17,3	218	14,2	222	80
ξ Boo	14 51	+19,1	4,8 + 6,9	6,8	321	6,5	317	150
44 Boo	15 04	+47,7	5,3 + 6,2	2,0	48	2,3	50	246
σ CrB	16 15	+33,9	5,7 + 6,7	7,0	236	7,1	237	1000
μ Dra	17 05	+54,5	5,8 + 5,8	1,9	16	1,9	8	482
36 Oph	17 15	-26,6	5,3 + 5,3	4,8	149	4,9	147	549
70 Oph	18 06	+ 2,5	4,2 + 6,0	2,6	166	3,9	147	88
61 Cyg	21 07	+38,7	5,5 + 6,3	30,0	149	30,3	150	653
ζ Aqr	22 29	0,0	4,3 + 4,5	2,0	199	2,1	192	856

P Umlaufzeit in Jahren

Die Umlaufbewegung ist in den nächsten Jahren wohl am besten bei den Paaren ξ UMa sowie 70 Oph sichtbar.

η Cas: zeigt einen sonnenähnlichen Hauptstern (Spektraltyp G0) und einen rötlichen Begleiter (M0). Er ist nur 19 Lichtjahre entfernt.

α Gem (Kastor): ist der nördliche der beiden Zwillingshauptsterne. Beide Sterne sind spektroskopische Doppelsterne. Zusätzlich sieht man im kleinen Fernrohr noch die Komponente C (YY Gem): 9.Größe in 72" Distanz in Positionswinkel 164°. Auch das ist ein Doppelstern: ein Bedeckungsveränderlicher! Entfernung: 45 Lichtjahre.

γ Leo: beide Komponenten sind gelb: die "himmlischen Autoscheinwerfer". Entfernung: 170 Lichtjahre.

15. Fortsetzung Referat: Die Sterne

ξ Uma: war der erste Doppelstern, bei dem eine Bahn berechnet wurde (Savary, 1828). In den nächsten Jahren ist hier deutlich die Umlaufbewegung zu verfolgen. Entfernung: 26 Lichtjahre.

γ Vir: war einer der ersten bekannten Doppelsterne. Er wurde 1689 von Richaud entdeckt. Der Stern wird im Jahr 2008 sein Periastron (nächste Annäherung) erreichen und dann nur in großen Fernrohren trennbar sein (0,4" Distanz). Entfernung: 32 Lichtjahre.

α Cen: Der uns nächste Stern ist auch der schönste Doppelstern am Himmel. Er wurde bereits 1689 von Richaud entdeckt und ist 1995 im Apastron (weitester Abstand). In den nächsten Jahren wird er merkbar enger. Die kleinste Entfernung der Sterne voneinander (Periastron) ist 12 AE (wieder 2035); das entspricht etwa der Entfernung Sonne-Saturn. Im Apastron sind sie 36 AE voneinander entfernt; das entspricht nicht ganz der Entfernung Sonne-Pluto. Der Hauptstern ist gelb (Spektraltyp G0), der Begleiter orange (K5). Entfernung: 4,4 Lichtjahre. Zusätzlich steht 2,2° entfernt ein schwacher Stern 11.Größe, der an der Eigenbewegung des Paares teilnimmt und deshalb dazu gehört. Er hat den Namen Proxima Centauri erhalten, da er noch ein wenig näher zu uns steht: 4,3 Lichtjahre.

ξ Boo: der Hauptstern ist gelb, der Begleiter orange und das System nur 22 Lichtjahre von uns entfernt. Die große Bahnhalbachse mißt 34 AE, etwas mehr als der Abstand Neptuns von der Sonne.

44 Boo: hat eine sehr hohe Bahnneigung von 84,5° und daher eine sehr schlanke scheinbare Bahn. Der Begleiter ist ein Bedeckungsveränderlicher mit einer Periode von 0,27 Tagen und einem Lichtwechsel von 0,4mag. Entfernung: 43 Lichtjahre.

σ CrB: kann auch in kleinen Fernrohren gut gesehen werden. Die Umlaufzeit die längste der hier beschriebenen Sterne: 1000 Jahre! Der Abstand der Sterne beträgt 140 AE (mehr als 3x so groß wie das Sonnensystem). Entfernung: 69 Lichtjahre.

μ Dra: Entfernung: 76 Lichtjahre.

36 Oph: Die Bahn ist stark geneigt (99°) und sehr elliptisch (Exzentrizität 0,90!); die Entfernung der beiden Sterne schwankt zwischen 8 und 144 AE. Entfernung: 18 Lichtjahre.

70 Oph: zeigt in den Jahren bis 2000 die deutlichste Bahnbewegung aller im kleinen Fernrohr sichtbaren Doppelsterne. Entfernung: 17 Lichtjahre.

61 Cyg: ist einer der nächsten aller Doppelsterne: 11 Lichtjahre. F.Bessel beobachtet an diesem Stern erstmals eine Fixsternparallaxe. Er wählte den Stern wegen seiner großen Eigenbewegung.

ζ Aqr: Entfernung: 76 Lichtjahre.

7.3.2 Weitere besonders schöne Doppelsterne für ein kleines Fernrohr

Stern	Rekt 2000.0	Dekl 2000.0	Helligkeiten	Distanz	Positionswinkel
γ Ari	1h54m	+19,3°	4,8 + 4,8	7,8	0°
γ And	2 04	+42,3	2,4 + 5,1	9,8	63
λ Ori	5 35	+ 9,9	3,6 + 5,5	4,4	43
σ Ori AD	5 39	- 2,6	3,8 + 7,5	12,9	84
AE			3,8 + 6,5	42,6	61
β Mon AB	6 29	- 7,0	4,7 + 5,2	7,3	132
AC			4,7 + 6,1	10,0	124
BC			5,2 + 6,1	2,8	106
α CVn	12 56	+38,3	2,9 + 5,5	19,4	229
ζ UMa	13 24	+54,9	2,3 + 4,0	14,4	152
ϵ Boo	14 45	+27,1	2,5 + 4,9	2,8	339
$\nu_1\nu_2$ Ser AB	15 35	+10,5	4,2 + 5,2	3,9	179
β Sco	16 05	-19,8	2,6 + 4,9	13,6	21
α Her	17 15	+14,4	3,5 + 5,4	4,7	107
ϵ_1 Lyr	18 44	+39,7	5,0 + 6,1	2,6	357
ϵ_2 Lyr			5,2 + 5,5	2,3	94
θ Ser	18 56	+ 4,2	4,5 + 5,4	22,3	104
β Cyg	19 31	+28,0	3,1 + 5,1	34,4	54
γ Del	20 47	+16,1	4,5 + 5,5	10,0	268

8 Veränderliche Sterne

Sterne, die ihre Helligkeit verändern, nennt man Veränderliche Sterne. Derzeit sind über 30.000 solcher Sterne bekannt. Viele Sterne verändern ihre Helligkeit nur wenig oder über sehr lange Zeiträume. Viele zeigen aber dramatische Änderungen: so ist der Stern χ Cygni manchmal mit 4.Größe mit freiem Auge sichtbar. Zu anderen Zeiten braucht man ein großes Fernrohr, um den Stern in der 14. Größenklasse zu sehen. Algol (β Persei) läßt im Minimum schon innerhalb weniger Minuten deutliche Helligkeitsänderungen erkennen.

Man unterteilt die Veränderlichen Sterne grob in

8.1 Eruptive Veränderliche

Dazu zählen Novae und weitere Sterne, die oft rasch und unvorhersagbar ihre Helligkeit ändern (z.B. Helligkeitsausbrüche). Außer bei manchen Novae ist meist ein größeres Fernrohr zur Beobachtung erforderlich. Eine helle Nova wie zuletzt die in der Kassiopeia 1993 (im Maximum 6.Größe!) beobachtet man täglich, um ihren Lichtwechsel festzuhalten.

8.2 Pulsierende Sterne

Das sind Sterne, die mehr oder weniger regelmäßig ihre Helligkeit durch Pulsation verändern. Für visuelle Beobachtung besonders

geeignet sind δ Cephei-Sterne (Schwankung um eine Größenklasse, Periode von Tagen oder Wochen) und Mirasterne (Schwankung um mehrere Größenklassen, Periode um ein Jahr) sowie verschiedene Halbgelmäßige (Schwankung um 1-2 Größenklassen, Periode um einige Monate).

8.3 Bedeckungsveränderliche

Diese Sterne verändern ihr Licht durch gegenseitige Bedeckung - man sieht "Sternfinsternisse". Sie benötigen meist eine Vorausrechnung des schwächsten Lichts, um die Finsternis gut zu sehen. Beispiel: Algol (β Per).

8.4 Visuelle Beobachtung von Veränderlichen Sternen

Es macht Spaß, den Lichtwechsel von Veränderlichen zu verfolgen. Das ist schon mit freiem Auge oder Fernglas (z.B. 7x50) ohne weitere Hilfsmittel außer Karten bzw. Uhr möglich! Das Grundprinzip ist der Vergleich des Veränderlichen mit (konstanten!) Vergleichssterne mit Hilfe einer "Stufenskala".

8.5 Liste Veränderlicher Sterne für freies Auge und Fernglas

Die Positionen gelten für 2000.0. Helligkeiten sind visuell!

8.5.1 Pulsierende Sterne vom Typ δ Cephei

	Rekt	Dekl	Helligk.	Periode	
T Mon	6 ^h 25 ^m	+ 7,1°	5,6-6,6 ^{mag}	27,0247 ^d	Periode variabel
RT Aur	6 29	+30,5	5,0-5,8	3,7281	48 Aur
ζ Gem	7 04	+20,6	3,7-4,2	10,1507	Periode variabel
η Aql	19 53	+ 1,0	3,5-4,4	7,1766	Periode änderte sich 2x
S Sge	19 56	+16,6	5,3-6,0	8,3822	10 Sge; Periode var.
X Cyg	20 43	+35,6	5,9-6,9	16,3866	Periode variabel
T Vul	20 52	+28,3	5,4-6,1	4,4355	
δ Cep	22 29	+58,4	3,5-4,4	5,3663	Periode variabel

Zu δ Cep und η Aql finden Sie mehr im Abschnitt über Cepheiden.

8.5.2 Pulsierende Sterne vom Typ Mira (Mirasterne)

	Rekt	Dekl	Helligk.	Periode	Nächste Maxima
α Cet (Mira)	2 ^h 19 ^m	- 3,0°	3,5- 9,1 ^{mag}	332 ^d	1995 Apr.14
R Tri	2 37	+34,3	6,2-11,7	266	1995 Nov.13
U Ori	5 56	+20,2	6,3-12,0	372	1995 Nov.18
R Leo	9 48	+11,4	5,8-10,0	312	1995 Apr. 2
R Aql	19 06	+ 8,2	6,1-11,5	284	1995 Jul.27
χ Cyg	19 51	+32,9	5,2-13,4	407	1995 Jul.10
T Cep	21 09	+68,5	6,0-10,3	388	1995 Jan.18

Zu Mira finden Sie mehr im folgenden Abschnitt. Vergleichssterne-karten aller hier angeführten Mirasterne finden Sie in Lit.3.

8.5.3 Pulsierende Halbreghelmässige

	Rekt	Dekl	Helligk.	Periode	Typ; Kommentar
UU Aur	6 ^h 37 ^m	+38,5°	5,1-7,1 ^{mag}	235 ^d	SRb
RS Cnc	9 11	+31,0	5,5-7,0	120	SRc?
Y CVn	12 45	+45,4	5,2-6,6	157	SRb; sehr rot
g Her	16 29	+41,9	4,2-5,7	70	SRb; 30 Her
R Sct	18 48	- 5,7	4,5-8,2	140	RVa; Periode variabel
U Del	20 46	+18,1	5,5-7,5	110	SRb
W Cyg	21 36	+45,4	5,5-7,0	126	SRb
μ Cep	21 44	+58,8	3,4-5,1	730	SRc; rot (Granatstern)

8.5.4 Bedeckungsveränderliche Sterne

	Rekt	Dekl	Helligk.	Periode	Typ; Kommentar
β Per (Algol)	3 ^h 08 ^m	+41,0°	2,1-3,4 ^{mag}	2,8673	Algoltyp; Periode var.
λ Tau	4 01	+12,5	3,4-3,9	3,9530	Algoltyp
HU Tau	4 38	+20,7	5,9-6,7	2,0563	Algoltyp
AR Aur	5 18	+33,8	6,2-6,8	4,1347	Algoltyp; 2.Min.6,7 ^{mag}
WW Aur	6 33	+32,5	5,8-6,5	2,5250	Algoltyp; 2.Min.6,4 ^{mag}
ZZ Boo	13 56	+25,9	5,8-6,4	4,9918	W UMa-Typ; 2.Min.6,3 ^{mag}
U Oph	17 17	+ 1,2	5,9-6,6	1,6773	Algoltyp; 2.Min.6,5 ^{mag}
68 = u Her	17 17	+33,1	4,7-5,4	2,0510	β Lyr-Typ; 2.Min.4,9 ^{mag}
β Lyr	18 50	+33,4	3,3-4,3	12,9368	β Lyr-Typ; 2.Min.3,8 ^{mag}
AR Lac	22 09	+45,8	6,1-6,8	1,9832	Algoltyp; 2.Min.6,4 ^{mag}

Zu Algol finden Sie mehr im folgenden Abschnitt. Die Vorausberechnungen der Algolminima sind jährlich im Himmelskalender zu finden.

