

Astronomische Finsternisse

Theodor Ritter von Oppolzer Gedächtnis-Seminar

Beiträge zu Geschichte, Wesen, Berechnung (mit Zahlenbeispielen) sowie Beobachtung astronomischer Finsternisse, jeweils mit weiterführenden Literaturangaben. Ein besonderes Referat ist der totalen Sonnenfinsternis 1999 08 11 gewidmet. Bedeckungsveränderliche Sterne jedoch sind in den Seminarpapieren 1987, Die Veränderlichen, behandelt.

- 1 - 2 Titelseite und Inhaltsverzeichnis. Gesamtliste <http://members.ping.at/astbuero>.
- 3 - 10 Theodor Ritter von Oppolzer und sein Canon der Finsternisse (Prof.Hermann Mucke, Wien).
- 11 - 40 Bemerkenswerte Finsternisse (Georg Zotti, Wien).
- 41 - 48 Die Geometrie astronomischer Finsternisse (Prof.Hermann Mucke, Wien).
- 49 - 74 Die Berechnung von Sonnenfinsternissen und der „Canon of Solar Eclipses, -2003 to +2526“ (Prof. Hermann Mucke, Wien, in Vertretung auch für Lic. Jean Meeus, Erps-Kwerps, Belgien).
- 75 - 84 Der „Canon of Solar Eclipses, -2003 to +2526“ in der Praxis (Karl Silber, Gmunden OÖ).
- 84 - 98 Finsternisgebiete (Silvia Haindl, Wien).
- 99 -102 Beilage: Die Wissenschaftliche Beobachtung von Sonnenfinsternissen (Emer. Univ.-Prof.Dr.Hermann Haupt, Graz).
- 103-106 Die Beobachtung einer Sonnenfinsternis (Hans Bernhard, München).
- 107-112 Sonnenfinsternisse – Erfahrung und Erleben (Hermann Koberger, Rohrwies/Zipf OÖ, auf Tonband).
Dazu Lesung aus Adalbert Stifter's Bericht über sein Erleben der totalen Sonnenfinsternis 1842 07 08 (Josef Wenzel Hnátek, ORF-Wissenschaft, Wien).
- 113-124 Zur totalen Sonnenfinsternis 1999 08 11 (Prof.Hermann Mucke, Wien).
Dazu Beigabe: Sonnensichtbrille von CARL ZEISS (mit Original BAADER Sonnenfilter-Folie AstroSolar TM, siehe letzte Seite der Seminarpapiere).
- 125-146 Beobachtung der Sonne mit SOHO.
Enthält dazu im Vergleich „Sonnenbeobachtung für Jedermann auf der Wiener Urania Sternwarte“ (Karl Glaser, Wien).
- 147-154 Die Berechnung von Mondfinsternissen und der „Canon of Lunar Eclipses, -2001 to +2526“ (Prof.Hermann Mucke, Wien, in Vertretung auch für Lic.Jean Meeus, Erps-Kwerps, Belgien).
- 155-160 Beilage: Mondkarten für die Beobachtung von Finsternissen und Bedeckungen.
Enthält die Meßkrater-Koordinaten des „Neuen Systems“ zur kratergenauen Beobachtung von Mondfinsternissen (Dipl.Ing.Antonin Růkl, Prag).
- 161-166 Berechnung von Sternbedeckungen durch den Mond (Renate Weiland, Wien).
- 167-172 Beobachtung von Sternbedeckungen durch den Mond (Mag.Thomas Weiland, Wien).
- 173-182 Finsternisperioden (Dipl.Ing.Dr.Robert Weber, Wien).
- 183-193 Durchgänge von Merkur und Venus vor der Sonne (Wolfgang Vollmann, Wien).

- 194 Beilage: Bauanleitung für eine ideale Lochkamera (Georg Zotti, Wien).
 195-207 Verfinsterungen und Bedeckungen der Galilei'schen Jupitermonde (Herbert Smutek, Wien).
 208 Hinweise auf Sonnenfilter-Folie BAADER AstroSolar TM (ASTRO*MEDIA VERLAG) und Fernglas 10x40 B/GA T* (CARL ZEISS).

Bitte verbessern in 4. Forts., -393 Gr. Text, Z.3: statt φανῆαι lies φανῆναι.
 „Bemerkenswerte 6. Forts., -3 Gr. Text, Z.5: statt υxtl lies υxtl.
 Finsternisse“: 8. Forts., 324 Gr. Text, Z.4: statt υῤρανῶ lies οῤρανῶ.
 17. Forts., 5.5 Zeile 1/2: statt »Kernschattenkegels« lies »Halbschattenkegels«.

Das Seminar wurde an fünf Abenden im Frühling und einem Multimedia-Nachmittag im Sommer 1999 zur Vorbereitung auf Beobachtung und Tagesbusfahrt zur totalen Sonnenfinsternis 1999 08 11 als Gemeinschaftsveranstaltung im Wiener Planetarium von diesem und dem Österreichischen Astronomischen Verein abgehalten. Seminarleiter: Prof.H.Mucke.

SEMINARPAPIERE

Die Dokumentationen der Seminare 1973–1999 wurden vom Österreichischen Astronomischen Verein als Eigentümer, Herausgeber und Verleger veröffentlicht; er besitzt alle Rechte an diesen. Die Wiedergabe, auch von Teilen, ist nur mit dessen Genehmigung gestattet. Die Seminarpapiere 1973-1979 einschließlich sind, weil größtenteils überholt, nicht mehr erhältlich. Jene ab 1980 einschließlich sind lieferbar. – Bestellungen: Astronomisches Büro, Hasenwartgasse 32, A-1238 Wien, Tel.+Fax 00431 – 889 35 41, astbuero@astronomisches-buero-wien.or.at. Die Titel aller Seminarbeiträge stehen in der Homepage des Astronomischen Büros, <http://members.ping.at/astbuero/>. Die Zahlen hinter den genannten Generalthemen nennen die durchschnittlich pro Abend *tatsächlich* anwesenden Teilnehmer.

1973 Astronomische Koordinatensysteme, 58	1989 Planet Erde, 211
1974 Gebrauch astronomischer Jahrbücher, 81	1990 Die Milchstraße, 188
1975 Himmelskarten und ihr Gebrauch, 97	1991 Die Sonnenuhren (Urania), 100
1976 Fernrohre und ihr Gebrauch, 115	1992 Moderne Astronomische Phänomenologie, 137; dessen Fortsetzung,
1977 Astronomische Phänomenologie. 106	1993 Astron.Phänomenologie. 105
1978 Amateurastronomie, Theorie/Praxis, 198	1994 Himmelskundliche Beobachtungen und himmelskundl.Weltbild, 144
1979 Astronomische Finsternisse, 104	1995 Himmelskundliche Beobachtungen und himmelskundl.Weltbild, 70
1980 Die Kometen, 111	1996 Angewandte Astronomische Phänomenologie. 90
1981 Der Mond, 147	1997 Himmelskundliche Beobachtungen und himmelskundl.Weltbild, 93
1982 Die Kleinplaneten, 164	1998 Astronomische Finsternisse, ~ 122
1983 Die Doppelsterne, 163	
1984 Die Sonne, 199	
1985 Himmelskunde und Kleinrechner, 167	
1986 Die Meteore, 127	
1987 Die Veränderlichen, 172	
1988 Die Galaxien, 223 (Hausrekord)	

Die Papiere waren jeweils für den Abend vor dessen Beginn bei persönlicher Teilnahme und Vorweis der Kurskarte unentgeltlich zu beheben. Den mit den Papieren verbundenen beträchtlichen Arbeits- und Mittelaufwand leistete diese größte landesweite Fachvereinigung im Interesse einer qualifizierten Weiterbildung auf dem Gebiet der Himmelskunde.

Res servera est verum gaudium!

Referat: Theodor Ritter von Oppolzer und sein Canon der Finsternisse

Dem Theodor Ritter von Oppolzer – Gedächtnisseminar „Astronomische Finsternisse“ zum Geleit

Aus dem aktuellen Anlaß der totalen Sonnenfinsternis vom 11. August 1999, deren Zentrallinie durch die Osthälfte Österreichs verläuft, soll dieses 26. unserer alljährlichen Seminare dem Gedächtnis des Astronomen und Geodäten Oppolzer aus der Monarchie gewidmet sein, dessen Name untrennbar mit Sonnen- und Mondfinsternissen verbunden ist.

Eine kurze Biographie und ein Rückblick aus heutiger Sicht auf sein wohl bekanntestes und weltberühmt gewordenes Standardwerk für fast ein Jahrhundert, den 1887 von der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien veröffentlichten „Canon der Finsternisse“, soll uns Theodor Ritter von Oppolzer und dieses Werk nahebringen.

1 Kurze Biographie

1841 am 26. Oktober wird Theodor (Aus dem Griechischen: Gottesgeschenk) in Prag geboren. Sein Vater Johann war damals Primararzt am Allgemeinen Krankenhaus und Professor der Medizin in Prag, seine Mutter Maria war Tochter eines Chemikers.

1848 geht die Familie nach Leipzig, wohin der Vater einem Ruf der dortigen Universität gefolgt war.

1850 nimmt die Familie ihren Wohnsitz in Wien, wo der Vater seine Lehrtätigkeit an der Alma Mater Rudolphina beginnt und wesentlich zum hohen Ruf der damaligen Wiener Medizin beiträgt.

1851 tritt Theodor in das Piaristengymnasium in Wien 8. ein

1859 besteht er dort die Matura mit Auszeichnung und beginnt auf Wunsch der Eltern das Medizinstudium. Es erwacht sein Interesse für die Astronomie.

1861 veröffentlicht er in den „Astronomischen Nachrichten“ seine erste Arbeit. Sie befaßt sich mit der Bahn des Kometen 1861 I = C/1861 G1 Thatcher, der als Ursprungskomet des Meteorstroms der Lyriden bekannt ist und dessen Bahn noch heute (Catalogue of Cometary Orbits 1998) jene von Oppolzer sind. Vater geadelt.

1862 errichtet er, unterstützt von seinem Vater, auf dem Hause Alserstraße 25, Wien 9., eine Privatsternwarte. Sie war mit einem parallaktisch montiertem Refraktor von 18cm Ø unter einer Sternwarkuppel und einem Kometensucher (Dialyte, von Plössl) sowie mit einem Passageninstrument (von Starke, ebenfalls in Wien) ausgerüstet und wurde als „Sternwarte Wien-Josephstadt“ mit den Koordinaten 1h05m25,17"E / 48°12'53,8"N / 214m international bekannt. 1912 abgebrochen.

1863 erscheint in den Sitzungsberichten der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien erstmals eine Arbeit Oppolzers. Sie hat die Bahnbestimmung des Kleinplaneten (64) Angelina zum Gegenstand. Es folgen weitere Arbeiten zur Bahnbestimmung, vor allem

1864 Entwicklung von Differentialformeln zur Planeten- und Kometenbahnverbesserung nach geozentrischen Örttern in den „Sitzungsberichten“ und die Abhandlung über den Klein-

1. Fortsetzung Referat: Theodor Ritter von Oppolzer und sein Canon der Finsternisse

planeten (73) Clytia mit anschließender Wiederauffindung durch Oppolzer. Wiederauffindungen nach neuer Bahnbestimmung gelingen ihm auch bei (62) Erato und (91) Aegina. Während seines Medizinstudiums veröffentlicht er 56 astronomische Arbeiten, die größtenteils mit langwierigen Rechnungen verbunden sind.

1865 legt er sein medizinisches Rigorosum „in Aufsehen erregender, glänzender Weise“ (Schram) ab. Zu einer Ausübung des Arztberufes kommt es jedoch nicht. Heirat mit Coelestine von Mautner-Markhof. Der überaus glücklichen Ehe entstammen sechs Kinder, drei Buben und drei Mädchen.

1866 wird er Privatdozent für Theoretische Astronomie und wirkt von da an bis zu seinem Tod an der Wiener Universität. Unter seinen vielen Veröffentlichungen aus jenen Jahren ist hervorzuheben die

1867 „Bestimmung der Kometenbahn“; hier wird eine neue Methode der Bahnbestimmung veröffentlicht, die keine Ausnahmefälle mehr kennt und stets anwendbar ist. Auch eine Arbeit über den Zusammenhang von Kometen und Sternschnuppen ist bedeutend.

1868 Teilnahme an einer Expedition zur Beobachtung der Totalen Sonnenfinsternis 1868 08 18 nach Aden; Ergebnisse in den „Sitzungsberichten“ veröffentlicht.

1869 wird Oppolzer zum korrespondierenden Mitglied der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften gewählt. Dies geschieht im Alter von knapp 28 Jahren, eine ganz besondere Auszeichnung.

1870 erscheint der erste Band seines „Lehrbuches zur Bahnbestimmung der Kometen und Planeten“ bei W.Engelmann in Leipzig. Dieses 1880 um einen zweiten Band erweiterte und 1882 durch die völlig umgearbeitete 2.Auflage des ersten Bandes abgerundete Werk wurde später ins Französische übersetzt und war hoch geschätzt und weit verbreitet. Bot es doch eine „die Gauß'sche Methode der Bahnbestimmung an Kürze, Schärfe und Konvergenz bei weitem übertreffende Methode der Bahnbestimmung“ (Schram) und war auch zum Selbststudium geeignet. In der Tat wird das Sachgebiet der Bahnbestimmung der Planeten und Kometen samt „Zubehör“ hier erstmals leichter zugänglich gemacht. Im gleichen Jahr wird er außerordentlicher Professor für Astronomie und Höhere Geodäsie an der Universität Wien (unbesoldet).

1871 Tod des Vaters. Er wird Dr.h.c. der Universität Leiden.

1872 Ernennung zum Kommissär der Europäischen Gradmessung; geodätische Beobachtungen und Arbeiten.

1873 zum Vorstand des k.k.Gradmessungsbureaus und zum Regierungsrat ernannt. „Von da an datiert eigentlich erst der Aufschwung der Gradmessungsarbeiten in Österreich“ (Schram).

1874 beobachtet er am 9. Dezember den Venusdurchgang in Jassy (heute Iasi, in NO-Rumänien). Venusdurchgänge wurden damals nach Vorschlag Halley's zur Bestimmung der Sonnenparallaxe verwendet, die Ergebnisse litten aber unter dem „Schwarzen Tropfen“.

1875 Ordentlicher Professor für Astronomie und Höhere Geodäsie an der Universität Wien.

1878 beobachtet Oppolzer am 6.Mai den Merkurdurchgang auf seiner Privatsternwarte. Absolute Schweremessungen mit dem Repsold'schen Reversionspendel an der k.k.Sternwarte in Wien. Zum Ritter III.Klasse des Österreichischen Ordens der Eisernen Krone ernannt; zum Correspondant de l'Institut de France in Paris und zum Correspondierenden Mitglied der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften in München gewählt.

1880 Ehrenmitglied der Societé de physique et d'histoire naturelle in Genf.

1881 Syzygientafeln für den Mond, als Publikation XVI der Astronomischen Gesellschaft ver-

2. Fortsetzung Referat: Theodor Ritter von Oppolzer und sein Canon der Finsternisse

öffentlich: Auf der Grundlage der Mondtheorie von P.A.Hansen konstruierte Tafeln zur Berechnung von Finsterniselementen in großem Stil.

1882 Wirkliches Mitglied der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. Nachfolger von C.Brühns als Sekretär der permanenten Kommission der Europäischen Gradmessung.

1883 Foreign Associate of the National Academy, Washington. Vorstandsmitglied der Astronomischen Gesellschaft, der er seit ihrer Gründung (Heidelberg 1863, de jure, de facto schon Lilienthal 1800) angehört hatte. Tafeln zur Berechnung der Mondfinsternisse, im XLVII. Band der Denkschriften der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Classe der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien, zur Berechnung von Mondfinsternissen in großem Stil.

1884 Commandeurkreuz des Italienischen Kronenordens. Membre du comité international des poids et mesures. Beiträge zur Theorie und Praxis der Schweremessungen und über die Länge des Siriusjahres. Arbeiten zur Störungsrechnung (Variation der Konstanten).

1885 Ernennung zum k.k.Hofrat. Auswärtiges Mitglied der Königlichen Akademie der Wissenschaften in Budapest. Präsident der Österreichischen Gradmessungskommission. Mitglied der Kaiserlichen Leopoldinisch-Carolingischen Akademie der Naturforscher in Halle. Vertreter Österreichs im Comité international des poids et mesures. Abschluß der von Oppolzer vorbereiteten und von zehn Rechnern tatsächlich ab 1881 ausgeführten Berechnungsarbeiten für den „Canon der Finsternisse“. Entwurf einer Mondtheorie auf Grundlage der Arbeiten zur Störungsrechnung aus dem Jahr 1884. Plan, hier bis zu Gliedern 8. Ordnung zu gehen.

1886 Abhandlung über die Refraktion; Angabe einer sehr rasch konvergierenden Reihe, um die Refraktion streng darzustellen. Arbeiten auf dem Gebiet der Schwingungsmessung. Vizepräsident der Europäischen Gradmessung.

Am 26. Dezember an einem Herzleiden verstorben.

1887 Seine Witwe läßt von den bereits an der Mondtheorie arbeitenden Rechnern die zugehörige Entwicklung der Differentialquotienten fertigstellen und durch die Wiener Akademie veröffentlichen. Der „Canon der Finsternisse“ erscheint als LII. Band der Denkschriften der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Classe der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften.

1987 erscheinen die „Vorträge beim Theodor Ritter von Oppolzer Gedächtnissymposium am 3. Dezember 1986“ in den „Geodätischen Arbeiten Österreichs für die Internationale Erdmessung“, neue Folge, Band V. Herausgegeben von der Österreichischen Kommission für die Internationale Erdmessung, Wien. Dort u.a. ausführlicherer Beitrag zu Oppolzer (M.Firneis).

In seinem Nachruf [1] beschreibt sein Schüler und Mitarbeiter R.Schram Oppolzer so:

„Oppolzer war von kräftigem, gedrungenem Körperbau, und seine eiserne Gesundheit schien jeder Anstrengung und Ermüdung trotzen zu können; er war eigentlich niemals ernstlich krank gewesen und hatte auch nie verstanden, sich zu schonen. Erst im Herbst 1886 begann er über Ermüdung und Unwohlsein zu klagen ... Im Umgange war Oppolzer einer der lebenswürdigsten Menschen, stets bereit zu helfen, wo und wie er es vermochte; so oft sich ein Anfänger an ihn wandte, konnte er sicher sein, mit Rat und Tat unterstützt, in schonendster Weise auf etwa begangene Fehler aufmerksam gemacht und auf den richtigen Weg gewiesen zu werden; er, der mit einer wahrhaft staunenswerten Geschwindigkeit und Sicherheit rechnete, ließ sich niemals die Mühe verdrießen, oft viele Seiten lange Rechnungen eines Anfängers durchzusehen und nachzurechnen und fast immer gelang es seinem

3. Fortsetzung Referat: Theodor Ritter von Oppolzer und sein Canon der Finsternisse

geübten Blick, in kürzester Zeit die gemachten Fehler zu finden und zu berichtigen. Wo er ein Talent fand, dort unterstützte er es nach Kräften, und eine große Zahl junger Astronomen hat er herangebildet, in deren Erinnerung er unvergeßlich fortleben wird.“

Nach Oppolzers Ehefrau ist der Kleinplanet (237) Coelestina und nach zweien seiner Töchter sind die Kleinplaneten (153) Hilda und (228) Agathe benannt. Nach ihm selbst trägt der Kleinplanet (1492) sowie eine Formation auf dem Mond – ein 43km im Durchmesser haltender Kraterrest mit Rille am Südrand des Sinus Medii, knapp südlich der Landstellen von Surveyor 4 und 6 – seinen Namen [2], [3].

2 Der Canon der Finsternisse

Plan, Zweck und Vorbereitung

Als Oppolzer um 1870 alte Finsternisse bearbeitete, faßte er den Entschluß zu einem größeren Katalogwerk von Sonnen- und Mondfinsternissen. Das bisher vorliegende Material war schon 1766, also mehr als hundert Jahre früher, von A.G. Pingré in Durand's „Art de vérifier les dates“ veröffentlicht worden und umfaßte einen Zeitraum von rund 1900 Jahren. Oppolzer plante ein großes, erdweites und auf der modernsten damals verfügbaren Mondtheorie – jener von P.A. Hansen – beruhendes Sammelwerk aller Sonnen- und Mondfinsternisse für einen ähnlich großen Zeitbereich, um dem Historiker chronologisch behilflich zu sein.

Oppolzer ging zunächst daran, die Hansen'schen Mondtafeln von 1857 [4] für die Finsternisrechnung in großem Stil umzuformen und die Rechnung wurde danach begonnen. Doch es stellte sich heraus, daß der mit der Hand zu bewältigende Rechenaufwand immer noch zu groß war und das Unternehmen wurde abgebrochen, obwohl schon viele Ergebnisse vorlagen. Es blieb nur ein Weg, und Oppolzer ist ihn gegangen. Aus der Hansen'schen Mondtheorie selbst wurden nun neue, vereinfachte und auf die Finsternisrechnung in großem Stil zugeschnittene Tafeln erstellt. Es waren dies die „Syzygientafeln für den Mond“ von 1881 [5] und die „Tafeln zur Berechnung der Mondfinsternisse“ von 1883 [6].

Ausführung

Trotzdem blieb der Rechenaufwand für die geplanten 8000 Sonnen- und 5200 Mondfinsternisse immer noch außerordentlich groß und Oppolzer sah sich deshalb nach Hilfskräften hiefür um. Er fand sie zunächst unter seinen Mitarbeitern im k.k. Gradmessungsbureau, die ja von vornherein an umfangreiche Zahlenoperationen gewöhnt waren: Dr. Ferdinand Anton, Dr. Franz Kühnert und Hans Freiherr von Rühling, denen sich später noch Dr. Eduard Freiherr von Haerdtl und Dr. Norbert Herz zugesellten. Trotz der guten Organisation der logarithmischen, auf Formblättern durchzuführenden Rechnung, des eisernen Fleißes und der Parallelarbeit von zwei Rechnergruppen, die ständig ihre Resultate verglichen, scheinen doch gewisse Verschleißerscheinungen aufgetreten zu sein. Schram berichtet [1]:

„Bald aber zeigte sich doch wieder, daß die Arbeit noch immer eine zu große war, um durch freiwillige Beiträge einzelner Rechner, wenn diese auch noch so sehr für die Sache begeistert waren, ausgeführt werden zu können; die Rechnung war viel zu monoton und fabrikmäßig, als daß nicht bald einer der Rechner nach dem anderen derselben überdrüssig geworden wäre“.

Oppolzer entschloß sich nunmehr, der Ausführung des Canons auch noch „eine bedeutende

4. Fortsetzung Seminar: Theodor Ritter von Oppolzer und sein Canon der Finsternisse

Summe Geldes“ zu opfern“ (Schram) und übertrug die Ausführung der Arbeit Mitarbeitern, die er aus eigenem bezahlte. Es heißt, er habe für die Berechnung der Elemente einer Sonnenfinsternis einen Gulden bezahlt – ein Installateurarbeiter verdiente damals *pro Tag* nur wenig mehr. So führten die von ihm bezahlten Privatassistenten F.K.Ginzel und Dr.Eduard Mahler zusammen mit den eigens aufgenommenen Rechnern Josef Strobl und Dr.Bernhard Schwarz das Unternehmen weiter. Später gewann er auch noch die Hilfe von Dr.Wilhelm Meyer, eines damals sehr bekannten und erfolgreichen populärastronomischen Schriftstellers und Astronomen der Sternwarte Genf. Dieser weilte damals in Wien – auf ihn geht übrigens auch der „Urania-Gedanke“ mit „Urania“-Gründungen in Berlin (1889), und Wien (1897) zurück. Nun schritt die Arbeit schnell voran und 1885 beschloß die Kaiserliche Akademie der Wissenschaften, den „Canon“ in einem einzigen, großen Band ihrer Denkschriften der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Classe zu veröffentlichen. Oppolzer hat noch selbst Korrekturen gelesen, aber das Erscheinen des Werke 1887 [7] nicht mehr erlebt.

Inhalt

Basierend auf der Hansen'schen Mondtheorie, die von Oppolzer vereinfacht und durch empirische Korrekturen ergänzt worden war, sind die erwähnten 8000 Sonnen- und 5200 Mondkernschattenfinsternisse zahlenmäßig beschrieben. Die erste Sonnenfinsternis ist jene von –1207 11 10 jul., die letzte jene von +2161 11 17 grg.; bei den Mondfinsternissen im Kernschatten sind das jene von –1206 04 21 jul. und +2163 10 12 grg.