β Lyrae sollte so oft als möglich beobachtet werden (täglich; ev. sogar einmal am frühen und einmal am späten Abend). Wer die Minima vorausrechnen möchte kann dazu die Elemente benutzen:

$$\text{Min I} = \text{JD } 2448990,54 + 12,93784 \cdot n$$

wobei Min I = Termin des Hauptminimums (die Nebenminima sind eine halbe Periode (6,47d) danach zu beobachten). Ein Minimum 1995 ist z.B. zum Termin JD 2449831,5 = Apr. 24,0 UT zu beobachten.

8.6 Algol (β Per)

Eine umfangreichere Beschreibung von Algol finden Sie in Lit.14.

8.6.1 Der Veränderliche Stern Algol

Unser Name für Algol kommt aus dem Arabischen: Al Ra's al Ghul, "Dämonenhaupt". Für die klassischen Autoren repräsentiert der Stern den Kopf der schrecklichen Gorgo Medusa, den Perseus nach dem Mord an ihr in der Hand hält.

Algol ist der für das freie Auge auffälligste Veränderliche Stern. Vielleicht kannten die klassischen Griechen oder mittelalterlichen Araber den Lichtwechsel.

Algol war nach Mira im Walfisch der zweite entdeckte Veränderliche: Geminiano Montanari aus Bologna fand ihn 1667. Er war einer der ersten Astronomen, die sich für veränderliche Sterne

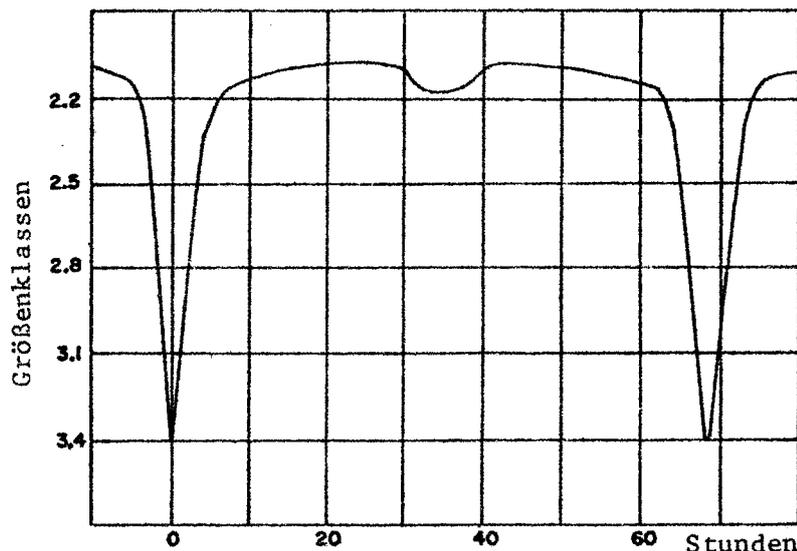
interessierten. Lange Zeit erregte Algol kaum weiteres Interesse, bis ihn John Goodricke in England 1782 neuerlich fand. Er entdeckte, daß Algol regelmäßig alle 69 Stunden schwächer wird und bestimmte die Periode auf 10 Sekunden genau. Goodricke erklärte den Lichtwechsel völlig richtig als Bedeckung durch einen dunkleren Körper.

Erst im 19. Jahrhundert, mit der Entwicklung des Wissens über Doppelsterne, wurde Goodricks Erklärung allgemein angenommen. Der Beweis kam 1889 durch Vogel und Scheiner. Sie beobachteten Algol spektroskopisch und fanden die regelmäßige Verschiebung der dunklen Linien durch den Dopplereffekt: Die Radialgeschwindigkeit der hellen Komponente verändert sich mit der Periode des optischen Lichtwechsels. Der Hauptstern kreist also um den gemeinsamen Schwerpunkt des Systems und ist zur Zeit des Minimums gerade im entferntesten Teil seiner Bahn.

8.6.2 Beobachtung von Algol

Der zweithellste Stern im Perseus ist für das freie Auge der auffälligste Veränderliche unter den Sternen 2.Größe und heller - sofern man von Novae absieht. Sein Lichtwechsel ist recht rasch und kann im Minimum an einem Abend beobachtet werden. Normalerweise hat er die Helligkeit 2,1mag. In Intervallen von 2,8673 Tagen (68 Stunden 49 Minuten) sinkt sie langsam im Verlauf von 5 Stunden auf 3,4mag ab und steigt dann ebenso langsam wieder auf den Normalwert.

Abb. 6



Der Stern ist im Minimum nur ein Drittel so hell wie im Maximum. Wenn Sie Algol mit freiem Auge zu einer beliebigen Zeit beobachten, haben Sie nur eine Chance von 10%, ihn gerade merkbar verfinstert zu sehen.

Mit einer Vorausrechnung des zu erwartenden Minimums (aus dem Himmelskalender) beginnt man mindestens zwei Stunden vorher mit der Beobachtung. Dann macht man alle 10 oder 15 Minuten eine

Helligkeitsschätzung. Die Schätzungen werden bis mindestens zwei Stunden nach dem Minimum fortgesetzt. Die Uhrzeiten sind auf die Minute genau zu notieren. Dazu werden am besten folgende Vergleichssterne verwendet: α Persei (1,79mag), ϵ Persei (2,89mag), ν Persei (3,77mag). Die Schätzmethode ist in Lit.3 bzw. 14 genauer beschrieben.

8.7 Delta Cephei

Eine umfangreichere Beschreibung von δ Cephei finden Sie in Lit.15.

8.7.1 Der Veränderliche Stern Delta Cephei

Delta Cephei ist wie Algol (Beta Persei; 1782) und Beta Lyrae (1784) eine Entdeckung von John Goodricke. Dieser Amateurastronom aus York/England fand Delta im Oktober 1784 veränderlich. Er bestimmte die Periode zu $5^{\text{d}}8^{\text{h}}37^{\text{m}}$. Wenige Wochen davor wurde Eta Aquilae als erster Cepheide von Goodricke's Nachbar Nathaniel Pigott entdeckt. Er ist allerdings durch den südlicheren Stand nicht so gut beobachtbar, sonst würden wir diese Klasse von Veränderlichen heute vielleicht als "Aquiliden" kennen. Delta Cephei ist der bei uns am besten sichtbare Vertreter der nach ihm benannten Gruppe der "Cepheiden" bzw. "Delta Cephei Sterne" oder auch "Klassische Cepheiden" (der Name "Cepheiden" ist auch für einen Meteorstrom in Gebrauch). Es sind pulsierende Riesensterne, die ihre Leuchtkraft streng periodisch verändern. Der hellste sichtbare Cepheid ist der Polarstern (seine Helligkeit schwankt allerdings nur um $0,1^{\text{mag}}$).

8.7.2 Beobachtung von Delta Cephei

Delta Cephei ist ziemlich bequem zu beobachten: er steht weit nördlich und ist daher fast das ganze Jahr günstig am Abendhimmel sichtbar (Opposition zur Sonne um den 29. August). Wir finden ihn fast genau in der Ebene des Milchstraßensystems. Zwei passende Vergleichssterne sind ebenfalls in der Nähe: im Maximum ist Delta ungefähr so hell wie Zeta Cephei, im Minimum ist er ein wenig schwächer als Epsilon Cephei. Der Lichtwechsel dauert $5\frac{1}{2}$ Tage. Vom Maximum zum Minimum braucht der Stern 4 Tage, der Wiederaufstieg vom Minimum zum Maximum ist viel schneller: $1\frac{1}{2}$ Tage. Der Lichtwechsel mit der Amplitude $0,9^{\text{mag}}$ ist bei genauer Beobachtung durchaus auffallend: im Maximum ist Delta Cephei mehr als doppelt so hell wie im Minimum. Lichtkurve:

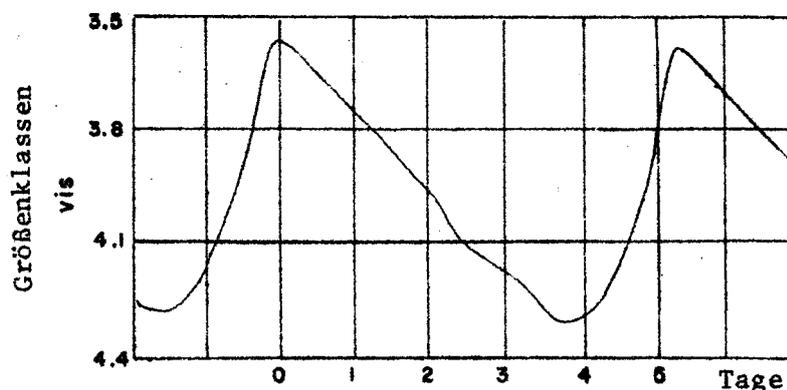


Abb. 7

Zur Beobachtung sind folgende Vergleichssterne praktisch: Alpha Cep 2,44^{mag}, Zeta Cep 3,35^{mag}, Epsilon Cep 4,19^{mag}, Lambda Cep 5,04^{mag}. Epsilon Cep ist leider selbst ein wenig veränderlich. Er steht allerdings so günstig neben Delta und seine Helligkeitsschwankung ist so klein, daß er für visuelle Beobachtungen verwendet werden kann. Zur Schätzung sollte die Stufenschätzmethode von Argelander verwendet werden (siehe z.B. 3).

Eine einfache Beobachtungsmethode, ganz ohne Größenklassen und Stufen zum Einüben der Veränderlichenbeobachtung: ordnen Sie Delta Cephei einfach auf folgender Skala zwischen Zeta und Epsilon Cephei ein: 1 = gleich hell wie ζ Cep, 2 = etwas schwächer als ζ , 3 = etwa in der Mitte zwischen ζ und ϵ Cep, 4 = etwas heller als ϵ , 5 = gleich hell wie ϵ Cep.

Falls die Skala nicht ausreicht, kann noch eine Note 0 (etwas heller als Zeta) bzw. 6 (etwas schwächer als Epsilon) benutzt werden. Obwohl wir hier eine sehr einfache Schätzmethode benutzen, bestimmen wir die Helligkeit des Veränderlichen auf 0,2^{mag} genau!

Ganz ähnlich kann man den zweiten günstig sichtbaren δ Cephei Stern beobachten: η Aql: 1 = gleich hell wie δ Aql, 2 = etwas schwächer als δ , 3 = etwa in der Mitte zwischen δ und ι Aql, 4 = etwas heller als ι , 5 = gleich hell mit ι Aql.

Machen Sie über einige Zeit an jedem Abend eine Beobachtung (oder eine am frühen und eine am späten Abend). Die Termine der Beobachtungen sind auf die Minute genau zu notieren. Bei gutem Himmel ist Delta leicht mit freiem Auge sichtbar. Unter dem Großstadthimmel in Wien ist er mir allerdings zum Schätzen meistens zu schwach. Ein kleines Fernglas leistet dann zur Beobachtung gute Dienste.

8.7.3 Elemente des Lichtwechsels, Vorausberechnung, Auswertung

Die Elemente des Lichtwechsels von Delta Cephei sind:

$$\text{Max} = \text{JD } 2436075,4450 + 5,366341^d * n$$

(Max = Termin Maximum JD; n ist eine ganze Zahl).

So ist ein Maximum z.B. zum Termin JD 2449818,64 = 1995 Apr. 11,14 UT zu erwarten.

Normalerweise hat man mindestens 20-30 Beobachtungen des Sterns über mehrere Perioden gemacht und fügt sie rechnerisch auf eine Periode zusammen. Das ist bei so regelmäßigen Sternen wie Delta Cephei erlaubt und die einzige Möglichkeit, eine gut besetzte Lichtkurve zu erhalten.

Zur leichteren Rechnung wandeln Sie jeden Beobachtungstermin auf die fortlaufende JD Zeitskala um. Beispiel: Termin 1994 Feb.2

18^h38^m MEZ = JD 2449386,2347.