Die Vereinfachungen bei den Sonnenfinsternissen sind die *Konstantsetzung der Kern- und Halbschattenradien* auf der durch die Erdmitte normal zur Richtung zur Mondmitte gelegten Bessel'schen Fundamentalebene, der *Geschwindigkeit der Schattenmitte* ebendort und der *Sonnendeklination* über die ganze Dauer der Finsternis hin. Für diese in Wirklichkeit veränderlichen Größen wird also ihr Mittelwert für die jeweilige Finsternis verwendet. Der Verlauf der Zentrallinien wird durch *Kreise* angegeben, die durch die berechneten Punkte „Zentralität im Aufgang, Mittag und Untergang“ gehen. Auf den in äquidistanter Polarprojektion erstellten Karten, die *vom Nordpol bis 30° südlicher Breite* reichen, wird so eine gut dem Zweck des Canons entsprechende Annäherung an die Wirklichkeit erzielt. Diese Karten sollen jedoch nur orientieren; der genauere Verlauf der Zentrallinien, der Grenzen des Gebietes partieller Sichtbarkeit sowie die Sichtbarkeit der zentralen Finsternisse südlich von 30° südlicher Breite und schließlich jene der nicht zentralen Finsternisse überhaupt können aber aus den gegebenen Elementen verhältnismäßig leicht berechnet werden.

Die Vereinfachungen bei den Mondfinsternissen betreffen vor allem die *halben Dauern*, die in Abhängigkeit von der Finsternisgröße genähert ermittelt werden. Es bekommen also verschiedene Mondfinsternisse der gleichen Größe die gleiche halbe Dauer. *Halbschattenfinsternisse sind nicht berücksichtigt* worden; hinsichtlich des Verwendungszwecks konnte auf sie leicht verzichtet werden.

Die „empirischen Korrekturen“ beziehen sich auf eine bessere Darstellung von Finsternissen in weit zurückliegenden Zeiten, als dies die Hansen'sche Theorie allein vermochte. Wie wir heute wissen, kommen in ihnen die Auswirkungen der mit zunehmender Zeit unregelmäßig langsamer werdenden Erddrehung zutage. Oppolzer hatte sie aus dem ihm bekannten Beobachtungsmaterial historischer Finsternisse ermittelt. Aber noch während der Rechenarbeit am „Canon“ legte sein von ihm hochgeschätzter Privatassistent F.K.Ginzel „schöne Untersuchungen über historische Finsternisse“ vor, „die infolge der Bedeutung der erlangten

5. Fortsetzung Referat: Theodor Ritter von Oppolzer und sein Canon der Finsternisse

Resultate von der Pariser Akademie durch die Ertheilung des Valz'schen Preises für das Jahr 1884 ausgezeichnet wurden" (Oppolzer). Die Arbeiten am „Canon waren aber schon so weit fortgeschritten, daß die neuen empirischen Korrekturen von Ginzler nicht mehr verwendet werden konnten. Sie finden sich in Ginzler's späterem Canon [8].

Der „Canon“ verwendet durchwegs Weltzeit und als Nullmeridian jenen von Greenwich; auch bei der Zählung der geographischen Längen (positiv nach Osten) wurden die Beschlüsse der Washingtoner Konferenz 1884 bezüglich Zählung der Längen und der Zeit bereits berücksichtigt. Aus internationaler Sicht war das damals aber noch nicht selbstverständlich, denn auch Oppolzer führt im Vorwort zum „Canon“ aus: „Ich will hoffen, daß die Gegner der Weltzeit hieraus nicht die Unbrauchbarkeit des vorliegenden Canons ableiten werden; gerade hier wird jene Zeiteinrichtung, die der bürgerlichen angepaßt ist, wesentliche Vortheile aufweisen“.

Die Angaben bei den Sonnenfinsternissen umfassen das Datum im julianischen bzw. ab der Finsternis +1582 12 25 im gregorianischen Kalender; die Tagnummer in der julianischen Periode; die Weltzeit der ekliptikalen Konjunktion von Sonne und Mond sowie die gemeinsame ekliptikale Länge beider; die Zeitgleichung im Sinn „mittlere minus wahre Sonnenzeit“, die Ekliptikalschiefe und die Finsterniselemente zur Berechnung lokaler Daten; Koordinaten jener Orte auf der Erdoberfläche, für welche die Finsternis im Aufgang, Mittag und Untergang der Sonne zentral ist; Angabe der Finsternisart und schließlich die schon genannten Karten mit den Zentrallinien vom Nordpol bis -30° geographischer Breite.

Die Angaben bei den Mondfinsternissen im Kernschatten umfassen Datum und Tagnummer wie oben; die Weltzeit bezieht sich jedoch auf die größte Phase der Finsternis; Größe in Zollen unter Verwendung einer Kernschattenvergrößerung von $1/40$ (12 Zoll oder mehr bedeutet total); Halbdauer der Partialität und der Totalität und schließlich die Koordinaten jenes Ortes auf der Erdoberfläche, der zum Zeitpunkt der ekliptikalen Konjunktion von Gegen Sonne (Erdschattenmitte) und Mond die Gegen Sonne im Zenit hat, womit eine leichte und genügend exakte Ermittlung des Sichtbarkeitsgebietes der jeweiligen Finsternisphase möglich ist.

Der Canon der Finsternisse in moderner Sicht

Mehr als hundert Jahre später sind wir heute in der Lage, den „Canon“ mit einem Werk zu vergleichen, das auf einer moderneren Mond- und Sonnentheorie beruht und dem die Erkenntnisse über die unregelmäßige Verlangsamung der Erddrehung sowie schließlich – vor allem – die Möglichkeiten der elektronischen Datenverarbeitung zugute kamen [9], [10]. Von ihnen wird in unserem Seminar noch die Rede sein. Für den Zweck dieses Beitrages soll ein eher schematischer Vergleich gebracht werden.

Sonnenfinsternisse:

Beginnen wir mit den Sonnenfinsternissen und der Uhrzeit der größten Phase, wobei die Weltzeit der ekliptikalen Konjunktion Sonne-Mond in dynamische Zeit der größten Phase umgesetzt werden muß. Dazu ist die in den Vergleichswerken gebrauchte „klassische“ Formel für ΔT [11] zu verwenden und zu rechnen $DT = UT + \Delta T$.

Es wurden dazu an vier über die gesamte Zeiterstreckung des „Canon“ verteilten Stellen über je einen Saroszyklus weg die Differenzen im Sinne Oppolzer minus Mücke/Meeus und Ginzler minus Mücke/Meeus ermittelt und deren jeweiliges arithmetisches Mittel sowie deren jeweilige Standardabweichung bestimmt:

6. Fortsetzung Referat: Theodor Ritter von Oppolzer und sein Canon der Finsternisse

Aus einem Saroszyklus	Arithmetisches Mittel		Standardabweichung	
	Oppolzer	Ginzel	Oppolzer	Ginzel
Um -1200	+41min		16min	
Um - 900	+34	- 2min	13	4min
Um + 600	+ 7	+8	3	2
Um +2160	+ 1		1/2	

In der Tat hat Ginzel eine starke Verbesserung erzielt! J. Meeus hat in seinem „Canon of Solar Eclipses“ 1966 [12] weitere systematische Abweichungen näher untersucht:

Sie liegen zunächst in k , dem Verhältnis Mond Durchmesser : Erddurchmesser, wodurch die Totalitätsdauern in Gegenwartsnähe um 10sek zu lang und die Ringförmigkeitsdauern um 10 bis 15sek zu kurz werden, wobei für den Anfang des „Canon“ mit einer Verdopplung dieser Werte zu rechnen ist. Durch das schlechte k tritt natürlich auch eine Abweichung in der Finsternisart und in der Finsternisstatistik ein. Im Endeffekt fehlen im „Canon“ 13 Sonnenfinsternisse. Systematische Fehler finden sich auch in γ , dem Abstand der Mondschattenachse von der Erdmitte zum Zeitpunkt des Maximums. Das verschiebt die Lage der Zentrallinie auf der Fundamentalebene in Gegenwartsnähe um rund 20 km, gegen Ende des „Canon“ um rund 45 km, und zwar bei einer Finsternis im aufsteigenden Knoten nach Süden, im absteigenden Knoten nach Norden. Die Abweichung von γ ist am Anfang des „Canon“ +0,02, bei -300 nahe 0,00, bei +773 nahe -0,01 (Minimum), bei +1813 wieder 0,00 und am Ende des „Canon“ +0,006. Das genannte Werk [12] gestattet dank der punktwise gerechneten und gezeichneten Zentrallinien eine gute Beurteilung der durch deren Wiedergabe als Kreise auf den Karten erzielten Näherung.

Mondfinsternisse:

Bei den Mondfinsternissen sehen die Zeitdifferenzen in den größten Phasen, wobei deren Uhrzeiten ebenfalls wie oben in dynamischer Zeit auszudrücken sind, folgendermaßen aus:

Aus einem Saroszyklus	Arithmetisches Mittel		Standardabweichung	
	Oppolzer	Ginzel	Oppolzer	Ginzel
Um - 1200	+41min		16min	
Um - 900	+29	-1min	12	6min
Um + 600	+ 7	+7	3	3
Um +2160	+ 1		2	

Auch hier sind die Ginzel'schen Werte deutlich besser. Eine Abweichung in der Finsternisart und damit auch in der Finsternisstatistik bringt die im „Canon“ zu groß gewählte Kernschattenvergrößerung von $1/40$. Dazu tritt noch die Beschränkung auf die Kernschattenfinsternisse. Im Endeffekt würden – zählte man die Halbschattenfinsternisse mit – 2908 Mondfinsternisse im „Canon“ fehlen. Natürlich erfolgte deren Weglassung mit gewissem Recht, denn die meisten von ihnen sind mit freiem Auge nicht wahrnehmbar. Allerdings sind sie freisichtig merklich, wenn ihre Größe im Halbschatten 0,7 erreicht oder übersteigt und sie tragen auch zur vollständigen Finsternisstatistik bei. Die große Bedeutung des „Canon“ hat durch Weglassung der Halbschattenfinsternisse die weit verbreitete Meinung entstehen lassen, Sonnenfinsternisse seien im Verhältnis 80:52 häufiger als Mondfinsternisse. In Wirklichkeit, mit Einbezug der Halbschatten-Mondfinsternisse, lautet das Verhältnis nach den Vergleichswer-

7.Fortsetzung Referat: Theodor Ritter von Oppolzer und sein Canon der Finsternisse

ken [9] und [10] rund 108:109. Sonnen- und Mondfinsternisse sind demnach, erdweit gesehen, ungefähr gleich häufig.

Sowohl bei den Sonnen- als auch bei den Mondfinsternissen zeigt die rasche Abnahme der Differenzen und deren Standardabweichungen gegen das Ende des „Canon“ deutlich, daß die von Oppolzer vor allem aus Gründen des Rechenaufwandes getroffenen Vereinfachungen (siehe 4.Fortsetzung) dem Werk und seinem Zweck kaum merklich geschadet haben.

Selbst diese kurze Darstellung zeigt, daß der monumentale „Canon“ in seiner Zeit und weit darüber hinaus mit Recht bestaunt wurde – und dies selbstverständlich nicht nur wegen der großen Sorgfalt und der außerordentlichen menschlichen und geistigen Leistung der Handrechnung, mit der er geschaffen wurde: Er hat in der Tat durch die Sicherung vieler historischer Daten, durch Nutzbarmachung wertvollsten, weit zurückliegenden Beobachtungsmaterials und schließlich durch die starke Anregung zur gezielten Suche nach solchem die Wissenschaft ganz besonders gefördert. Dies wurde nicht zuletzt durch das starke Fachinteresse an diesem Werk deutlich, das selbst ein Dreivierteljahrhundert später einen unveränderten Nachdruck [13] rechtfertigte.– Dem „Canon“ verwandte Finsterniskataloge: siehe [14].

Literatur

- [1] Schram, R.: Nekrolog auf Theodor von Oppolzer. Vierteljahrsschrift der Astronomischen Gesellschaft, 22.Jahrgang, Heft 2, 1887.
- [2] Schmadel, L.: Dictionary of Minor Planet Names. 3.Aufl., Springer Verlag, Berlin 1997.
- [3] Rükl, A.: Mondatlas. Dausien Verlag, Hanau, nach Artia Prag, 1990.
- [4] Hansen, P.: Tables de la lune, construites d'après le principe Newtonien de la Gravitation universelle. London 1857.
- [5] Oppolzer, T.v.: Syzygientafeln für den Mond. Astronomische Gesellschaft, Publication XVI, Leipzig 1881.
- [6] Oppolzer, T.v.: Tafeln zur Berechnung der Mondfinsternisse. Band 47, Denkschriften Math.-Nat.Classe, Kaiserliche Akademie der Wissenschaften, Wien 1883.
- [7] Oppolzer, T.v.: Canon der Finsternisse. Band 52, Denkschriften Math.-Nat.Classe, Kaiserliche Akademie der Wissenschaften, Wien 1887.
- [8] Ginzel, F.: Spezieller Canon der Sonnen- und Mondfinsternisse für das Ländergebiet der klass. Alterthumswissenschaften, 900 v.Chr. bis 600 n.Chr., Berlin 1899.
- [9] Mucke, H., Meeus, J.: Canon of Solar Eclipses, -2003 to +2526, 2.Aufl., Astronomisches Büro, Wien 1992. 1.Aufl. 1983. Oppolzer zum 100.Todestag gewidmet.
- [10] Meeus, J., Mucke, H.: Canon of Lunar Eclipses, -2002 to +2526. 3.Aufl., Astronomisches Büro, Wien 1992. 1.Aufl. 1979. Oppolzer zum 100.Todestag gewidmet.
- [11] Transactions of the International Astronomical Union, Vol.8, p.66, Cambridge 1954.
- [12] Meeus, J., Grosjean, C., Vanderleen, W.: Canon of Solar Eclipses. 1898 bis 2510 n.Chr.– Pergamon Press, Oxford 1966.
- [13] Oppolzer, T.v.: Canon der Finsternisse. Nachdruck: Dover Publ., New York 1962.
- [14] Mucke, H.: Theodor Ritter von Oppolzer und sein Canon der Finsternisse. Der Sternbote, 1/1978. Für vorliegendes Referat überarbeitete Fassung. Astron.Büro, Wien.

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

Referat: Bemerkenswerte Finsternisse

Zusammenfassung

Die Geschichtsschreibung überliefert zahlreiche astronomische Finsternisse in Zusammenhang mit irdischen Ereignissen. Eine Auswahl soll hier — ohne Anspruch auf Vollständigkeit — gegeben werden. Weiters werden seltene Finsternisformen und Bedeckungen von und durch Planeten behandelt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Früheste Überlieferungen	1
3	Finsternisse aus der Literatur	2
4	Astrophysikalische Erkenntnisse	14
5	Spezielle Sonnenfinsternisse	15
5.1	Ringförmig-totale Sonnenfinsternis	15
	Spezialfall	16
5.2	Nicht zentrale totale/ringförmige Finsternis	16
5.3	Totale Sonnenfinsternis größter Dauer	16
5.4	Ringförmige Sonnenfinsternis größter Dauer	17
5.5	Partielle Sonnenfinsternis geringster/maximaler Größe	17
5.6	„Paradoxe“ Lage des Schattenkegels	18
5.7	(Fast)-Zenitale Sonnenfinsternisse	20
6	Sternbedeckungen	21
6.1	Sternbedeckungen durch den Mond	21
6.2	Sternbedeckungen durch Planeten	21
7	Planetenbedeckung während einer Finsternis	22
7.1	Mondfinsternisse mit Planetenbedeckung	22
7.2	Planetenbedeckung durch die Sonne während einer Sonnenfinsternis	24
8	Gegenseitige Bedeckungen der Planeten	25

1 Einleitung

Aus der Antike sind uns durch Geschichtsschreiber historische Ereignisse wie Schlachten, Seuchen, Todesfälle von Herrschern *etc.* überliefert. Oft werden sie dabei mit Sonnen- und Mondfinsternissen in Zusammenhang gebracht.

F. K. GINZEL hat als Ergänzung zu OPPOLZER [2] in den Jahren 1894–96 große Anstrengungen unternommen, Aufzeichnungen über astronomische Finsternisse aus dem klassischen Raum der Antike zu sammeln und auf ihren Wahrheitsgehalt zu untersuchen. Zweck seiner Arbeit [3] war es einerseits, Historiker in ihrer Datierungsarbeit von Schriften zu unterstützen, andererseits, die Mondbahntheorie weiter zu verbessern.

Einen modernen umfassenden Überblick — aber auch genauere Berechnung — gestatten MUCKE und MEEUS [4, 5].

Moderne Rechenmethoden (gut aufbereitet z.B. bei MEEUS [6]), insbesondere für historische Untersuchungen geeignete Computerprogramme wie URANI STAR™ [7] (oder für Taschenrechner z.B. URANIA/48™ [8]) ermöglichen es jedem Interessierten, die geschilderten Finsternisse nachzurechnen. Ebenso kann man nach besonders langen/kurzen oder sonst speziellen Finsternissen suchen, sowie nach engen Konjunktionen oder sogar Bedeckungen von Planeten. Hierbei sind allerdings enorme Anforderungen an die verwendeten Rechengrundlagen gestellt, da Genauigkeiten im Bereich von Bogensekunden gefordert sind.

In den nachfolgenden — keinesfalls vollständigen — Listen soll der Versuch gemacht werden, einige geschichtlich bzw. astronomisch interessante Finsternisse zu beschreiben.

2 Früheste Überlieferungen

Aus dem CHINESISCHEN RAUM ist eine alte Geschichte bekannt ([9] p.87, [10] p.192, [11]): Die Astronomen HI und HO hatten es verabsäumt, eine Totale Sonnenfinsternis vorherzusagen, was in China zur Vorbereitung auf Opfer- und Reinigungszeremonien unbedingt nötig gewesen wäre, und wurden ob dieser Pflichtverletzung enthauptet. Diese Geschichte enthält auch Angaben über das genaue Datum (Herbstbeginn, Mond im FANG, also im Kopf des Skorpions). Einige Autoren meinen daher, es handle sich um die Totale Sonnenfinsternis vom 22.10.–2136. Es ist allerdings fraglich, ob die damalige chinesische Astronomie wirklich so weit entwickelt war, Finsternisse genau vorhersagen zu können, vermutlich stammt der historische Kern aus viel späterer Zeit. Es handelt sich wohl eher um die moralisierende Fassung der Geschichte der Astronomen HSI und HO, die bei einem Bürgeraufstand auf der falschen Seite standen und von den Siegern hingerichtet wurden. Die ersten — allerdings nicht besonders zuverlässigen — Berechnungen für die kaiserliche Hauptstadt sind erst aus dem 3. Jh. v. Chr. überliefert.

Viel wichtiger sind hingegen in den letzten Jahren gefundene alte *Beobachtungsberichte* aus dem chinesischen Raum, die bis in das 3. Jahrtausend v. Chr. zurückreichen. Insbesondere aus Beobachtungen von Finsternissen zu Sonnenauf- und -untergang lassen sich — sofern der Beobachtungsort hinreichend genau bekannt ist — Rückschlüsse auf die Veränderungen der Erdrotation und damit auf den wichtigen Wert $\Delta T = DT - UT$ ziehen [12].

In BABYLON wurde seit dem 7. Jh. v. Chr. versucht, Sonnen- und Mondfinsternisse vorherzuberechnen. Aufzeichnungen gehen ebenfalls in das 3. Jahrtausend zurück [12].

2. Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Finsternisse

Aus langen Beobachtungsreihen konnten die Sternkundigen Zyklen (v.a. Saros) ableiten. Auf Keilschrifttafeln wurden beobachtete, aber auch „vorbeigegangene“ Finsternisse aufgezeichnet [11, 13].

Aus dem bronzezeitlichen Europa sind Felsritzzeichnungen erhalten (11.–9.Jh. v.Chr.), bei denen es sich um Finsternisdarstellungen handeln dürfte [14].

3 Finsternisse aus der Literatur

Die Ereignisse sind mit astronomischen Datumsangaben versehen. Für Daten vor Beginn unserer Zeitrechnung ist die Angabe der Jahreszahl anders als bei historischer Zählung. So gilt z.B. –584 = 585 v. Chr.

Zu beachten ist auch das Einführungsdatum des Gregorianischen Kalenders (auf 1582 10 04 jul. folgte kirchlich 1582 10 15 greg.). Diese Umstellung wurde von den einzelnen Ländern — insbesondere den nichtkatholischen — oft eher zögerlich nachvollzogen, z.B. in Großbritannien (und Kolonien) erst 1752, in Rußland gar erst 1917.

Durch diese beiden einfachen, aber lästigen Probleme ergeben sich nur allzuoft irreführende Angaben, Finsternisdaten aus der Literatur sollten also stets nachgerechnet werden. Auf Probleme mit anderen Kalendersystemen kann hier erst gar nicht eingegangen werden.

Die erwähnten Finsternisse wurden mit URANI STAR™ und den beiden modernen *Canones* [4, 5] überprüft, einige Ergebnisse wurden hinzugefügt.

–2301 03 09 **Totale Mondfinsternis** Enuma Anu Enlil Tafel 20 ([12]).

Geht dem Tode des akkadischen Königs MANISHTUSHU voraus.

–2264 03 19 **Totale Mondfinsternis** Enuma Anu Enlil Tafel 20 ([12]).

Geht dem Tode des akkadischen Königs NARASIM voraus.

–2236 03 10 **Totale Mondfinsternis** Enuma Anu Enlil Tafel 20 ([12]).

Geht dem Tode des akkadischen Königs SHARKALISHARRI voraus.

–2094 07 25 **Totale Mondfinsternis** Enuma Anu Enlil Tafel 21 ([12]).

König SHULGI von UR wird von seinem Sohn gestürzt.

–2052 04 13 **Partielle Mondfinsternis** Enuma Anu Enlil Tafel 21 ([12]).

UR wird zerstört.

–720 03 19 **Totale Mondfinsternis** ([15] p.VIII, [10] p.186, [3] p.229).

Diese haben schon HIPPARCHOS und PTOLEMAIOS zur Bestimmung der Mondbewegung genutzt.

–584 05 28 **Totale Sonnenfinsternis** HERODOT, Historien I 74 ([3] p.169, [16] §244, [11]).

διαφέρουσι δὲ σφι ἐπὶ ἰσῆς τὸν πόλεμον τῷ ἔκτω ἔτει συμβολῆς γενομένης συνήνευκε ὥστε τῆς μάχης συνεστεώσης τὴν ἡμέρην ἑξαπίνης νύκτα γενέσθαι τὴν δὲ μεταλλαγὴν ταύτην τῆς ἡμέρης Θαλῆς ὁ Μιλήσιος τοῖσι Ἴωσι προηγόρευσε ἔσεσθαι, οὐρον προθέμενος ἐνιαυτὸν τοῦτον, ἐν τῷ δὴ καὶ ἐγένετο ἡ μεταβολή.

Als sie [Lydier und Meder] den Krieg unentschieden fortsetzten, geschah es im sechsten Jahre, daß, während die Schlacht im Gange war, der Tag plötzlich zur Nacht wurde. Diese Veränderung des Tages hatte aber Thales der Milesier den Ioniern vorhergesagt, indem er das Jahr, in welchem sie auch wirklich eintrat, als Termin angab.

3. Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Finsternisse

THALES VON MILET (ca. 624–568 v.Chr.) hat also lediglich das Jahr der Finsternis vorhergesagt. Er könnte auch Augenzeuge der Finsternis von -602 05 18 in ÄGYPTEN gewesen sein, welche zum selben Saros gehörte, und darauf ihm bekannte babylonische Rechenverfahren angewendet haben.

Die Schlacht am HALYS (j. KIZILIRMAK) zwischen LYDIERN und MEDERN wurde durch die Finsternis beendet — die erschreckten Fürsten schlossen Frieden.

-556 05 19 Totale Sonnenfinsternis XENOPHON, Anabasis III 4,8 ([3], p.173).

ταύτην δὲ πόλιν (Λάρισσαν) βασιλεὺς ὁ Περσῶν, ὅτε παρὰ Μήδων τὴν ἀρχὴν ἐλάμβανον Πέρσαι, πολιορκῶν οὐδενὶ τρόπῳ ἐδύνατο εἰλεῖν ἥλιον δὲ νεφέλη προκαλύψασα ἠφάνισε μέχρι ἐξέλιπον οἱ ἄνθρωποι, καὶ οὕτως ἐάλω.

Diese Stadt (LARISSA AM TIGRIS) belagerte der Perserkönig (KYROS), als die Perser den Medern die Herrschaft zu nehmen suchten, konnte sie aber auf keine Weise einnehmen. Da verhüllte eine Wolke die Sonne und machte sie unsichtbar so lange, bis die Menschen [die Stadt] verlassen hatten, und so wurde sie genommen.

Die Finsternis war für LARISSA (j. NIMRÛD) nur partiell (92%). Es ist daher nicht sicher, ob der Bericht wirklich auf eine Finsternis oder doch nur eine Wolke, oder vielleicht eine Kombination beider schließen läßt.

-477 02 17 Ringförmige Sonnenfinsternis HERODOT, Historien VII 37 ([3], p.175).

ἄμα τῷ ἔαρι παρεσκευασμένος ὁ στρατός ἐκ τῶν Σαρδίων ὤρματο ἐλῶν ἐς Ἄβυδον· ὀρμημένῳ δὲ οἱ ὁ ἥλιος ἐκλιπὼν τὴν ἐκ τοῦ οὐρανοῦ ἔδρην ἀφανῆς ἦν οὐτ' ἐπινεφέλων ἐόντων αἰθρίης τε τὰ μάλιστα, ἀντὶ ἡμέρης τε νύξ ἐγένετο.