Danach berechnen Sie die "Phase" zu diesem Beobachtungstermin. Die Phase ist die Zeit, ausgedrückt in Einheiten der Periode:

$$\text{Phase} = \text{FRAC}((\text{Termin} - \text{Epoche}) / \text{Periode})$$

(mit FRAC wird der Nachkommateil des Ausdrucks genommen).

Beispiel: Termin JD 2449386,2347 = Phase 0,422. Das bedeutet, daß seit dem letzten Maximum 42,2% einer Periode vergangen sind, also 2,265^d.

Zuletzt kann nun ein Diagramm gezeichnet werden, das auf der x-Achse die Phase und auf der y-Achse die geschätzten Helligkeitswerte aufträgt. Der Lichtwechsel sollte erkennbar sein. Das Maximum tritt zur Phase 0,00, das Minimum etwa zur Phase 0,70 bis 0,75 ein.

Die Auswertung der Beobachtungen ist genauer in Lit.3 beschrieben.

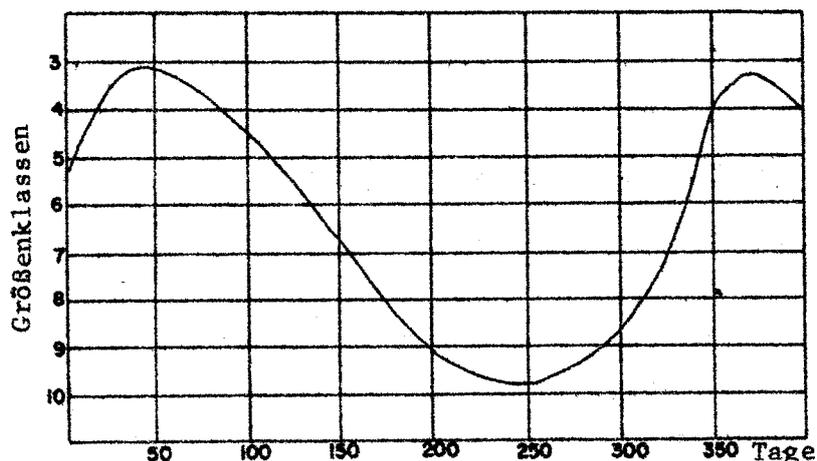
8.8 Mira

Mira ist der hellste und berühmteste der langperiodisch veränderlichen Sterne. Sie schwankt zwischen 9.Größe im Minimum bis zu 3. oder 4.Größe im Maximum (manchmal auch eine Größenklasse schwächer oder heller). 1779 erreichte Mira im Maximum fast die Helligkeit von Aldebaran (1.Größe). Die Periode beträgt im Schnitt 331 Tage; es gibt aber immer wieder größere Unregelmäßigkeiten.

Die große 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.

Mira war der erste entdeckte Veränderliche, wenn man von Novae bzw. Supernovae absieht. Erstmals bemerkte David Fabricius in den Niederlanden im August 1596 einen dort vorher nicht beobachteten Stern. Er scheint Mira als Nova angesehen zu haben. Der Stern wurde danach erstmals wieder 1603 von Bayer beobachtet, der ihn als Omikron Ceti in seinem berühmten Atlas verzeichnete. Seit der Mitte des 17.Jahrhunderts ist jedes Maximum von Mira beobachtet worden.

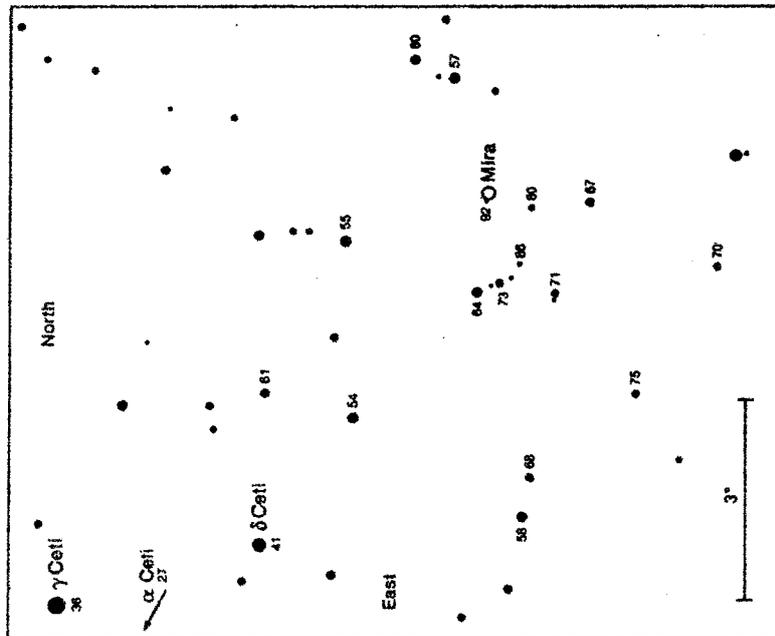
Abb. 8



Mira kann im Maximum mit freiem Auge, über den größten Teil des Lichtwechsels mit dem Fernglas und im Minimum mit einem kleinen Fernrohr beobachtet werden. Die nächsten Maxima werden ungefähr auf folgende Termine fallen: 1995 Apr., 1996 März, 1997 Feb., 1998 Jan.

Vergleichssterne
für Mira:

Abb. 9



9 Die Entfernung der Sterne

Die Entfernung der Sterne läßt sich mit Amateurmitteln nicht beobachten. Die nächsten Sterne sind einige Lichtjahre (ein Lichtjahr = $9,5 \cdot 10^{12}$ km) von uns entfernt. Die fernsten mit freiem Auge sichtbaren Sterne stehen einige tausend Lichtjahre weit draußen.

9.1 Nächste mit freiem Auge sichtbare Sterne

Die nächsten mit freiem Auge sichtbaren Sterne (bis 3,0mag) sind:

Name	Hell.	Rekt 2000.0	Dekl 2000.0	Entfernung (Lichtjahre)
α Cen (Rigil Kent)	-0,3mag	14h40m	-60,8°	4,3
α CMA (Sirius)	-1,5	6 45	-16,7	8,6
α CMI (Prokyon)	+0,4	7 39	+ 5,2	11,1
α Aql (Atair)	+0,8	19 51	+ 8,9	16,3
β Hyi	+2,8	0 26	-77,3	21
α PsA (Fomalhaut)	+1,2	22 58	-29,6	22
α Lyr (Wega)	0,0	18 37	+38,8	25

9.2 Fernste mit freiem Auge sichtbare Sterne

Die fernsten mit freiem Auge sichtbaren Sterne (bis 3,0mag) sind:

Name	Hell.	Rekt 2000.0	Dekl 2000.0	Entfernung (Lichtjahre)
ε Aur	+3,0mag	5h02m	+43,8°	4600
η CMA	+2,5	7 24	-29,3	2500
α Cyg (Deneb)	+1,3	20 41	+45,3	1600

ϵ Aur ist ein Bedeckungsveränderlicher sehr langer Periode (27 Jahre). Er ist der Stern an der Spitze des kleinen Sterndreiecks etwas SW von Capella.

Deneb im Sommerdreieck ist der am weitesten entfernte Stern 1.Größe. Er ist ein "Leuchtfeuer" mit -7mag absoluter Helligkeit (die Helligkeit in 10 Parsek = 32,6 Lichtjahren Entfernung). Stünde Deneb uns so nahe wie Sirius, würde er mit -10mag unsere Nächte erhellen. Die Sonne wäre in der Entfernung des Deneb nur mehr als schwaches Sternchen der 13.Größe sichtbar

10 Die Bewegung der Sterne

Die Sterne bewegen sich relativ zur Sonne oft mit vielen Kilometer pro Sekunde (bis zu einigen 100 km/s) durch den Raum. Durch ihre ungeheuer großen Entfernungen bemerken wir erst nach langer Zeit eine Verschiebung unter den Sternbildern.

10.1 Sterne mit hoher Eigenbewegung

Als Eigenbewegung wird die Verschiebung eines Sterns unter den schwachen (und im Mittel weit entfernten) Hintergrundsternen bezeichnet. Das ist die Tangentialkomponente der Raumbewegung. Man kennt nur etwa 200 Sterne mit einer Eigenbewegung von mehr als 1" pro Jahr.

10.1.1 Barnards Pfeilstern

Der Stern mit der größten Eigenbewegung ist Barnards Pfeilstern im Schlangenträger: 10 Bogensekunden pro Jahr. Der Stern legt in 180 Jahren einen Vollmond Durchmesser zurück.

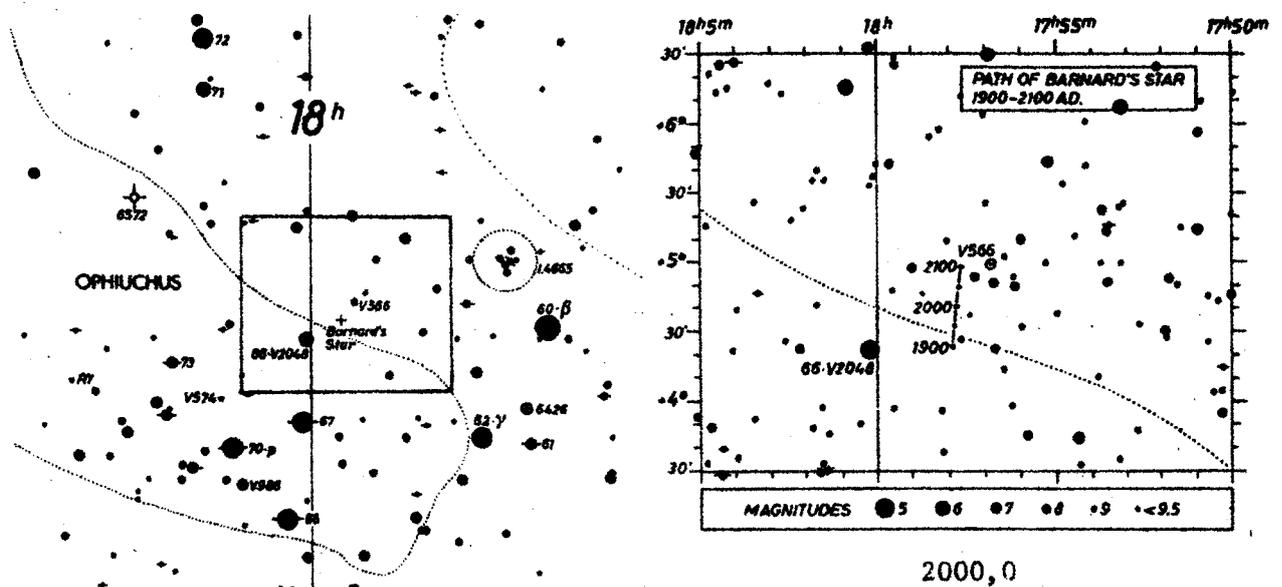


Abb. 10

10.1.2 Weitere Sterne großer Eigenbewegung

Name	Rekt	Dekl	Mag	B-V	Sp	EB	PW	Sternb.
Barnards Stern	17h57,8m	+04°42'	9,5	+1,74	M5V	10,3"	356°	Oph
Kapteyns Stern	05 11,7	-45 01	8,8	+1,59	M0V	8,7	131	Pic
Groombridge 1830	11 53,0	+37 43	6,5	+0,75	G8 Vp	7,0	145	UMa
Lacaille 9352	23 05,9	-35 51	7,3	+1,48	M2V	6,9	79	PsA
Cordoba 32416	00 05,4	-37 21	9,0	+1,46	M4V	6,1	113	Scl
61 Cyg	21 06,9	+38 45	5,2	+1,19	K5V	5,2	52	Cyg
Lalande 21185	11 03,3	+35 58	7,5	+1,52	M2V	4,8	187	UMa

Rekt, Dekl für 2000.0

Mag visuelle Helligkeit

Sp Spektraltyp

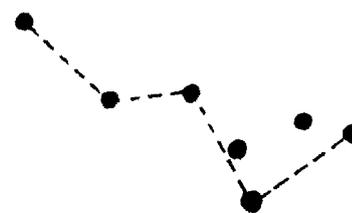
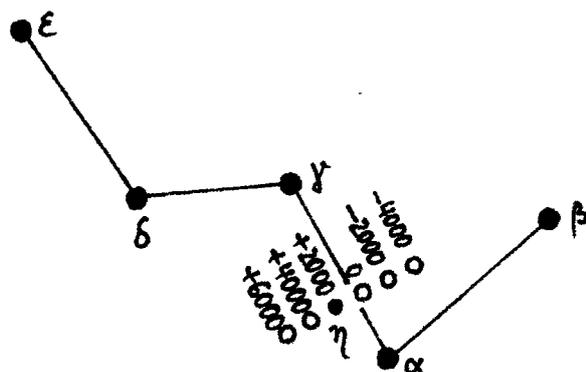
EB Eigenbewegung in Bogensekunden pro Jahr

PW Richtung der Eigenbewegung: Positionswinkel im Sinn NOSW

Sternb. Sternbild

10.1.3 η Cassiopeiae

Besonders interessant ist η Cas. Dieser Stern war um Christi Geburt noch nördlich der Verbindungslinie α Cas - γ Cas zu finden; derzeit ist er etwas südlich dieser Verbindungslinie zu sehen.