Mit dem Frühjahr brach das Heer gerüstet aus SARDES auf, um nach ABYDOS (j. ÇANAKKALE) zu ziehen. Als es aufgebrochen war, da verließ die Sonne ihren Sitz am Himmel und war unsichtbar, obwohl es nicht wolkig, sondern ganz klarer Himmel war, und es ward aus Tag Nacht.

Aufbruch des Perserheeres unter XERXES (König 485–465 v.Chr.), danach Schlacht am THERMOPYLENPASS und bei SALAMIS.

Manche Forscher halten die Totale Sonnenfinsternis von -480 04 19 oder die Ringförmige Sonnenfinsternis von -479 10 02 für wahrscheinlicher — die Schlacht von Salamis soll bereits -479 gewesen sein.

Die Finsternis von -480 war aber in der angesprochenen Gegend nicht, die von -479 nur partiell sichtbar!

-430 08 03 Ringförmige Sonnenfinsternis THUKYDIDES, Peloponnesischer Krieg II 28 ([3], p.176).

Τοῦ δ' αὐτοῦ θέρους νομηνία κατὰ σελήνην [...] ὁ ἥλιος ἐξέλιπε μετὰ μεσημβρίαν καὶ πάλιν ἀνεπληρώθη γενόμενος μηννοειδῆς καὶ ἀστέρων τινῶν ἐκφανέντων.

In demselben Sommer verfinsterte sich bei einem wirklichen Neumond [...] die Sonne am Nachmittag, ward aber wieder voll, nachdem sie sichelförmig und einige Sterne sichtbar geworden waren.

Finsternis in ATHEN: 84%. Die „Sterne“ waren vermutlich die hellen Planeten Merkur (1.1^{mag}) und Venus (-3.3^{mag}).

Beginn des Peloponnesischen Krieges (bis -403).

4. Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Finsternisse

-424 10 09 Totale Mondfinsternis ARISTOPHANES, Wolken 584 ([3], p.177).

ἡ σελήνη δ' ἐξέλειπε τὰς ὁδοὺς· ὁ δ' ἥλιος	Ihre Bahn verließ Selene, Helios auch zog seine Laterne
τὴν θρυαλλίδ' εἰς ἑαυτὸν εὐθέως ξυνελκύσας	Fort vom Firmament und drohte, nimmermehr, nicht nah noch fern
οὐ φανεῖν ἔφασκεν ὑμῖν, εἰ στρατηγήσει Κλέων.	Euch zu leuchten, wählet Kleon ihr zu Eurem Staatsfeldherrn.

KLEON (+ bei AMPHIPOLIS Ende 422 v.Chr.), Gerbereibesitzer in ATHEN, wird zum Staatsfeldherrn gewählt.

-412 08 27 Totale Mondfinsternis THUKYDIDES, VII 50, PLUTARCH, V. Niciae c.23 ([3], p.178, [17], [18] p.64).

Die Belagerung von SYRAKUS durch die Athener unter NIKIAS wird erfolglos abgebrochen. Der Abzug der Flotte wird wegen des bösen Omens der Finsternis um einen Monat hinausgezögert. Die Flotte der Belagerer (200 Schiffe) wird zerstört, die Belagerer versuchen die Flucht landeinwärts, werden aber verfolgt. 29.000 Soldaten finden den Tod oder werden versklavt, NIKIAS und DEMOSTHENES werden hingerichtet. Empfindliche Schwächung der Stellung ATHENS.

-405 04 15 Totale Mondfinsternis XENOPHON, Hellenica I 6,1 ([3], p.179, [18], p.66).

LYSANDER wird -404 Führer der Spartanische Flotte und vernichtet bei AIGOSPOTAMOI die gesamte athenische Flotte. -403 belagert und erobert er Athen selbst, Ende des Peloponnesischen Krieges.

-393 08 14 Ringförmige Sonnenfinsternis XENOPHON, Hellenica IV 3,10 ([3], p.182).

ὄντος δ' οὐτοῦ [Ἀγεσιλάος] ἐπὶ τῇ ἐμβολῇ [εἰς τὰ Βοιωτῶν ὄρια] ὁ ἥλιος μηνοειδῆς ἔδοξε φανῆαι.	Als er [AGESILAOS] in das Gebiet [der Bötier] eben einfallen wollte, da schien es, als ob die Sonne sichelförmig erscheine.
--	---

AGESILAOS, der lahme König von SPARTA (ca. 399–360 v.Chr.), schlägt bei KORONEIA die Athener, Korinther und Thebaner.

Größen: ATHEN: 88%, THEBEN, KORONEIA: 89%

-356 08 09 Partielle Mondfinsternis PLUTARCH, V. Niciae c.23 ([3], p.183).

DION segelt von der Finsternis unbeeindruckt von ZAKYNTHOS nach SYRAKUS und stürzt den Tyrannen DIONYSIOS.

Größe: 19%, am Abend sichtbar

-330 09 20 Totale Mondfinsternis PLUTARCH, Vita Alexandri c.31 ([3], p.184).

ALEXANDER DER GROSSE besiegt 11 Tage später die Perser bei GAUGAMELA.

-309 08 15 Totale Sonnenfinsternis DIODOR, Historische Bibliothek XX 5,5 ([3], p.185).

AGATHOKLES (Tyrann v. SYRAKUS 317–289 v.Chr.) segelt nach KARTHAGO.

Diese Finsternis wurde vielfach zur Verbesserung der Berechnung der Mondknotenbewegung herangezogen.

-239 11 03 Totale Mondfinsternis ([19]).

Aus einer babylonischen Keilschrifttafel:

Monat acht, Tag vierzehn, drei *us* (12 Minuten) vor Sonnenaufgang. Beginn [einer Mondfinsternis] auf der Ostseite, [der Mond war] beim Untergang verdunkelt.

5. Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Finsternisse

-218 03 20 Totale Mondfinsternis POLYBIOS, Historien V 78,1 ([3], p.187).

ATTALOS II. von PERGAMON (241-197 v.Chr.) hatte, von KYZIKOS über den Berg PELEKOS kommend, am Fluß MEGISTOS Halt gemacht.

Ὁὐ γενομένης ἐκλείψεως σελήνης πάλαι δυσχερῶς φέροντες οἱ Γαλάται τὰς ἐν ταῖς πορείαις κακοπαθείας ἅτε ποιούμενοι τὴν στρατείαν μετὰ γυναικῶν καὶ τέκνων, ἐπομένων αὐτοῖς τούτων ἐν ταῖς ἀμάξαις, τότε σημειωσάμενοι τὸ γεγονός οὐκ ἂν ἔφασαν ἔτι προσελθεῖν εἰς τὸ πρόσθεν.

Und weil dort eine Mondfinsternis eintrat, weigerten sich die Galater, welche schon lange die Beschwerden des Marsches mit Unwillen ertrugen, da sie mit Weib und Kind, die ihnen auf ihren Wagen nachfolgten, zu Felde zogen, weiter zu ziehen, indem sie jetzt [in der Finsternis] ein Vorzeichen erkannten.

-201 10 19 Totale Sonnenfinsternis ZONARAS, Ann. IX 14 ([3], p.189).

Ὁ δ' Ἀννίβας συμβαλεῖν οὐκ ἠθέλησε, στρατοπεδεύμενος δ' ἐκεῖ καὶ φρουρῶν ἐταλαιπώρησε διὰ πάσης τῆς νυκτὸς. καὶ οὕτως κακῶς αὐτοὺς ἔχοντας ὑπὸ καμάτου καὶ δίψης κατηνάγκασε καὶ ἄχοντας ὁ Σκιπίων συμμῖζαι αὐτῶ. συνέβαλον οὖν οἱ μὲν Ῥωμαῖοι συνταγμένοι καὶ πρόθυμοι, Ἀννίβας δὲ καὶ οἱ Καρχηδόνιοι ἀπρόθυμοι τε καὶ καταπεπληγμένοι καὶ δι' ἕτερα καὶ ὅτι ὁ ἥλιος σύμπας ἐξέλιπεν.

HANNIBAL aber wollte nicht schlagen, sondern die ganze Nacht durch mühte er sich ab, ein Lager aufschlagend und Brunnen grabend. Und während sie so in schlechtem Zustande sich befanden infolge von Ermüdung und Durst, zwang sie SCIPIO, auch gegen ihren Willen mit ihm zu kämpfen. Es schlugen nun die Römer [wohl] aufgestellt und mit Kampfeslust, HANNIBAL aber und die Karthager unlustig und erschreckt, sowohl wegen anderer Ursachen als auch, weil die Sonne sich ganz verfinstert hatte.

Schlacht bei ZAMA — Der Sieg des SCIPIO über HANNIBAL beendet den 2. Punischen Krieg.

Der Wahrheitsgehalt dieser Geschichte (ZONARAS lebte im 12. Jh. in BYZANZ) darf bezweifelt werden: Die Finsternis erreichte in ZAMA nur 33% in ca. 30 – 40° Höhe

-167 06 21 Totale Mondfinsternis PLUTARCH, V. Aemilii Pauli 17, LIVIUS, LIV 36,1 ([3], p.190).

Endgültige Niederlage des PERSEUS VON MAKEDONIEN gegen LUCIUS AEMILIUS PAULUS bei PYDNA (j. KATERINI, am Fuße des OLYMP).

Die genaue Zuordnung des Datums zu dieser Schlacht ist etwas umstritten.

-135 04 15 Totale Sonnenfinsternis ([19]).

Aus einer babylonischen Keilschrifttafel:

24 uš [=96 Minuten] nach Sonnenaufgang verdunkelte sich die Sonne anfangs von Südwesten her [...] Venus, Merkur und die gewöhnlichen Sterne waren sichtbar. Jupiter und Mars, die sich in ihrer Phase der Unsichtbarkeit [Konjunktion] befanden, wurden bei der Verfinsterung sichtbar. [...] Der Schatten wanderte von Südwesten nach Nordosten.

Größen: BABYLON: 97%, URUK: total

-62 05 03 Totale Mondfinsternis CICERO, De Divinat. I 11,18 ([3], p.193).

Im Konsulatsjahr des CICERO.

6. Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Finsternisse

Finsternisse zu Caesars Tod ([3], p.193).

Es gibt zwar zahlreiche Angaben, diese sind aber so vage, daß praktisch keine Zuordnung möglich ist.

Als „Vorankündigung“ könnte die Finsternis von -44 11 07 gedeutet werden, die nächste sichtbare war erst die Partielle Mondfinsternis von -41 09 05.

-3 03 13 Partielle Mondfinsternis JOSEPHUS FLAVIUS, Jüdische Altertümer XVII 6,4 ([3], p.195).

Ἡρώδης δὲ τὸν τε Μαθθίαν ἐπεπαύκει τῆς ἀρχιερωσύνης, καὶ τὸν ἕτερον Μαθθίαν, ὃς ἐγηγερχεὶ τὴν στάσιν, καὶ ἄνδρας ἐκ τῶν ἐταίρων αὐτοῦ ἔκαυσεν ζῶντας, καὶ ἡ σελήνη δὲ τῇ αὐτῇ ἡμέρᾳ ἐξέλιπεν.

HERODES aber hatte den Hohepriester MATTHIAS abgesetzt und verbrannte den anderen MATTHIAS, der den Aufstand angefacht hatte, nebst Männern aus dessen nächster Umgebung lebendig. In derselben Nacht aber fand eine Mondfinsternis statt.

Tod HERODES DES GROSSEN zwischen dieser Finsternis (oder der Totale Mondfinsternis von -4 09 15) und dem Pessachfest am 15. Nisan (11. April).

Diese Finsternis trägt seit KEPLERS Zeit zur Feststellung des Geburtsjahres von JESUS CHRISTUS bei: Dieses muß jedenfalls vor des HERODES Tod liegen.

Die Finsternis erreichte 36%.

14 09 27 Totale Mondfinsternis DIO CASSIUS, Röm. Geschichte LVII 4 ([3], p.197).

ἐθορόβησαν μὲν γὰρ καὶ οἱ ἐν τῇ Παννονίᾳ στρατιῶται, ἐπειδὴ τάχιστα τῆς τοῦ Αὐγούστου μεταλλαγῆς ἦσθοντο· [...] τῆς δὲ δὴ σελήνης ἐκλιπούσης ἐνθυμηθέντες ἀπημβλύνθησαν, ὥστε κακὸν μὲν μηδὲν ἔτ' αὐτοὺς ποιῆσαι, πρέσβεις δ' αὐθις πρὸς τὸν Τιβέριον ἀποστείλαι.

Denn es meuterten auch die pannonischen Soldaten, sobald sie den Hintritt des AUGUSTUS [+14 08 14] erfahren hatten. [...] Da aber eine Mondfinsternis eintrat, so nahmen sie sich dies zu Herzen und wurden in ihrem Entschlusse wankend, sodaß sie nichts Schlimmes mehr taten, dagegen Gesandte an TIBERIUS schickten.

29 11 24 Totale Sonnenfinsternis EUSEBIOS bei Synkellos 614 ([3], p.198).

Heftiges Erdbeben in BITHYNIEN, NICAEA wird größtenteils zerstört.

Schon aufgrund der falschen Jahreszeit kann diese Finsternis nicht in Zusammenhang mit der dreistündigen Finsternis (MATTHÄUS XXVII 45) beim Tode CHRISTI stehen, welche sich noch dazu bei Vollmond ereignet haben soll. Diese bleibt wohl als Mysterium ungeklärt.

Die Finsternis erreichte in NICAEA 97%.

33 04 03 Partielle Mondfinsternis ([3], p.200).

Einzige Mondfinsternis zwischen 29 und 33, die für JERUSALEM auf einen (Freitag!) Nachmittag fällt und daher in den Datierungsversuchen von CHRISTI Tod eine Rolle spielt. Es gibt jedoch keine Beobachtungsberichte.

Da der Mond erst knapp vor Verlassen des Kernschattens aufging, war die Finsternis wohl schwer zu bemerken.

45 08 01 Totale Sonnenfinsternis DIO CASSIUS Röm. Geschichte LX 26,1 ([3], p.201).

Fand am Geburtstag von KAISER CLAUDIUS statt, der, um Unruhen zu vermeiden, die bevorstehende Finsternis, deren Zeit und Größe sowie deren natürliche Ursache bekanntmachen ließ.

In ROM war die Finsternis nur schwach sichtbar (30.5%).

7. Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Finsternisse

46 07 06 Partielle Mondfinsternis oder

46 12 31 Totale Mondfinsternis PLINIUS Nat. Hist. II, 87 od. 89, §202 u. IV, 12, §70, DIO CASSIUS Röm. Geschichte IX, 29, SENECA Nat. Quaest. II 26,6 u. VI 21,1 und AURELIUS VICTOR De Caes. 4,14 ([3], p.201, [20], p.9).

Die Autoren berichten über das Aufsteigen einer kleinen Insel bei THERA (j. SANTORIN) während des Konsulats des VALERIUS ASIATICUS, die früher nicht existiert hatte. PLINIUS gibt den 8. Juli als Datum, und AURELIUS VICTOR fügt einen Hinweis auf die Mondfinsternis hinzu.

71 03 20 Ringförmig-totale Sonnenfinsternis oder

75 01 05 Totale Sonnenfinsternis PLUTARCH, De Facie in Orbe Lunae c.19 ([3], p.202, [20], p.17).

ὅτι μὲν γὰρ οὐδὲν οὕτως τῶν περὶ τὸν ἥλιον γενομένων ὁμοίον ἐστὶν ὡς ἔκλειψις ἡλίου δύσει, δότε μοι, ταύτης ἔναγκος τῆς συνόδου μνησθέντες, ἢ πολλὰ μὲν ἄστρα πολλαχόθεν τοῦ οὐρανοῦ διέφηνεν, εὐθὺς ἐκ μεσημβρίας ἀρξαμένη, κρᾶσιν δὲ, ὡς τὸ λυκαυγες, τῷ ἀέρι παρέσχεν.

Daß von allen Erscheinungen an der Sonne nichts so ähnlich ist dem Sonnenuntergange als eine Sonnenfinsternis, gebt ihr mir zu, wenn ihr euch der neulichen Zusammenkunft [von ☉ u. ☽] erinnert; diese hatte viele Sterne an vielen Punkten des Himmels sichtbar gemacht, obwohl sie gleich nach Mittag begonnen, und der Luft eine Färbung gleich der Dämmerung verliehen.

PLUTARCH, Philosoph und Tempelpriester, kann die Finsternis 71 im Alter von ca. 26 Jahren vermutlich in seiner Heimatstadt DELPHI oder in CHAIRONEIA/BOIOTIEN beobachtet haben.

Es ist nicht bekannt, auf welchen Ort sich die Erzählung bezieht, für KARTHAGO spricht sowohl die Uhrzeit, daß PLUTARCH einen LUCIUS aus KARTHAGO die oben zitierten Worte sprechen läßt.

Die Finsternis 71 erreichte für DELPHI und CHAIRONEIA ca. 96% am späteren Vormittag. Die Finsternis von 75 war in KARTHAGO am Nachmittag mit ca. 97% ebenfalls fast total.

120 01 18 Totale Sonnenfinsternis ([19]).

Bericht aus CHINA:

Es gab eine Verfinsterung der Sonne. Sie war fast vollständig, und auf der Erde wurde es wie abends. [Die Sonne] stand elf Grad im Mondhaus (*Hsü-nu*). Die Herrscherin zeigte Entsetzen. Zwei Jahre und drei Monate später starb die Kaiserwitwe TENG.

133 05 06 Totale Mondfinsternis ,

134 10 20 Partielle Mondfinsternis und

136 03 06 Partielle Mondfinsternis PTOLEMAIOS Syntaxis = Almagest IV 5 ([3], p.232).

Von PTOLEMAIOS in ALEXANDRIA «ἐκ τῶν ἐπιμελέστατα» („auf das Sorgfältigste“) beobachtet.

Aus diesen und zahlreichen (v.a. aus BABYLON und von HIPPARCHOS) überlieferten Finsternissen leitete PTOLEMAIOS seine Mondbahntheorie ab.

8. Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Finsternisse

218 10 07 Ringförmige Sonnenfinsternis DIO CASSIUS Röm. Geschichte LXXVIII 30,1 ([3], p.206).

ἡλίου τε γὰρ ἔκλειψις περιφανεστάτη ὑπὸ τὰς ἡμέρας ἐκείνας ἐγένετο[...]
Denn eine sehr auffällige Sonnenfinsternis fand um jene Zeit statt.

Folgt der Ermordung des Kaisers MACRINUS (218 06 08) und der Kaisererhebung des HELIOGABALUS.

DIO CASSIUS war hoher Beamter in PERGAMON, wo die Finsternis in der Früh hochgradig partiell (89%) sichtbar war.

304 08 31 Totale Mondfinsternis Passio S. Felicis ([3], p.208).

Möglicherweise Kern folgender Heiligenlegende:

Praefectus dixit: Felicem gladio interficite. [...] Et ductus est ad passionis locum—cum etiam ipsa luna in sanguinem conversa est—die tertio Kalendas Septembris. Felix episcopus, elevans oculos in caelum, clara voce dixit: Deus gratia tibi [...]
Der Präfekt sprach: „Tötet Felix mit dem Schwert.“ [...] Und [so] zog man zum Platz des Leidens — als sogar der Mond selbst zu Blut verwandelt ward — am 3. Tag der Kalenden des September. Bischof Felix, die Augen gen Himmel erhebend, sprach mit heller Stimme: „Dank Dir Gott [...]“

324 08 06 Ringförmige Sonnenfinsternis Georgii Hamartoli Chronic. lib. IV c.180 ([3], p.209).

Ἐγένετο δὲ καὶ σεισμός ἐν Καμπανίᾳ, καὶ κατέπεσαν πόλεις ιγ´. καὶ ἔκλειψις ἡλίου γέγονεν ὥρα γ´ τῆς ἡμέρας, ὥστε καὶ ἀστέρας ἐν οὐρανῷ φανῆναι.
Und es trat auch ein Erdbeben ein in CAMPANIEN, wodurch dreizehn Städte zerstört wurden, und eine Sonnenfinsternis in der dritten Tagesstunde, sodaß gar die Sterne am Himmel sichtbar wurden.

Geht der Eröffnung des Konzils von NICAEEA (325/326) voraus. Wahrscheinlich auch kurz vor dem Tod der Kaiserin HELENA. Überlieferung (9. Jh.) etwas unsicher, möglicherweise Vermischungen mit 326 12 11 und 346 06 06.

SCHOVE [20] identifiziert 346 06 06 anhand von THEOPHANES als „in der 3. Stunde“ (BYZANZ: 83% ca. 2 Stunden nach Sonnenaufgang). Die Uhrzeit könnte auf Berichte aus dem mesopotamischen Raum hinweisen. Folgende Finsternisse der damaligen Zeit könnten in die Überlieferung eingeflossen sein:

Datum	Typ	Nicaea	Neapel
324 08 06	R	48% Nachmittag	61% Nachmittag
326 12 11	R	42% Vormittag	58% Früh
334 07 17	R	77% Nachmittag	97% Mittag
346 06 06	T	86% Früh	70% Früh

360 08 28 Ringförmige Sonnenfinsternis AMMIANUS MARCELLINUS XX 3,1 ([3], p.212).

Kämpfe um die Städte SINGARA, NISIBIS und AMIDA (MESOPOTAMIEN).

Das Hauptsichtbarkeitsgebiet war östlich des Kampfschauplatzes, mit Zentralität im feindlichen PERSIEN.

Die Sonne erschien für den Kampfschauplatz im Aufgang schwach teilverfinstert.

9. Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Finsternisse

364 06 16 Totale Sonnenfinsternis THEON Comment. ([3], p.213).

Von THEON DEM JÜNGEREN als partiell in ALEXANDRIA sehr gewissenhaft beobachtet.

Größe für ALEXANDRIA: 34%.

401 12 06 Totale Mondfinsternis und

402 06 01 Partielle Mondfinsternis CLAUDIAN De bello Pollentino sive Gothico v.233 ([3], p.215).

Im November 401 fallen die GOTEN in Oberitalien ein. Mit den Barbaren ziehende thessalische Zauberinnen „quälen den Mond.“ ALARICH wird bald nach der 2. Finsternis bei VERONA von STILICHO geschlagen.

CLAUDIAN erwähnt auch die Totale Sonnenfinsternis vom 402 11 11 und den Kometen von 400.

Totale Sonnenfinsternis für VERONA: 84% am Vormittag in 15° Höhe.

433 09 29 Totale Sonnenfinsternis oder

458 05 28 Totale Sonnenfinsternis ([21]).

Vermutlich eine dieser Finsternisse kann ST. PATRICK (385–461, ab ca. 432 Mission in ARMAGH) für sich nutzen, um die irischen Heiden zu bekehren.

433, ARMAGH, NORDIRLAND: 75%, 23° Höhe; 458, ARMAGH: 93%, Südirland: 98%.

484 01 14 Totale Sonnenfinsternis und

486 05 19 Totale Sonnenfinsternis MARINUS NEAPOLITANUS Procli vita c.37 ([3], p.222).

Ἐγένοντο δὲ καὶ διοσημεῖαι πρὸ ἐνιαυτοῦ τῆς τελευτῆς, ὡς ἡ ἔκλειψις ἡ ἡλιακῆ, οὕτως ἐναργῆς, ὥστε καὶ νύκτα μεθ' ἡμέραν γενέσθαι. Σχότος γὰρ ἐγένετο βαθὺ καὶ ἀστέρες ὤφθησαν. Ἄυτη μὲν οὖν ἐν αἰγοκέρωτι ἐγένετο κατὰ τὸ ἀνατολικὸν κέντρον.

Ἀνεγράψαντο δὲ καὶ ἑτέραν οἱ ἡμερογράφοι, ὡς ἐσομένην καὶ αὐτὴν πληροῦμενον τοῦ πρώτου ἐνιαυτοῦ.

Es geschahen aber auch Himmelszeichen vor dem Jahre seines Todes, zum Beispiel die Sonnenfinsternis, die so bedeutend war, daß es auch bei Tage Nacht wurde. Denn ein tiefes Dunkel entstand und Sterne wurden sichtbar. Diese ereignete sich im Zeichen des Steinbockes am östlichen Himmel.

Es vermerkten aber auch die Kalendermacher noch eine andere [Finsternis], die geschehen werde bei Beendigung des ersten Jahres.

485 Tod des Philosophen PROCLUS (*412 BYZANZ) in ATHEN.

Die Finsternis 484 war für ATHEN zu Sonnenaufgang 99%, die von 486 mittags 70%.

540 06 20 Totale Sonnenfinsternis Anglo-Saxon Chronicle I 28 II 15 ([3], p.224).

An. 540 her sunne apestrode on XII Kal. Julii.

Ʒ sterroan hie aeteowdan fulneah healfe tid ofer udern.

Im Jahre 540 verschwand die Sonne an den 12. Kalenden des Juli.

Die Sterne erschienen zahlreich eine halbe Stunde nach 9.