Cassiopeia auf Felsbild in Östergötland, Südschweden, um 1500 v. Chr. (H. Werner).

Abb.11

10.1.4 Experiment: Messung der Eigenbewegung

Messen Sie die Position eines Sterns großer Eigenbewegung (z.B. 61 Cyg) auf zwei Sternatlanten unterschiedlicher Epoche. Dazu kann z.B. die Bonner Durchmusterung (1855) und der Atlas Stellarum (1970) gut verwendet werden. Die Bewegung des Sterns wird deutlich erkennbar!

Dieses Experiment kann durchaus auch mit Amateurfotografien durchgeführt werden. Bei einer Brennweite der Kamera zwischen 200 und 300mm ist schon bei einem Zeitunterschied der Aufnahmen von 10 Jahren eine deutliche Ortsveränderung von Barnards Stern feststellbar (wie z.B. im Kalender für Sternfreunde 1977 gezeigt).

10.1.5 Helle Sterne mit großer Eigenbewegung

Name	Eigenbewegung in 1000 Jahren
α Cen (Rigil Kent)	61'
α Boo (Arktur)	38
α CMa (Sirius)	22
α CMi (Prokyon)	21
α Aql (Atair)	11
β Gem (Pollux)	10
α Aur (Capella)	7
α PsA (Fomalhaut)	6
α Lyr (Wega)	6
α Leo (Regulus)	4
α Tau (Aldebaran)	3

Durch den Vergleich der Beobachtungen von Ptolemaeus (um 120 n.Chr.) sowie Hipparchos (um 140 v.Chr.) mit den zu seiner Zeit gemachten entdeckte Edmond Halley 1718 die Eigenbewegung der Sterne bei Aldebaran, Sirius und Arktur.

10.2 Sterne mit hoher Radialgeschwindigkeit

Die Radialgeschwindigkeit ist die radiale Komponente der Raumbewegung der Sterne (auf uns zu bzw. von uns weg). Sie wird durch die Verschiebung der Linien in den Sternspektren nach Rot (von uns weg) bzw. nach Blau (auf uns zu) beobachtet.

Positive Radialgeschwindigkeit bedeutet Entfernung (Rotverschiebung), negative Annäherung (Blauverschiebung).

10.2.1 Helle Sterne mit hoher Radialgeschwindigkeit

Name	Radialgeschwindigkeit in km/s
α Tau (Aldebaran)	+54 km/s (Entfernung)
α Aur (Capella)	+30
α Ori (Beteigeuze)	+21
β Ori (Rigel)	+21
α Car (Canopus)	+21
α Cen (Rigil Kent)	-25 km/s (Annäherung)
α Aql (Atair)	-26

11 Entstehung und Entwicklung der Sterne

Dieses Kapitel folgt in weiten Teilen Lit.13. Die besprochenen Himmelsobjekte sind abends am späten Winter- bzw. Frühlingshimmel sichtbar.

11.1 Entstehung der Sterne

Sterne entstehen in riesigen Molekülwolken aus mehreren zehntausend Sonnenmassen Gas und Staub. Diese kalten, im Durchschnitt 100

Lichtjahre großen Wolken ziehen sich durch ihre eigene Schwerkraft zusammen, zerfallen in Teile und erhitzen sich dabei. Das Zusammen-sinken der Teilwolken führt zu hohen Temperaturen im Inneren. Diese ermöglichen die Zündung der Kernverschmelzung von Wasserstoff zu Helium. Viele Sterne entstehen oft gleichzeitig und bilden einen jungen Sternhaufen der anfangs im umgebenden Gas und Staub eingebettet ist. Die energiereiche Strahlung der neugeborenen Sterne ionisiert die umgebenden Materie und führt zu H II-Regionen, wie wir sie vom Großen Orionnebel her kennen.

11.2 Der große Orionnebel (M42/43)

ist die Sternengeburtstätte schlechthin. Der leuchtende Nebel kann im Schwert des Orion bei Rekt $5^{\text{h}}35,4^{\text{m}}$, Dekl $-5^{\circ}27'$ (2000.0) schon mit freiem Auge und sehr gut mit dem Fernglas gesehen werden. Die Sterne des Trapez (Vierfachstern im Zentrum) sind junge Sterne hoher Temperatur und Leuchtkraft (Spektraltypen O und B) und bringen den Nebel zum Leuchten. Sie können im kleinen Fernrohr gut gesehen werden.

Noch heute werden jedes Jahr Sterne in dem 1300 Lichtjahre entfernten Nebel geboren. Diese Sterne sind noch hinter dicken Hüllen aus Gas und Staub verborgen. Das Hubble Space Telescope konnte 1994 diese "Babysterne" auch auf Bildern festhalten.

11.3 Sternhaufen

Nach dem Verbrauch des Gas und Staub der Molekülwolke durch Sternbildung sehen wir offene Sternhaufen. Da die Sterne dort nur schwach durch Schwerkraft verbunden sind, lösen sich offene Sternhaufen spätestens nach wenigen galaktischen Rotationen (eine Rotation: 250 Millionen Jahre) auf - Feldsterne wie die Sonne entstehen.

Ein etwas älterer Sternhaufen, der keine Gas- und Staubwolken mehr zeigt ist die Praesepe im Krebs (M44; Rekt $8^{\text{h}}40,1^{\text{m}}$, Dekl $+19^{\circ}59'$ für 2000.0). Schon mit freiem Auge sieht man die Praesepe bei klarem Himmel als kleines Nebelwölkchen. Ein Fernglas löst den Sternhaufen bereits in die Einzelsterne auf.

Die Praesepe ist erst etwa 700 Millionen Jahre alt und 500 Lichtjahre von uns entfernt.

11.4 Feldsterne

Die meisten Feldsterne wie die Sonne denkt man sich als aus aufgelösten Sternhaufen herkommend. Den Hauptteil ihres Lebens verbringen Sterne im ruhigen und stabilen Zustand des Wasserstoffbrennens. Für die Sonne und ähnliche Sterne dauert dieser Zustand 10 Milliarden Jahre, für leuchtschwächere Sterne länger (sie verbrauchen den Wasserstoff langsamer), für leuchtstärkere Sterne kürzer (sie verbrauchen den Wasserstoff durch effizientere Kernreaktionen schneller).

Der Stern β Canum Venaticorum ist 4,3^{mag} hell und hat einen Spektraltyp G0 V. Er ähnelt der Sonne mit Spektraltyp G2 V sehr und steht in nur 30 Lichtjahren Entfernung. Er ist am Ort Rekt 12^h33,7^m Dekl +41°21' (2000.0) deutlich mit freiem Auge sichtbar.

11.5 Alte Sterne

Nach der Phase des Wasserstoffbrennens kommt es zu einer dramatischen Veränderung im Inneren der Sterne. Um einen inaktiven "Asche"-Kern aus Helium brennt in einer dünnen Schale der restliche Wasserstoff. Das führt zur Ausdehnung der äußeren Schichten des Sterns - ein Roter Riese entsteht! Bald ist der Heliumkern groß und heiß genug, um die Fusion zu Kohlenstoff und Sauerstoff zu zünden. Auch das zentrale Helium ist schnell verbraucht und eine Phase des instabilen Schalenbrennens von Wasserstoff und Helium um einen Kohlenstoff/Sauerstoffkern beginnt. Der innere Aufbau des Sterns ähnelt jetzt den Schalen einer Zwiebel.

Der Riesenstern hat sich jetzt enorm aufgebläht - unsere Sonne wird in diesem Stadium über die Erdbahn hinauswachsen! Schwingungen führen zu starkem Massenverlust, eine Gas/Staubhülle bildet sich. Mirasterne und Halbregelmäßige Veränderliche sind Vertreter dieser Entwicklungsstufe. Der Stern verliert pro Jahr viele Erdmassen! Das interstellare Medium wird so mit schwereren Elementen angereichert. Das ist eine Vorbedingung für Leben, wie es uns bekannt ist.

Der halbregelmäßige Veränderliche η Geminorum beim Fuß des Kastor-Zwillings hat eine visuelle Helligkeit zwischen 3,2 und 4,0mag und eine Schwingungsperiode von etwa 230 Tagen. Er ist ein kühler Riese vom Spektraltyp M3 III mit einer Oberflächentemperatur von 3300 K; er zeigt keine Staubhülle. Ort 2000.0: Rekt 6h14,9m, Dekl +22°30'.

Dagegen ist der ebenfalls halbregelmäßige Veränderliche γ Canum Venaticorum von einer 400 K kalten Staubhülle umgeben. Bei einer Temperatur von 2400 K hat der tiefrote Kohlenstoffstern ("La Superba") einen Spektraltyp von C5,4J(N3) und ändert seine Helligkeit zwischen 5,2 und 6,6mag visuell mit einer Periode von 157 Tagen. Ort 2000.0: Rekt 12h45,1m, Dekl +45°26'.

11.6 Endstadien der Sternentwicklung

Im Endstadium entsteht im Inneren ein Weißer Zwergstern, der seine Hülle abstößt. Gleich einer Rauchwolke wird ein sich ausdehnender Planetarischer Nebel sichtbar, der sich in wenigen zehntausend Jahren auflöst. Der zurückbleibende Weiße Zwerg - er hat bei Erdgröße 0,6 Sonnenmassen - kühlt in kosmologischen Zeiträumen aus.

Der im kleinen Fernrohr am besten sichtbare Weißer Zwerg ist der Begleiter von α 2 Eridani (= 40 Eri) am Ort Rekt 4h15,8m -7°39' (2000.0). Der Hauptstern mit 4,5mag wird in 83" Distanz (Positionswinkel 104°) von einem schwachen Sternpaar umkreist. Das Sternpaar besteht aus einem Weißen Zwerg (9,5mag) und einem Roten

29. Fortsetzung Referat: Die Sterne

Zwerg (11,2mag) in 9" Distanz, Positionswinkel 339°. Das Sternsystem ist nur 16 Lichtjahre von uns entfernt.

Planetarische Nebel

sind im kleinen Fernrohr auch in der Großstadt dankbare Beobachtungsobjekte. Hier eine Auswahl der schönsten Objekte, die auch unter lichtverschmutztem Himmel noch gut im kleinen Fernrohr sichtbar sind:

Objekt	Name	Rekt 2000.0	Dekl 2000.0	Durchmes- ser (Kern)	Hellig- keit visuell
NGC 2392	Eskimo-Nebel	7h29,2m	+20°55'	15"	9,1
NGC 3242	Geister-Nebel	10 24,8	-18 38	16	7,7
NGC 6210		16 44,5	+23 49	14	8,8
NGC 6543	Katzen- augennebel	17 58,6	+66 38	18	8,1
NGC 6572		18 12,1	+ 6 51	8	8,1
M 57	Ringnebel	18 53,6	+33 02	70	9,6
NGC 6826		19 44,8	+50 31	30	8,7
M 27	Hantelnebel	19 59,6	+22 43	350	8,1
NGC 7009	Saturnnebel	21 04,2	-11 22	25	8,0
NGC 7662	Blauer Schneeball	23 25,9	+42 33	12	8,3

12 Literatur

1. Mucke, H.: Ein empfehlenswertes Fernrohr für Amateure: Telemator / Telemator. In: Sternenbote 10/1983.
2. Vollmann, W.: Die hellsten Sterne des Himmels. In: Papiere des Sternfreundeseminars 1990.
3. Vollmann, W.: Beobachtung Veränderlicher Sterne mit einfachen Hilfsmitteln. In: Papiere des Sternfreundeseminars 1987.
4. Mucke, H.: Refraktion und Extinktion. In: Papiere des Sternfreundeseminars 1992.
5. Osthoff, H.: Farben der Fixsterne. In: Hevelius. Handbuch für Freunde der Astronomie und kosmischen Physik. Berlin 1922.
6. Hirshfeld, A. und Sinnott, R.: Sky Catalogue 2000.0 Vol.1. Sky Publishing, Cambridge 1985.
7. Suter, H.: Drehbare Sternkarte Sirius, Kleines Modell. Hallwag-Verlag, Bern/Stuttgart 1989.
8. Tirion, W.: Bright Star Atlas 2000.0. Willmann-Bell 1990.
9. Tirion, W.: Sky Atlas 2000.0. Sky Publishing, Cambridge 1985. Am besten ist die "Tischausgabe" mit schwarzen Sternen auf weißem Grund verwendbar.
10. Mucke, H.: Doppelsterne. Papiere des Sternfreundeseminars 1983.
11. Mucke, H.: Wertvolle Zusatzgeräte zu Amateurfernrohren. In: Sternenbote 11/1985.
12. Schwinge, W.: Astrofotografie. Franckh-Kosmos, Stuttgart 1993.
13. Kerschbaum, F.: Spätstadien der Sternentwicklung im Infrarot- und Submillimeterbereich. In: Sternenbote 4/1993.
14. Vollmann, W.: Algol, der Dämonenstern. In: Sternenbote 2/1992.
15. Vollmann, W.: Delta Cephei und kosmische Entfernungen. In: Sternenbote 4/1994.
16. Burnham, R.: Burnhams Celestial Handbook. Dover, New York 1978
17. Werner, H.: Die Sterne dürfet ihr verschwenden. Fischer, Stuttgart 1953.