Die Finsternis war für England ca. 63% in den Morgenstunden. Der Bericht über Totalität ist wohl (wie auch für 538 02 15) einer italienischen Quelle entnommen: in ROM war die Sonne total verfinstert.

Das Kopieren von Chroniken war damals durchaus gängige Praxis.

10. Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Finsternisse

547 02 06 Totale Sonnenfinsternis und

547 08 17 Partielle Mondfinsternis COSMAS INDIKOPLEUSTES, *Topographia christiana* ([3], p.225).

Ὅθεν ἀπαιτηθεὶς τῷ Θῶθ μηνί, τῆς παροίσης δεκάτης Ἰνδικτιῶνος, παρὰ ἀνδρὸς ἐπιστήμονος, Ἀναστασίου τοῦ νομα, μηχανικοῦ ἀνδρὸς λογίου καὶ ὑπὲρ πολλοὺς ἐμπείρου, προεῖπεν ἔκλειψιν ἡλίου, ἔρη γενέσθαι ἐν αὐτῷ τῷ καιρῷ κατὰ τὴν δωδεκάτην τοῦ Μεχίρ μηνός· ἥτις καὶ γέγονε· καὶ σεληνιακὴν Μεσορὶ καὶ ἄλλῃ τῷ αὐτῷ καιρῷ. καὶ ὁ θαυμάσας, πάλιν ἀπήτησε γεγυνοῦσας ἐκλείψεις· καὶ ταῦτα πάλιν ἐξεῖπόντος ἐθαύμασεν ὁ ἀνὴρ.

Als er [Stephanos] daher im Monat Thoth der gegenwärtigen 10. Indiktion von einem Gelehrten namens ANASTASIUS, einem einsichtigen und über viele [Dinge] erfahrenen Physiker, gebeten wurde, eine Sonnenfinsternis vorherzusagen, sagte er, es sei eine zu bestimmter Stunde am 12. Tag des Monats Mechir — diese trat auch ein — und eine Mondfinsternis am 24. Mesori, auch zu bestimmter Stunde. Und der Erstaunte fragte wieder nach [bereits] geschehenen Finsternissen; und als jener sie wieder bestimmte, wunderte sich der Mann.

STEPHANOS, Presbyter aus ANTIOCHIA, besuchte ALEXANDRIA.

COSMAS aus ALEXANDRIEN, Zeitgenosse JUSTINIANS, Kaufmann, Reisender, später Mönch am SINAI. Versuchte, Bibellehren mit astronomischer Lehre zu verbinden, Gegner des PTOLEMAIOS.

Die Sonnenfinsternis erreichte für ALEXANDRIA vormittags 63%.

563 10 03 Ringförmige Sonnenfinsternis Gregori Turon. hist. Franc. lib IV c.31 ([3], p.225, [20], p.100).

563 [...] Quadam tamen vice in Kalendis Octobribus ita sol obscuratus apparuit, ut nec quarta quidem pars in eodem lucens remaneret, sed teter atque decolor apparens, quasi saccus videbatur. Nam et stilla, quam quidam comiten vocant, radium tamquam gladium habens, super regionem illam per annum integrum apparuit et caelum ardere visum est, et multa alia signa apparuerunt.

Doch einmal erschien die Sonne an den Kalenden des Oktober so verfinstert, daß nicht einmal ein Viertel leuchtend übrigblieb, sondern sie erschien so häßlich und farblos, daß sie wie ein Sack aussah. Und ein Stern, den man „Komet“ nennt, der einen Strahl wie ein Schwert hatte, erschien über der Region ein ganzes Jahr, und der Himmel schien zu brennen, und viele andere Zeichen erschienen.

Der Komet (565) geht dem Tode JUSTINIANS I voraus. Der „brennende Himmel“ war vermutlich ein Nordlicht.

Bischof GREGOR kann die Finsternis in CLERMONT (63%) oder in TOURS (57%) am Morgen partiell beobachtet haben.

569 11 24 Totale Sonnenfinsternis ([21]).

Wird in Zusammenhang mit MOHAMMEDS Geburt erwähnt.

581 04 05 Partielle Mondfinsternis Gregori Turon. hist. Franc. lib V c.41 ([3], p.226).

ad 580: luna cumtenebricata (contenebrata) est et comitis stilla apparuit. Gravis autem lues in populo subsecuta est.

Der Mond war verfinstert, und ein Haarstern [Komet] erschien. Eine schlimme Seuche aber folgte unter der Bevölkerung.

11. Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Finsternisse

590 10 04 Ringförmige Sonnenfinsternis oder

592 03 19 Totale Sonnenfinsternis THEOPHYLAX SIMOCATTES Hist. lib. V, 16, ZONARAS Annales lib. XIV c.12 *et al.* ([3], p.227, [20], p.103).

Im Frühjahr seines 9. Regierungsjahres sammelt Kaiser MAURIKIOS (582–602) sein Heer in THRAKIEN. Er verläßt BYZANZ, um das von den Barbaren (AWAREN) verwüstete Land zu besuchen, da ereignet sich die Finsternis.

BYZANZ lag 590 in der Zentralitätszone, 592 war die Sonne dort zu 95% verfinstert.

632 01 27 Totale Sonnenfinsternis ([21], [20], p.121).

Tod von MOHAMMEDS Sohn IBRĀHĪM. Einige Einwohner von MEKKA sehen dies als Zeichen Allahs. MOHAMMED: „Sonne und Mond verfinstern sich nicht wegen Geburt oder Tod eines Menschen!“ Islamische Gelehrte stützen sich in ihrer Ablehnung der Astrologie auf diesen Satz. MOHAMMED starb 632 06 08.

In MEKKA erreichte die Finsternis 89%.

873 07 28 Ringförmige Sonnenfinsternis ([19, 20], p.195).

Bei AL-BIRUNI finden wir eine unzutreffende Verallgemeinerung:

[Der Astronom ABU AL 'ABBĀS AL-IRĀNSHAHRĪ] beobachtete [in NEYSHĀBŪR/PERSIEN], daß die Mondscheibe in der Mitte der Sonnenscheibe stand, so daß sie ringförmig vom Licht der unverdeckten Sonnenregion umstrahlt war. Offensichtlich übertrifft der scheinbare Durchmesser der Sonne den des Mondes.

Unabhängig von AL-BIRUNI machte TYCHO BRAHE später denselben Fehler!

927 09 14 Partielle Mondfinsternis ([19]).

Ein Bericht arabischer Astronomen aus BAGDAD, wo sie in den Morgenstunden sichtbar war:

Die Höhe des Sirius lag zu Beginn bei 31 Grad im Osten; die Himmelssphäre hatte sich nach Sonnenuntergang bis zum Einsetzen der Finsternis um 148 Grad gedreht, gemessen mit dem Astrolabium.

Höhenangaben waren auch in Europa bis zum Aufkommen zuverlässiger Uhren im späten 17. Jahrhundert üblich.

978 06 08 Ringförmige Sonnenfinsternis ([19]).

Ein Bericht arabischer Astronomen aus KAIRO, wo sie partiell sichtbar war:

Die Höhe der Sonne betrug, als die Finsternis sichtbar zu werden begann, annähernd 56 Grad; am Ende lag sie ungefähr bei 26 Grad.

Dieser Bericht weist auf eine unerwartete Finsternis hin: Der Grad der Bedeckung war schon ca. 20% bei Entdeckung, das Ende stimmt hingegen sehr gut mit der Rechnung.

1030 08 31 Ringförmig-totale Sonnenfinsternis ([21]).

Wird in Zusammenhang mit dem Tode des HL. OLAF (*995) erwähnt. Dieser führte mit rücksichtsloser Strenge das Christentum in Norwegen ein und mußte 1028 vor den Stammesfürsten nach GOTLAND fliehen. 1030 versucht er, sein Reich wiederzuerobern und fällt am 29.7.1030 in der Schlacht von STIKLESTAD (nahe TRONDHEIM). Heute ist er Schutzpatron von NORWEGEN.

12. Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Finsternisse

1084 10 02 Ringförmige Sonnenfinsternis ANNA KOMNENE Alexias VII 2,7-9 ([23]).

Kaiser ALEXIOS I KOMNEMOS (1081-1128) von KONSTANTINOPEL (BYZANZ) benützt diese Finsternis dazu, Unterhändler der „Skythen“ (PETSCHENEGEN) einzuschüchtern.

Im der vermuteten Gegend der Unterhandlungen war die Finsternis ca. 84% am späten Nachmittag.

1133 08 02 Totale Sonnenfinsternis ([19]).

Über eine fast totale Verfinsterung liest man in einer PRAGER Chronik:

Die Sonnenfinsternis erschien auf wunderbare Weise; nach und nach ließ der Schatten so viel verschwinden, daß sich eine Krone, die an eine Mondsichel erinnerte, zur Südseite fortsetzte und sich später nach Westen verschob.

In PRAG (wie auch in WIEN und GRAZ) war diese Finsternis total. Die Beobachtung dürfte mindestens 30km nördlich von PRAG gemacht worden sein.

1292 01 21 Ringförmige Sonnenfinsternis ([19]).

Aus den Aufzeichnungen der Hofastronomen in CHINA:

Die Sonne sah aus wie ein goldener Ring.

1453 05 22 Partielle Mondfinsternis ([17]).

Der Aufgang des verfinsterten Mondes zerstört die Moral der Verteidiger der belagerten Stadt KONSTANTINOPEL. 6 Tage später startet MOHAMMED II den entscheidenden Angriff. KONSTANTINOPEL fällt und wird 3 Tage lang geplündert.

Der Mond war im Aufgang 71% verfinstert.

1487 02 08 Totale Mondfinsternis Observat. Ann., Nürnberg 1544 XXX ([15], p.VIII).

WALTHER notiert in NÜRNBERG erstmals den Verlauf der Finsternis mit Zeitangaben einer Räderuhr.

1500 11 06 Partielle Mondfinsternis COPERNICUS De Revolutionibus IV 14 ([24], 24).

NICOLAUS COPERNICUS beobachtet diese Finsternis in ROM.

1504 03 01 Totale Mondfinsternis ([16], §244, [17]).

CHRISTOPH COLUMBUS kündigt auf seiner 4. Fahrt aus einer Notlage heraus den Eingeborenen von JAMAICA drei Tage im voraus diese Mondfinsternis an. -- Vom Aufgang des bereits teilverfinsterten Mondes tief beeindruckt versorgen sie ihn mit Proviant.

1511 10 06 Totale Mondfinsternis ,

1522 09 05 Totale Mondfinsternis und

1523 08 26 Totale Mondfinsternis COPERNICUS De Revolutionibus IV 5 ([24], 55).

NICOLAUS COPERNICUS beobachtet diese Finsternisse »diligentissime« (mit großer Sorgfalt).

1567 04 09 Ringförmig-totale Sonnenfinsternis ([25], p.22).

CLAVIUS beobachtet sie in Italien und nimmt sie als erster abendländischer Astronom als *ringförmig* wahr.

Bis dahin hatte man geglaubt, daß der scheinbare Durchmesser des Mondes stets größer wäre als der der Sonne, ringförmige Finsternisse daher nicht eintreten könnten. Noch KEPLER versuchte, den bei dieser Finsternis gesehenen schmalen hellen Ring als Erscheinung der Erd- oder Mondatmosphäre zu erklären.

13. Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Finsternisse

1600 07 10 Totale Sonnenfinsternis ([26], 72f).

JOHANNES KEPLER berechnet sie und beobachtet sie mit einer Art Lochkamera. Er berichtet jedoch auch über ein anderes Erlebnis:

„Während ich auf die Herstellung eines Instruments und auf die Errichtung des Gestells unter freiem Himmel bedacht war, hat ein anderer ebenfalls die Gelegenheit wahrgenommen, um eine andere Finsternis zu erforschen; er hat zwar nicht bei der Sonne, aber in meinem Geldbeutel ein Schwinden verursacht, indem er mir 30 Gulden weggenommen hat. Wahrlich eine teure Finsternis!“

1619 12 21 Partielle Mondfinsternis ([26], p.147-149).

KEPLER beobachtet sie in LINZ, Haus Hauptplatz 34.

1654 08 12 Totale Sonnenfinsternis ARAGO ([16], §244).

Die Ankündigung vermutlich dieser Finsternis löst im Raum PARIS Weltuntergangsstimmung und Ansturm auf die Beichtstühle aus. Ein Landpfarrer fordert seine Beichtkinder von der Kanzel aus auf, sich nicht so zu beeilen, da die Finsternis um 14 Tage verschoben worden sei.

Die Finsternis bot für Paris 77%.

1706 05 12 Totale Sonnenfinsternis ([27], 407, [16], §250).

FRANZ HEGGLIN, Landschreiber, gibt die Dauer in ZUG mit „etwas fünf Vatter unser lang“ an.