Wolfgang Vollmann, Gerichtsgasse 20/23, A-1210 Wien.

Gastvortrag: Supernova - Beobachtungen am Leopold-Figl-Observatorium
und auf der Purgathofer-Sternwarte

Am 28. März 1993 wurde in Lugo (Spanien) vom Astroamateure Francisco Garcia Diaz eine Supernova entdeckt, die sich in der Galaxie M 81 befand und die hellste ihrer Art am nördlichen Sternenhimmel seit 40 Jahren war: die SN 1993J.

Neidvoll hatten die Astronomen der nördlichen Erdhälfte die Entdeckung der Jahrhundert-Supernova 1987A in der Großen Magellan'schen Wolke verfolgt, vor allem dann, wenn sie wie wir Österreicher als noch immer Nichtmitglieder der ESO keinen geregelten Zugang zu einem Südobservatorium hatten.

Obwohl SN 1993J fast acht Größenklassen schwächer war als SN 1987A, stellte ihre relative Helligkeit doch eine gewisse Entschädigung dar, aber auch ihre Entwicklung mit dem pekuliären Typ I Ib, somit von einer wasserstoffreichen zu einer wasserstoffarmen Supernova, rief ein außerordentliches Echo unter den Astronomen der nördlichen Hemisphäre hervor.

So beschloß auch eine Gruppe von Astronomen des Wiener Institutes für Astronomie ihren Beitrag zur Beobachtung von SN 1993J zu leisten, und zwar spektroskopisch und photographisch am 1,5m-Teleskop des Leopold-Figl-Observatoriums auf dem Schöpfl und mit lichtelektrischer Photometrie am 1m-Teleskop der Purgathofer-Sternwarte bei Klosterneuburg.

LEOPOLD-FIGL-OBSERVATORIUM

a) Spektroskopie

Am Hauptinstrument, dem 1,5m RC-Teleskop (Abb.1) stand seit der Eröffnung des Observatoriums im Einsatz befindliche Spektrograph von Boller & Chivens (Abb.2) zur Verfügung. Er wurde seither mit wenigen Ausnahmen mit einem Gitter von 400 Linien/mm und einer spektralen Dispersion von 125 Å/mm verwendet. Als Detektor war (leider nur) die photographische Platte im Einsatz, und zwar wie in 95% aller bis dahin gewonnenen Spektren mit Kodak IIaO (ungebacken). Schon zum Zeitpunkt des Supernova-Ausbruches wurden Pläne zu einer Umrüstung des Boller & Chivens Spektrographen auf CCD-Technologie gefaßt, die dann ein Jahr später aber zugunsten des Erwerbs eines universellen Gerätes für Spektroskopie und Feldphotometrie modifiziert wurden. Dieses Instrument ist eine Kopie des bei ESO im Einsatz befind-

1. Fortsetzung Gastvortrag: Supernova-Beobachtungen ...

lichen Typs EFOSC (ESO Faint Object Spektrograph and Camera), wird im Rahmen eines Kooperationsprojektes zwischen dem Wiener Institut für Astronomie und dem Kopenhagener Universitäts-Observatorium in dessen international bekannter Werkstätte gebaut und als "OEFOSC" noch im Herbst dieses Jahres nach Österreich geliefert werden. Näheres über dieses zukunftsweisende Gerät wird in nächster Zeit im "Sternenboten" vorgestellt werden.

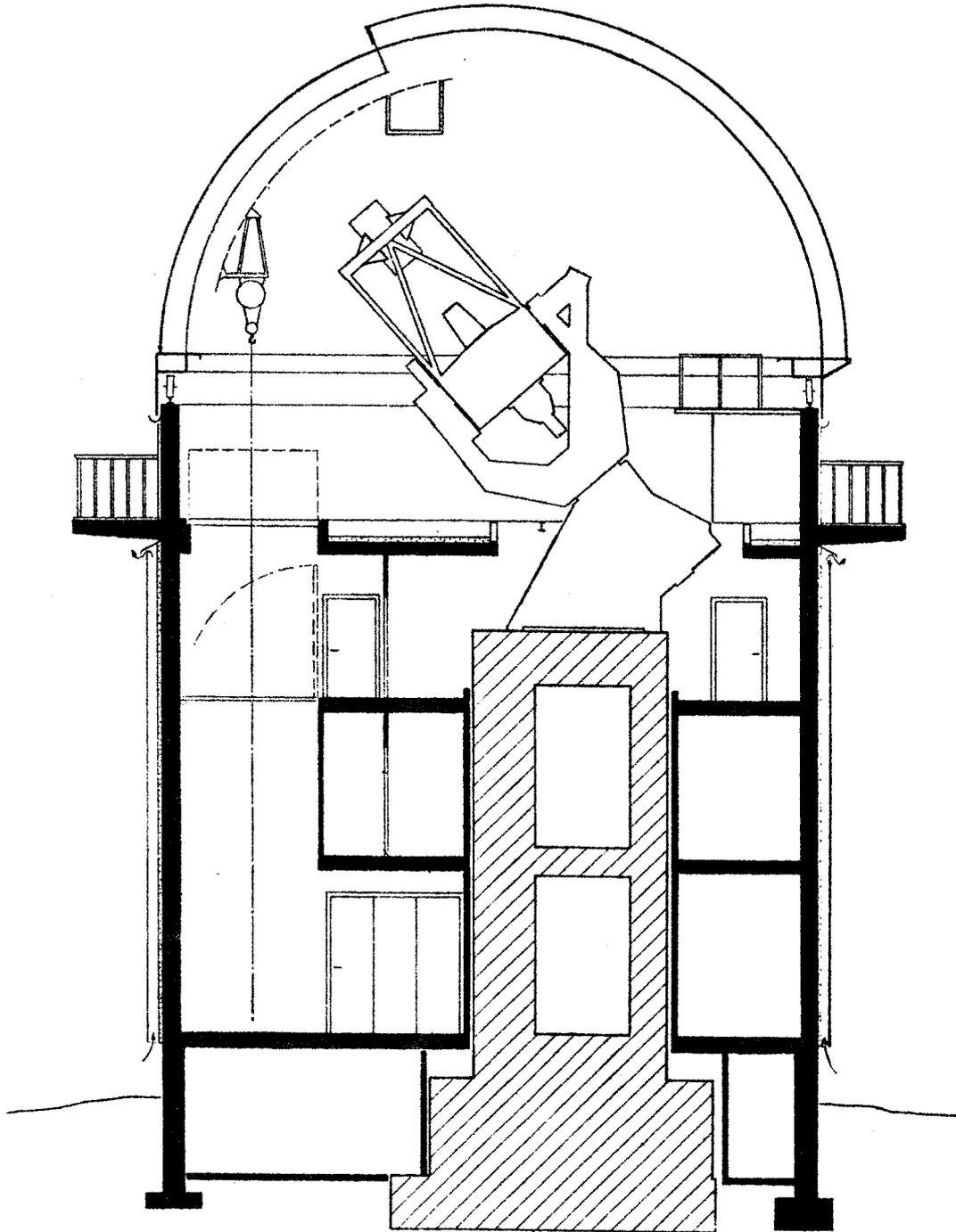


Abb.1: 1,5m - Teleskop (Ritchey-Chretien $f=12,5m$, Cassegrain $f=22,5m$) auf dem Mitterschöpfel; schematisches Schnittbild (Eröffnungsfestschrift von C. Zeiss).

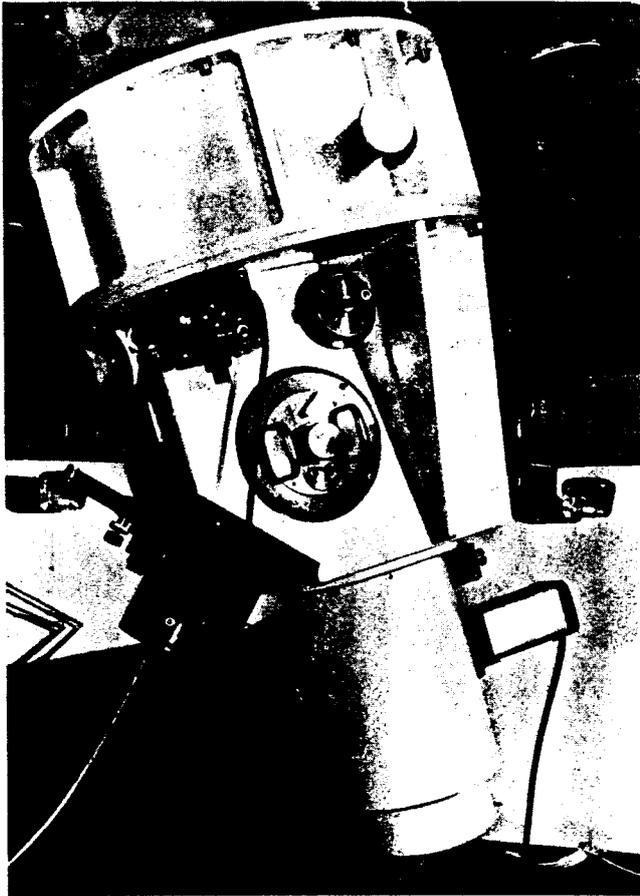


Abb.2a, links:
Der Cassegrain-Spektrograph
von Boller & Chivens, montiert
am 1,5m - Teleskop.

Abb.2b, unten:
Ebenso wie 2a ist sie SuW 11,
211 (1972) entnommen.
In der Bildebene des Teleskops
liegt der Spektrographenspalt
Sp, dessen Backen teleskopsei-
tig verspiegelt sind. Es kann
über den einen Lichtweg mit
Okular O der Stern und Spalt
kontrolliert beobachtet und
über einen zweiten Lichtweg
der Eisenlichtbogen Fe oder
die Neonlampe Ne eingespiegelt
werden. Nach dem Spalt fällt
das Licht durch die Feldlinse

F₁, den Filter F_i und nach Passieren des Verschlusses V auf den Kol-
limatorspiegel C. Das nun parallele Bündel erreicht über das Gitter
G die Kamera - eine Schmidtkamera ASE - und schließlich entsteht ein
Bild des Spektrums auf der Platte P. Ein kleiner Teil des Lichtes
trifft den Photomultiplier Pm zur Bestimmung der Belichtungszeit.

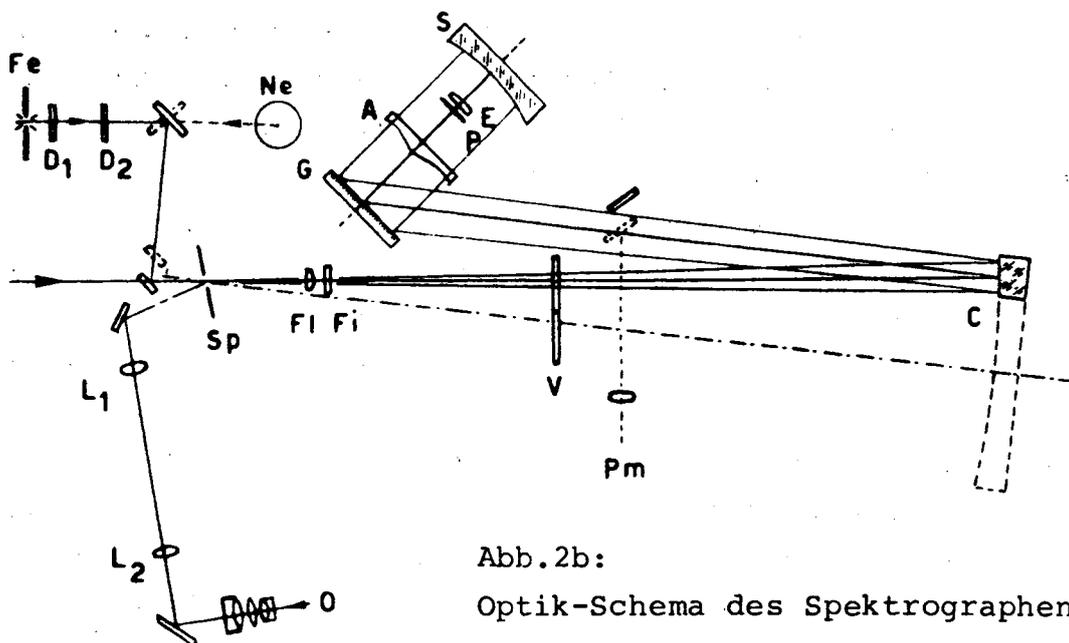


Abb.2b:
Optik-Schema des Spektrographen

3. Fortsetzung Gastvortrag: Supernova-Beobachtungen ...

Zurückkommend zum Zeitpunkt der Supernova müssen wir feststellen, daß sich diese beim Maximum schon an der Grenze der Beobachtungsmöglichkeit des Boller & Chivens Spektrographen befand. Da die Spektren bei der photographischen Technik verbreitert werden müssen - am Leopold-Figl-Observatorium geschieht dies durch periodische Bewegung des ganzen Teleskops so, daß der Stern am Spalt zwischen den Deckerbegrenzungen hin- und hergeführt wird - ergibt sich bei der Verbreiterung auf 1mm auf der Platte und der Spaltbreite von 0,1mm entsprechend 1,6 Bogensekunden am Himmel sowie Verwendung des f/8 - Fokus eine Belichtungsdauer von 3-4 Stunden für einen A0-Stern der 11.Größe. Dabei muß aber das Seeing besser als rund 2 Bogensekunden und die Durchsicht erstklassig sein.

Als am 20. April 1993 einer von uns (H.M.M.) mit einer Dreiergruppe von Teilnehmern des Vorgeschrrittenen-Praktikums beschloß, die Supernova spektroskopisch zu versuchen, wurde für den Anfang nicht die volle Verbreiterung auf 1mm, sondern auf 0,33mm gewählt. Es sollte wegen der geringen Helligkeit und möglicher Witterungsbeschränkungen eine einigermaßen kurze, also gesicherte Belichtungszeit bei gesichertem Resultat (genügende Schwärzung) erzielt werden. Es war die zweite Spektralaufnahme auf der Platte Nr.982; durch Verschiebung des Plattenschlittens an der Schmidtkamera des Spektrographen können in Abhängigkeit von der Breite der Spektren samt jenen des Eisenlichtbogens 5-10 verschiedene Spektrogramme aufgenommen werden. Die Aufnahme wurde um 21^h56 MEZ begonnen und nach 94 Minuten beendet. Das Seeing war 2 Bogensekunden, die Feuchte 80% und die Temperatur 8,1°C. Nach der Entwicklung (5 Minuten in Entwickler D19) stellten wir dann auf den ersten Blick ein strukturloses Spektrum mit geringer durchschnittlicher Schwärzung fest und waren uns nicht sicher, ob wir überhaupt die Supernova spektroskopiert hatten.

Am nächsten Morgen, als die Platte getrocknet war, ergab eine gründlichere Inspektion mit dem Mikroskop, daß das Spektrum überbreite Strukturen zeigte, wie sie bei normalen Sternen unbekannt sind.

Die einzige schmale Spektrallinie, eine Emissionslinie bei 4365 Å, ist der Straßenbeleuchtung der nordwestlichen Umgebung des Observatoriums, darunter auch der Landeshauptstadt St.Pölten, zuzuschreiben.

Mit diesem Tatbestand waren wir uns dann sicher, daß wir das Licht der Supernova spektroskopiert hatten - was gleichzeitig auch bedeutete, daß es sich um das erste jemals auf österreichischem Boden gewonnene Spektrogramm einer Supernova handelte. Diese Tatsache wurde auch sehr bald per Presseaussendung der österreichischen Öffent-

4. Fortsetzung Gastvortrag: Supernova-Beobachtungen ...

lichkeit mitgeteilt. Eine detaillierte Schilderung des ersten SN-Spektrums vom Schöpfl ist im Sternenboten 5/1993, p.101, nachzulesen.

Die Änderung des spektralen Verhaltens während der folgenden drei Wochen ist aus Abb.3 ersichtlich. Dort wird neben dem schon bekannten Spektrum von SN 1993J (oben) auch ein am 12.Mai am Schöpfl gewonnenes Spektrum (unten) dargestellt, das wiederum eine starke "St.Pölten" Linie enthält. Aufnahmedauer war 180 Minuten bei nur 0,16mm Verbreiterung, aber im Vergleich zur Aprilaufnahme weist sie eine stark reduzierte Stärke der der Wasserstofflinien relativ zum "Heliumberg" bei 460nm auf.

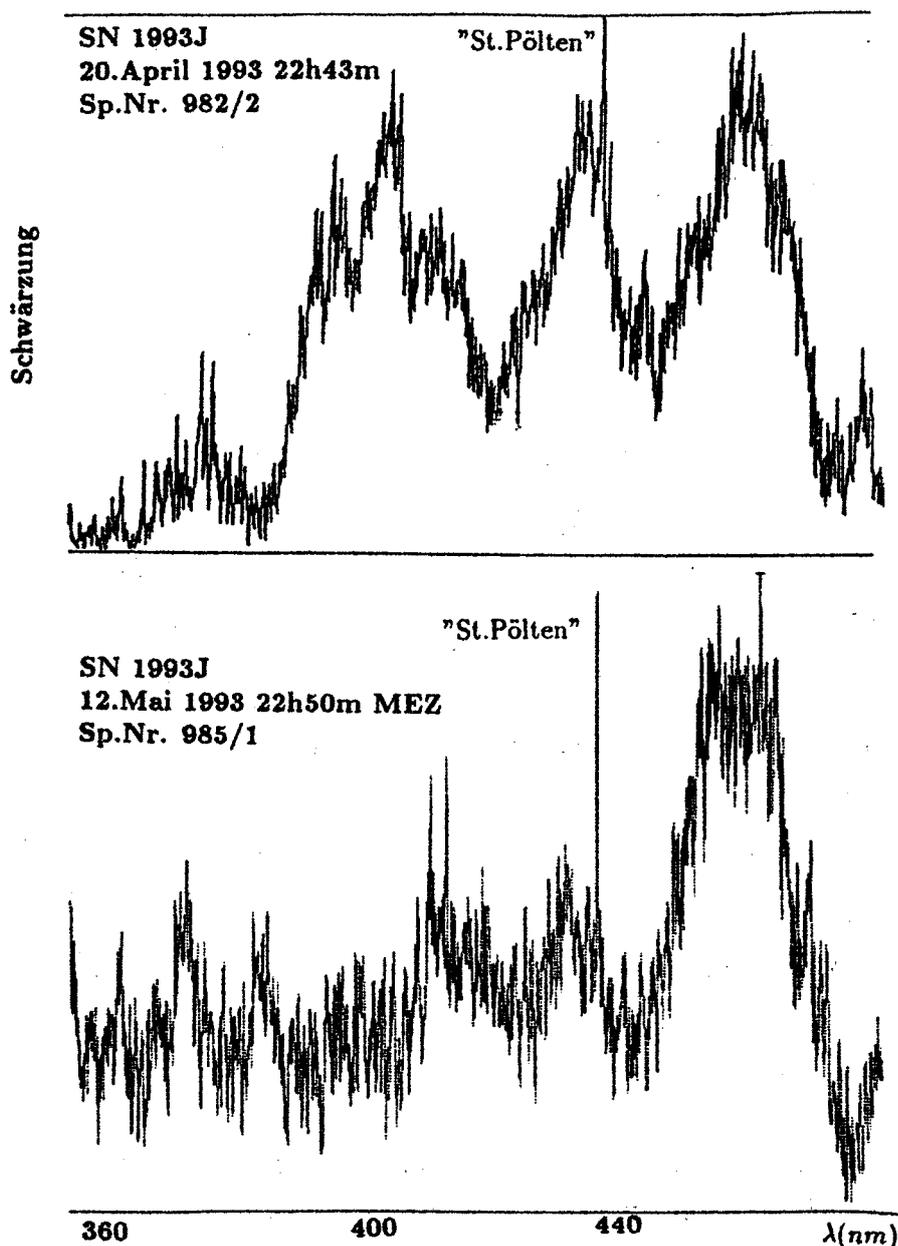


Abb.3: Spektren von SN 1993J, B&C Spektrograph, Leopold Figl Observatorium für Astrophysik auf dem Schöpfl.

5. Fortsetzung Gastvortrag: Supernova-Beobachtungen ...

Es ist anzumerken, daß die dargestellten Ordinatenwerte mit dem PDS 1000 Mikrodensitometer des Institutes für Astronomie gewonnen wurden, wofür Herrn Mag.Th.Lebzelter zu danken ist. Sie stellen Schwärzungswerte dar, woraus keine Intensitäten abgeleitet werden können. Es können daher lediglich qualitative Aussagen über die relative Stärke von Spektralmerkmalen gemacht werden.

Die Aussagekraft unserer Spektrogramme kann durch einen Vergleich mit anderweitig erhaltenen Spektren von SN 1993J getestet werden. In dem im Dezember 1993 erschienenen Heft von Sky and Telescope findet man den sehr illustrativen Artikel von A.V.Filippenko "A Supernova with an Identity Crisis" (S.30 ff.) und darin eine Darstellung der Entwicklung der spektralen Intensitätsverteilung von SN 1993J. In Abb.4 ist der Verlauf vom 15. April und 11. Mai 1993 wiedergegeben. Beide Daten decken sich recht gut mit den Aufnahmedaten unserer Spektrogramme. Bis auf die Skalierung unserer Ordinatenwerte stimmen die spektralen Merkmale im Bereich 400-500nm sehr gut überein.

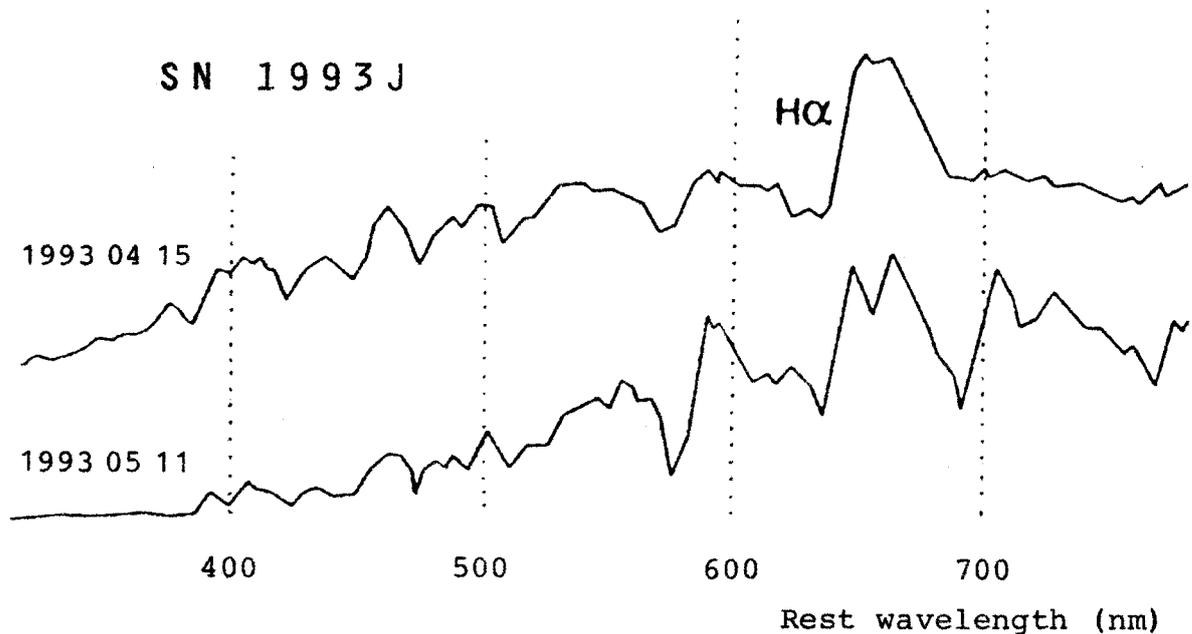


Abb.4: Spektren von SN 1993J, 15. April und 11. Mai 1993 nach A.V.Filippenko, Sky and Telescope Dec.1993, S.30.

b) Photographie

Frau Dr.A.Schnell (IfA Wien) ist zu danken, daß sie sowohl am 23. April 1993 mit der Astrokamera des Leopold-Figl-Observatoriums am 1,5m-Teleskop eine einstündig belichtete Aufnahme der Galaxie M81 mit SN 1993J erhielt, wobei die Durchsicht eher mäßig war, als auch aus dem Archiv des Institutes für Astronomie eine der allerersten

6. Fortsetzung Gastvortrag: Supernova-Beobachtungen ...

Platten beschaffte, die mit dem 1,5m-Teleskop aufgenommen wurden: Es war eine Aufnahme vom 26. November 1970, die mit halbstündiger Belichtung M81 zeigt. Sie war von A. Purgathofer unter wesentlich günstigeren Bedingungen erzielt worden und zeigt auch im Vergleich zur Aufnahme mit SN 1993J, daß diese in Übereinstimmung mit ihrem Supernovotyp genau auf einem Spiralarm liegt (Abb. 5). Beide Aufnahmen sind anlässlich dieses Seminarabends wieder in der Vorhalle des Planetariums ausgestellt.

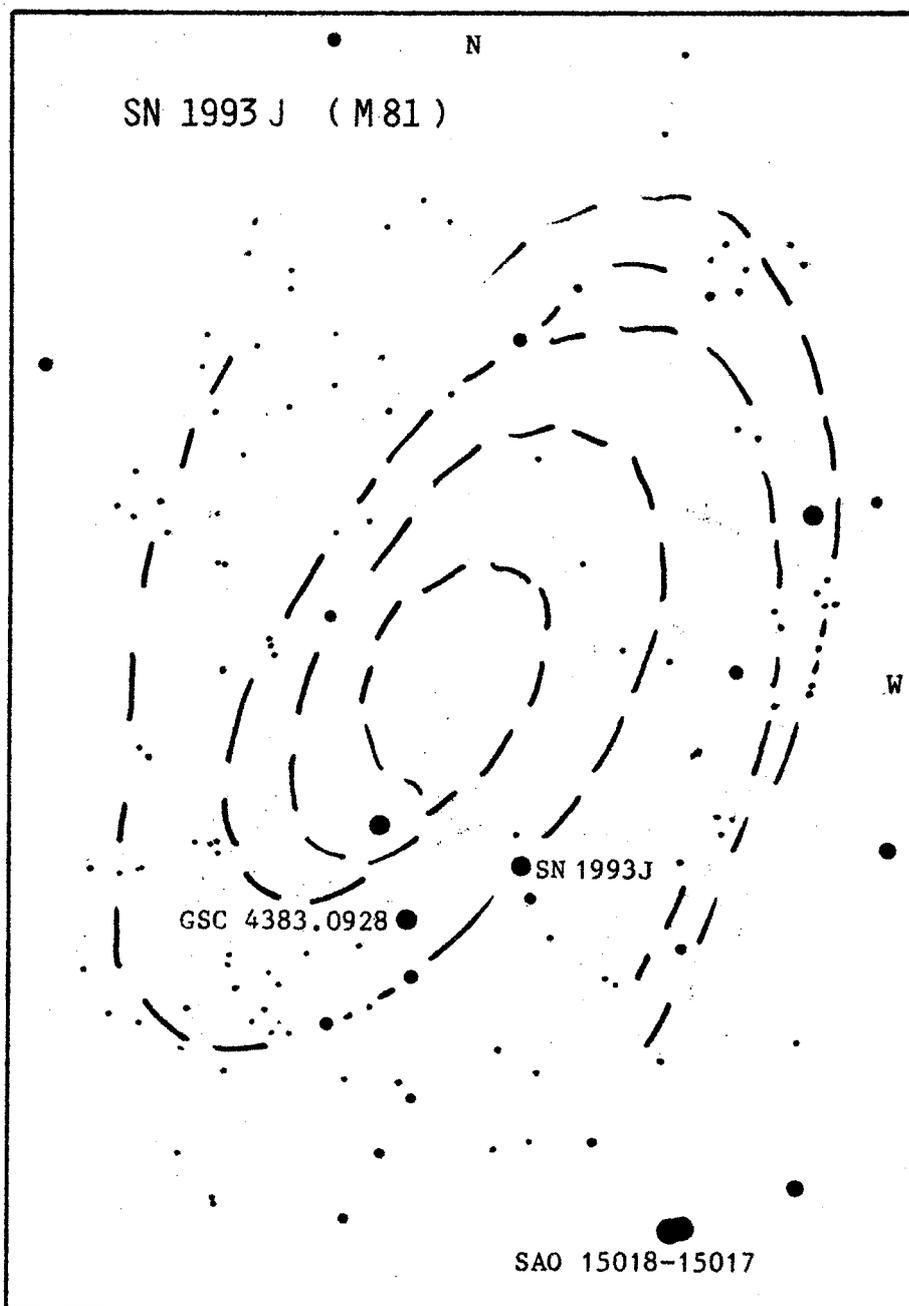


Abb. 5: Lagekarte SN 1993J. Die Supernova liegt auf einem Spiralarm, die M81 nächstgelegenen helleren Sterne sind SAO 15018-15017, $m_V = +10,5^{\text{mag}}$. Der Vergleichssterne war GSC 4383.0928.

7. Fortsetzung Gastvortrag: Supernova-Beobachtungen ...

In den Aufnahmen und in der Lagekarte beachte man auch den Vergleichssterne für die im Folgenden beschriebenen photoelektrischen Messungen entnehmen, der im Guide Star Catalog unter der Nummer GSC 4383.0928 registriert ist und im rechten Winkel des Dreiecks steht, in dem sich auch die Supernova befindet.

A. PURGATHOFER-STERNWARTE

Das mit einem speziellen Photometer (siehe Sternbote 7/1993) ausgestattete Ritchey-Chrétien Teleskop 100/880cm (siehe Sternbote 1/1989) wurde auch für die lichtelektrische Messung der SN 1993J eingesetzt, siehe Abb. 6, 7 und 8. Beobachter war R. Pressberger.

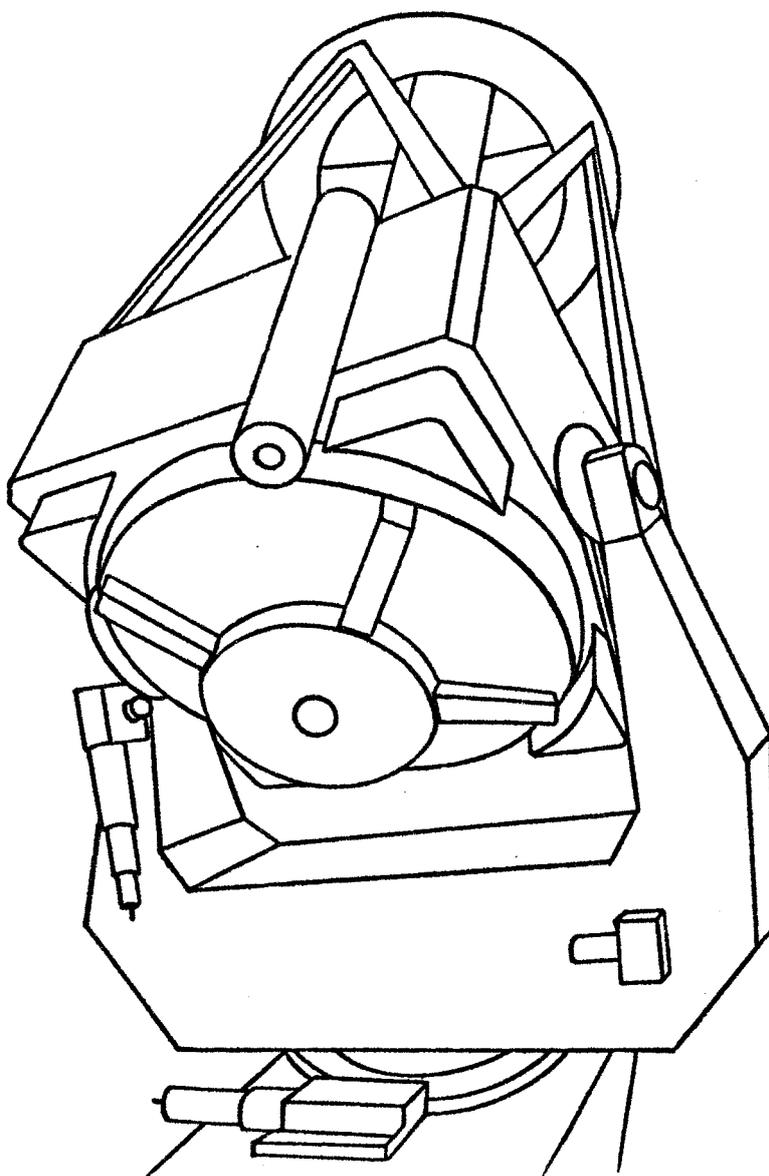


Abb. 6: Das RC-Teleskop 100/880cm der Purgathofer-Sternwarte bei Klosterneuburg (schematisch). Sternbote 1/1989, S. 2 ff.

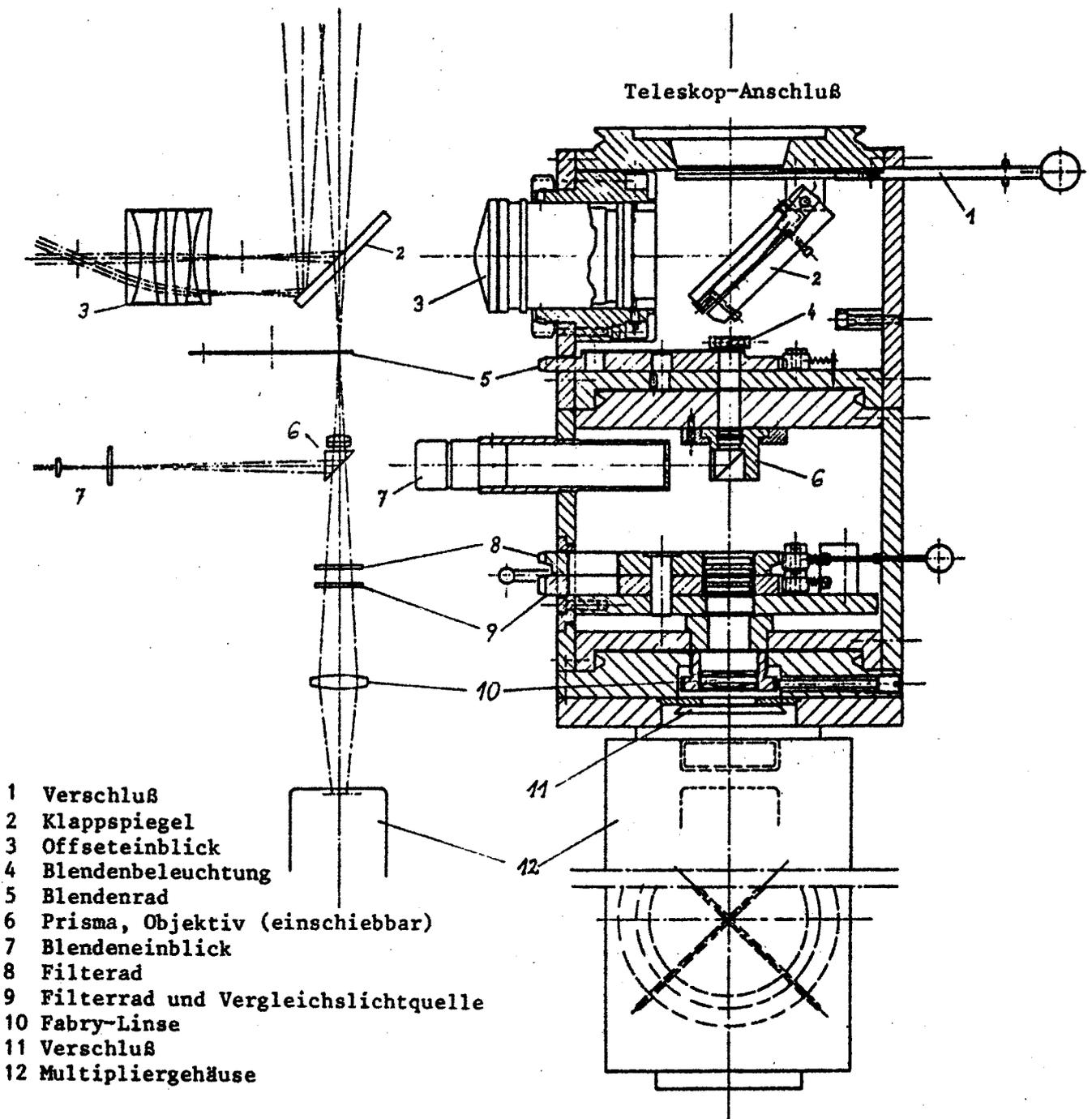


Abb.7: Prinzipieller Aufbau eines herkömmlichen lichtelektrischen Photometers, gezeigt an jenem des RC-Teleskops von 60cm Öffnung - $f/8,3$ - des Leopold Figl Observatoriums. Seminar-papiere 1987 "Veränderliche Sterne".

Das Prinzip des speziellen Photometers für das 1m RC-Teleskop der Purgathofer-Sternwarte ist die quasisimultane Messung der Programmsterne mit Hilfe eines rasch rotierenden Filterrades (Abb.8), das für das normale Programm (Photometrie von chemisch peculiaren Sternen der oberen Hauptreihe) mit Filtern des Strömgrensystems uvby sowie mit g^1 und g^2 bestückt ist, um den von Maitzen (1976) definierten Index zur Erkennung dieser Sterne zu erhalten.

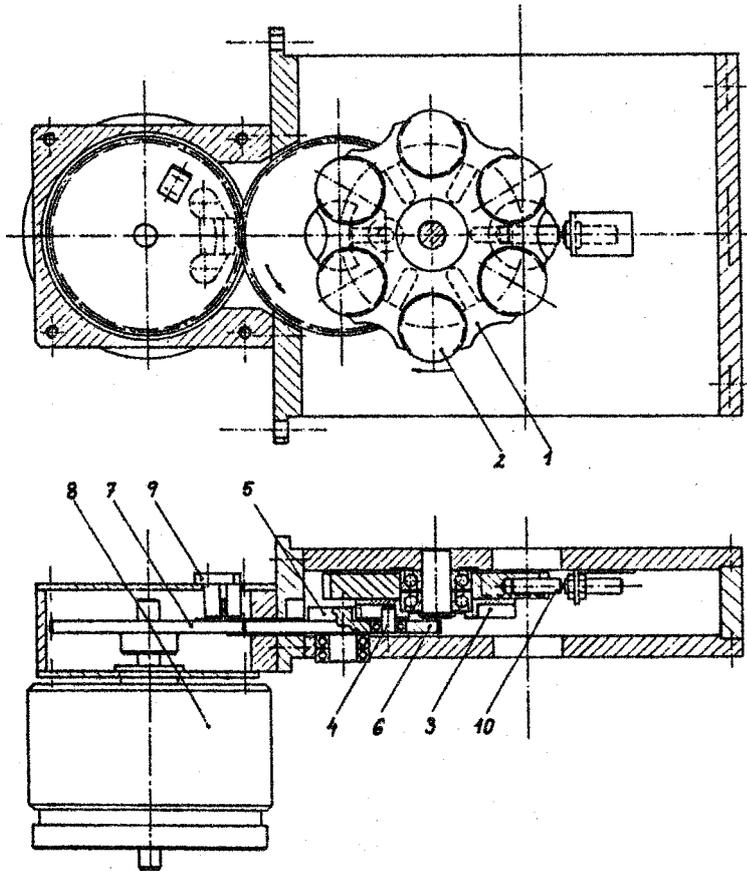


Abb.8:

Filterradmodul A.

- 1 Filterrad
- 2 Filter
- 3 Malteserkreuz
- 4 Antriebszapfen
- 5 Sperre
- 6 Antriebsrad
- 7 Zahnrad
- 8 Asynchronmotor
40 Watt A.Läufer
- 9 Magnetschranke 1
- 10 Magnetschranke 2

Sternenbote 7/1993,
S.134 ff., ebendort
auch Beschreibung
der Elektronik.

Im Fall der Supernova SN 1993J ergab dies unter Verwendung des oben genannten Vergleichssterne eine grob definierte relative spektrale Energieverteilung (Abb.9) für 8 Nächte zwischen dem 27. April und dem 11. August 1993. Das letztere Datum ist allen Sternfreunden wegen des angesagten Meteorschauers in deutlicher Erinnerung. In unserem Fall hat die ausgezeichnete Atmosphärenbeschaffenheit in dieser Nacht wesentlich zur guten Definition der letzten Punkte unserer Lichtkurven beigetragen, obwohl die Helligkeit der Supernova zu diesem Zeitpunkt mit $V = 13,97$ eigentlich schon das normale Größenklassenlimit überschritten hatte.

Zum Beobachtungsmodus ist festzustellen, daß das rasch rotierende Filterrad 60 Millisekunden bei einem Filter verweilt und dann in 20 Millisekunden zum nächsten Filter vorrückte. Eine Meßserie umfaßte typischerweise 200 Rotationen des Filterrades, woraus sich eine Gesamtmeßzeit von

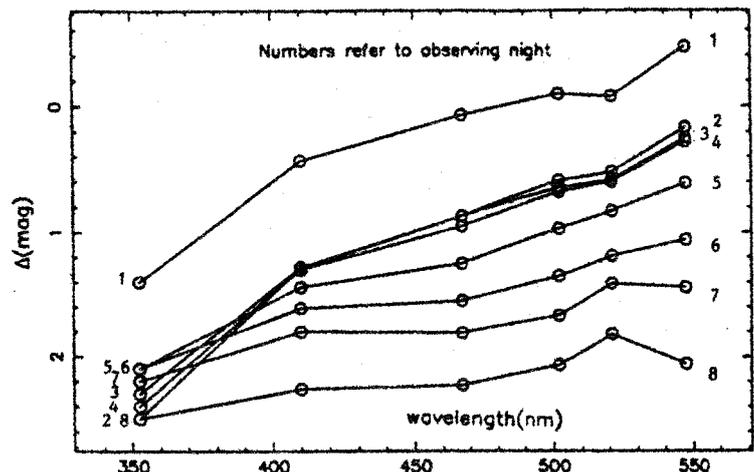


Abb.9: Relative Energieverteilung,
Inf.Bull.on Variable Stars No.4007.

10. Fortsetzung Gastvortrag: Supernova-Beobachtungen ...

12 Sekunden pro Filter in einer Serie ergab. Die Supernova und der Vergleichssterne sowie der Himmelshintergrund wurden pro Nacht 2-3 mal gemessen, wobei ein Meßsatz aus 5 solchen Serien bestand. Die Wahl der Blendengröße ist ebenfalls besonders anzumerken: Im Gegensatz zur üblichen Blendengröße von 20-30 Bogensekunden wurde für die Supernova die kleinste Blende von 6,6 Bogensekunden gewählt, um die Helligkeit des Himmels so stark wie möglich zu reduzieren. Wie die Reduktion der Messungen zeigte, bewirkte sowohl die Güte der Nachführung als auch die häufige Überprüfung des Zentrierungszustandes in der Meßblende, daß im Rahmen der zu erwartenden Fehler (2%) keine nennenswerten Auswanderungseffekte auftraten.

Glücklicherweise lag die Hauptquelle der Himmelsaufhellung, die Stadt Wien, fast diametral der Supernova gegenüber. Trotzdem ist die störende Lichtausschüttung der Außenbeleuchtung eines Rehabilitationszentrums im Norden der Purgathofer-Sternwarte (Entfernung ca. 2,5 km) ein merkbarer Beitrag zur Himmelsaufhellung in ungefähre Richtung zu Supernova gewesen.

Aus der Publikation der Messungen (RP, HMM in "Information Bulletin on Variable Stars No. 4007") entnehmen wir die Tabelle der differentiellen Messungen in allen sechs Filtern, sowie die absolut erhaltenen V-Werte. Die Genauigkeit der Größenklassendifferenzen pro Nacht ist $0,02^{\text{mag}}$ für alle Filter, mit Ausnahme des ultravioletten Strömrenfilters u, in dem nur auf ca. $0,1^{\text{mag}}$ genau zu messen war. Gerade dieses Filter erscheint uns unser besonderer Beitrag zur internationalen Beobachtungskampagne zu sein, denn die meisten mit CCD-Kameras erzielten Messungen enden bei Johnson-B, weil im UV nicht sensibilisierte Chips verwendet worden waren.

No.	JD-2440000	Date (1993)	Δu	Δv	Δb	$\Delta g1$	$\Delta g2$	Δy	V
1	9105.39	Apr 27.89	1.4	0.43	0.07	-0.10	-0.08	-0.47	11.44
2	9119.41	May 11.91	2.5	1.29	0.87	0.59	0.52	0.17	12.08
3	9122.41	May 14.91	2.3	1.28	0.87	0.65	0.58	0.25	12.16
4	9125.39	May 17.89	2.4	1.30	0.95	0.68	0.60	0.28	12.19
5	9140.39	Jun 01.89	2.1	1.44	1.25	0.97	0.83	0.61	12.52
6	9168.43	Jun 29.93	2.1	1.61	1.55	1.35	1.19	1.06	12.97
7	9186.43	Jul 17.93	2.2	1.80	1.81	1.67	1.41	1.44	13.35
8	9211.40	Aug 11.90	2.5	2.26	2.23	2.07	1.82	2.06	13.97

Größenklassen-
Unterschied in
6 Filtern sowie
V-Helligkeiten
für 8 Nächte
27. Apr. - 11. Aug.

Die Darstellung der Lichtkurven für die einzelnen Filter in Abb. 10 enthüllt aber, wie wichtig gerade das UV-Filter für die Entwicklung der SN 1993J ist. Sie zeigen einen mit der Wellenlänge abnehmenden Abfall der Helligkeit vom 27. April (erste Meßnacht) bis zum 11. Mai 1993 (zweite Meßnacht), dann erfolgt ein Knick in der Helligkeitskurve, weil die weitere Entwicklung in der exponentiellen Phase ei-

11. Fortsetzung Gastvortrag: Supernova-Beobachtungen ...

nen langsameren Helligkeitsverlust zwischen 0,009 und 0,018^{mag} pro Tag zwischen Blau und Visuell zeigt. Was sich in der v-Kurve ganz leicht andeutet, wird aber in u manifest: ab Mitte Mai gibt es nicht nur keinen weiteren Helligkeitsabstieg mehr, sondern sogar einen Anstieg zu einem weiteren Maximum, nämlich dem dritten der Supernova 1993J.

Dieses Maximum ist bemerkenswert, denn sein Ursprung ist im Gegensatz zur den beiden ersten Maxima (Schockfrontdurchgang durch verdünnte Hülle bzw. Aufheizung durch Gammastrahlung, die beim Zerfall von radioaktivem Nickel und Kobalt entsteht) so gut wie ungeklärt. Dieses Maximum ist aber nicht zum ersten Mal bei einer Supernova aufgetreten. Im Bereich 300-320nm haben Messungen des International Ultraviolet Explorer (IUE) ebenfalls ein drittes Maximum für die berühmteste Supernova dieses Jahrhunderts SN 1987A ergeben. Die Dauer dieses Maximums ist um einen Faktor 4 länger bei SN 1987A als bei SN 1993J. Diese Zeitskala gilt auch für andere Merkmale der Entwicklung der beiden Supernovae.

Ein besonderes Merkmal sei noch erwähnt: die Entwicklung der Helligkeit im g² Filter, also im Bereich 521nm, weicht von jener der umliegenden Filterbereiche ab. Während zu Beginn unserer Messungen die differentielle Intensitätsverteilung in diesem Filter ein Defizit zeigt, hat sie am Ende dort deutlich mehr Fluß (nämlich 40%) relativ zu den angrenzenden Filterbereichen als am Beginn unserer Meßperiode.

Schließlich ist bemerkenswert, daß die Supernova 1993J in dem von unseren Messungen überdeckten Spektralbereich im beobachteten Intervall deutlich blauer geworden ist.

Abschließend kann festgestellt werden, daß die Beobachtung der SN 1993J eine einmalige und faszinierende Herausforderung an die Möglichkeiten und Fähigkeiten unserer Beobachtung war und daß auch bei widrigen Bedingungen konkurrenzfähige Resultate erzielt werden können - vor allem in unserem Fall auf dem Gebiet der Photometrie.

Ing. Rudolf Pressberger Univ.-Prof. Dr. Hans Michael Maitzen

Institut für Astronomie der Universität Wien

Türkenschanzstraße 17, A-1180 Wien

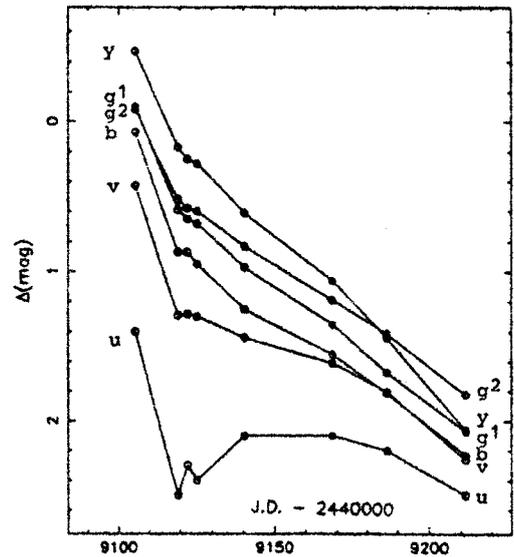


Abb.10: Lichtkurven von SN 1993J in 6 Filtern.