JACOB SCHEUCHZER beobachtet in ZÜRICH Protuberanzen.

Ebenfalls in ZÜRICH gibt JOHANN HEINRICH FRIES eine schöne Beschreibung:

Sternen sind gesehen worden wie bey der nacht, allermaßen nicht nur die irrsternen **V**enus, **M**ercurius, **J**upiter und **S**aturnus, sondern auch vil von Fixsternen gewahret worden [. . .]

Reisende fanden sich wegen einsamlicher kälte bemühet die handschue anzuziehen; daß thau fieng an zu fallen [. . .]

Auch die unvernünftigen thier erschroken ob dieser Finsternis; dauben und schwalben schoffen wie verschuechet hin und her; die nachtvögel ließen sich herfür; die singvögel stellten ein ihr gefang; die fische kamen in großer menge auf die obere fläche des wassers, daß man sie gleichsam mit händen fangen können.

Menschen mußten von ihrer arbeit ablassen wegen der dünkle; arbeitende sind veranlaßt worden liechter zu begehren die arbeit forzusetzen; leute auf dem feld, weil sie im jetten (gäten) nicht mehr fortkommen konnten, saßen nieder oder giengen heim; leute, so auf der gasse bei einanderen in Gesellschaft gesponnen, lönten vor dunkle im spinnen nicht mehr fortkommen, sondern mußten davon ablassen; die läute in häuseren kam ein schrecken an, daß sie auf die gassen giengen und einander bloßhin in der nähe kenneten; **K**inder bezeugten den davon empfangenen schrecken mit Weinen; alte schlugen die hände zusammen, und vermutheten viel, es würde der jüngst tag eindrengen.

1806 06 16 Totale Sonnenfinsternis ([21]).

Der Anführer eines Indianeraufstandes in INDIANA, TECUMSEH, kann seine Legitimation als „Abgesandter der Götter“ unter Beweis stellen, indem er seinen Bruder TENSKWATAWA, den „Propheten“, eine Totale Sonnenfinsternis ankündigen läßt — er hat davon von Forschungsreisenden erfahren. Während der Finsternis befiehlt er dem Großen Geist, die Sonne wieder freizulassen, was dieser auch kurz darauf tut. Der Aufstand konnte erst 1813 niedergeschlagen werden.

1831 02 12 Ringförmige Sonnenfinsternis ([21]).

In VIRGINIA sieht der charismatische schwarze Prediger und „Prophet“ NAT TURNER „einen schwarzen Engel einen weißen bedecken.“ Im August blutiger Aufstand der Sklaven unter seiner Führung, ca. 60 Weiße und 200 Schwarze werden getötet. — Wie eine Sonnenfinsternis währt auch dieser nur kurz, TURNER hat wohl nicht an die Austrittsphase gedacht . . .

14. Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Finsternisse

1842 07 08 Totale Sonnenfinsternis

Von ADALBERT STIFTER in WIEN beschrieben. Siehe betreffendes Referat.

1917 07 04 Totale Mondfinsternis ([17]).

Arabische Truppen des LAWRENCE VON ARABIEN können die in abergläubische Abwehrhandlungen verstrickten türkischen Wachposten vor AQUABA überwältigen. Die Stadt fällt wenige Tage später kampflös.

Nach Islamischer Tradition soll der Weltuntergang durch Sonnen- und Mondfinsternisse im Monat Ramadan angekündigt werden. Diese Finsternis fiel in den Ramadan — verständlich, daß die türkischen Verteidiger beunruhigt waren.

1948 11 01 Totale Sonnenfinsternis ([28], 91).

Während dieser Finsternis wurde der „Finsterniskomet“ (1948 XI = C/1948 V1) nur 2° neben der verfinsterten Sonne entdeckt.

1967 04 24 Totale Mondfinsternis NASA Publications und USIS Photo CP 33234/39.

Die US-Raumsonde SURVEYOR III, die am 19.4.1967 nahe dem Krater LANSBERG gelandet war, übertrug erstmals den Ablauf der „Sonnenfinsternis auf dem Mond“ zur Erde.

Im November 1969 wurden Teile dieser Sonde von der Besatzung der Mission APOLLO XII zur Erde zurückgebracht.

4 Astrophysikalische Erkenntnisse

1133 08 02 Totale Sonnenfinsternis ([29]).

Die vermutlich älteste Beschreibung des Diamantring-Effekts gibt HONORIUS VON AUTUN (FRANKREICH).

„Und tatsächlich wurde der ganze Himmel dunkel wie in der Nacht, und Sterne waren fast am ganzen Himmel zu sehen. Später, als die Sonne die Dunkelheit verließ, erschien sie erst in der Art eines Sterns, dann wie ein Neulicht [ganz dünne Sichel], und schließlich nahm sie ihre richtige Form [wieder] an.“

In AUTUN war die Finsternis nur 86%. Ist hier wieder ein Chronikeintrag „gewandert“?

1239 06 03 Totale Sonnenfinsternis Ann. Re. Ital. t.XIV, col.1097 ([30]).

MURATORI beschreibt in NORDITALIEN die Corona als „Kreis um die Sonne mit feuriger Öffnung im unteren Teil.“ Vermutlich ältester Bericht über Protuberanzen.

1715 05 03 (1715 04 22 jul.) Totale Sonnenfinsternis ([16], §250–252, [19]).

In LONDON beobachtet SIR EDMOND HALLEY Merkur, Venus, Jupiter, an Fixsternen nur Capella und Aldebaran. Er hält die Corona für eine Erscheinung der Mondatmosphäre, beobachtet aber: *Die Breite des Ringes nahm gegen Ende der Totalität auf der Westseite des Mondes zu.* Er beobachtet auch eine Protuberanz:

“About two or three seconds before the Emission of the western Side where the Sun was just coming out, a long and very narrow Streak of a dusky but strong red Light seemed to colour the dark Edge of the Moon; tho nothing like it had been seen immediately after the Immersion.”

HALLEY hat auch mit Interessierten ein Beobachtungsprogramm zur Bestimmung der Finsternisdauer mittels Taschenuhren durchgeführt.

15. Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Finsternisse

1851 07 28 Totale Sonnenfinsternis ([30]).

BERKOWSKI gelingt in KÖNIGSBERG die erste Daguerrotypie der Corona mit Protuberanzen.

1860 07 18 Totale Sonnenfinsternis ([16], §250).

BRUHNS kann in TARANCÓN/SPANIEN die Zugehörigkeit der Corona zur Sonne eindeutig nachweisen. Bis dahin war die Corona oft als Wirkung einer Mondatmosphäre betrachtet worden.

SECCHI und WARREN DE LA RUE können photographisch, BRUHNS durch Messung klären, daß Protuberanzen reale Objekte der Sonne und keine optischen Täuschungen oder Instrumentenfehler sind.

1868 08 18 Totale Sonnenfinsternis ([11]).

Erstmals Beobachtung des Emissionsspektrums der Protuberanzen: diese müssen also selbstleuchtende Gaswolken sein. Entdeckung des HELIUMS durch JANSSEN. (Nachweis irdischen Vorkommens erst 1895 durch B. RAMSDAY.) Entwicklung von Geräten zur Beobachtung von Protuberanzen bei nichtverfinsteter Sonne (Protuberanzenspektroskop) durch JANSSEN (FRANKREICH) und LOCKYER (ENGLAND).

1869 08 07 Totale Sonnenfinsternis ([11, 30]).

C. A. YOUNG, W. HARKNESS und E. C. PICKERING entdecken helle grüne Linie im Spektrum der Corona ($\lambda = 530.3\text{nm}$). Vorläufiger Name des vermuteten neuen Elements: CORONIUM. Erst 1941 wurden diese Linien von EDLÉN als die von hochionisiertem Eisen (Fe XIV) erkannt.

1870 12 22 Totale Sonnenfinsternis ([30]).

YOUNG entdeckt in SPANIEN das Flash-Spektrum: im Spektroskop 2 Sekunden lang Emissionslinien.

1919 05 29 Totale Sonnenfinsternis ([31], p.428, [11]).

Erste Beobachtungen der relativistischen Lichtablenkung (ca. $1.7''$) im Schwerfeld der Sonne bei Beobachtungen auf der Insel PRINCIPE vor Westafrika und SOBRAL/BRASILien durch EDDINGTON *et al.*

Mittlerweile hat der Astrometriesatellit HIPPARCOS die Lichtablenkung sogar in einem Winkel von 90° von der Sonne nachgewiesen.

1938 11 07 Totale Mondfinsternis und

1939 05 03 Totale Mondfinsternis ([32], 106).

KOSIK findet Abplattung des Mondschattens größer als bei Geoid zu erwarten. Die Ursache dafür ist die Hochatmosphäre der Erde.

5 Spezielle Sonnenfinsternisse

MEEUS [33] hat einige interessante Spezialfälle von Sonnenfinsternissen gesammelt:

5.1 Ringförmig-totale Sonnenfinsternis

Diese Finsternisse beginnen ringförmig; wenn sich die „zentrale Schattenfläche“ aufgrund der Erdkrümmung dem Mond nähert, geht sie in eine totale Finsternis über, vor dem Ende wird sie wieder ringförmig. (Abb. 1)

16. Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Finsternisse



Abbildung 1: Ringförmig-totale Finsternis

Spezialfall

In ganz seltenen Fällen gibt es nur *einen* Übergang ringförmig→total: Wenn sich der Mond auf seiner elliptischen Bahn gerade während der Finsternis der Erde so weit nähert, daß sein scheinbarer Durchmesser größer als der der Sonne wird (genauer: die Spitze des Kernschattenkegels die *Fundamentalebene* durchstößt), bleibt die Finsternis bis zum Ende total. Der umgekehrte Fall, total→ringförmig, ist auch möglich.

Finsternisse dieser Art: 1854 11 20, 2013 11 03, 2172 10 17.

2013 11 03: Zu Beginn 15 Sekunden ringförmig, danach total.

5.2 Nicht zentrale totale/ringförmige Finsternis

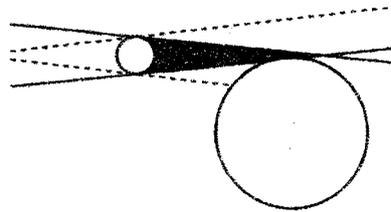


Abbildung 2: Nichtzentrale totale Finsternis

Die Schattenachse verfehlt die Erde, Teile des zentralen Schattenkegels treffen jedoch die Erde.(Abb. 2)

Diese Finsternisse treten in sehr unregelmäßigen Abständen auf, manchmal 2 unmittelbar hintereinander (z.B. 1957, 2043), dann wieder jahrhundertlang keine (994–1277, 1656–1928, 2141–2459). Tabelle 1 listet einige auf.

5.3 Totale Sonnenfinsternis größter Dauer

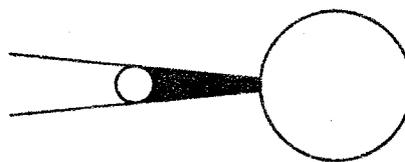


Abbildung 3: Totale Sonnenfinsternis größter Dauer

Die Spitze des Kernschattenkegels muß möglichst tief unter der Erdoberfläche liegen. (Abb. 3)

17. Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Finsternisse

Datum		Typ	Nord/Süd
1928	Mai 19	(T)	S
1950	März 18	(R)	S
1957	April 30	(R)	N
1957	Oktober 23	(T)	S
1967	November 2	(T)	S
2014	April 29	(R)	S
2043	April 9	(T)	N
2043	Oktober 3	(R)	S

Tabelle 1: Nichtzentrale Finsternisse im 20. und 21. Jahrhundert. Typ: (T) total, (R) ringförmig

- Erde im *Aphel* (Sonnenferne) → Sonne klein
- Mond im *Perigäum* (Erdnähe) → Mond groß
- Schattenachse äquator- und meridiannah → weitere Verkürzung des Schattenweges

Maximal erreichbar: 7^m31^s . Totale Sonnenfinsternis von 2186 07 16 erreicht 7^m29^s .

5.4 Ringförmige Sonnenfinsternis größter Dauer



Abbildung 4: Ringförmige Sonnenfinsternis größter Dauer

Die Spitze des Kernschattenkegels muß möglichst hoch über der Erdoberfläche liegen.

- Erde im *Perihel* (Sonnennähe) → Sonne groß
- Mond im *Apogäum* (Erdferne) → Mond klein
- Schattenachse fern der Erdmitte → weitere Verlängerung des Schattenweges

Die Schattenachse ist jeweils zu Beginn/Ende am weitesten von der Erdmitte entfernt. Ringförmige Sonnenfinsternisse in Polnähe sind hier generell begünstigt.

Maximal erreichbar: 12^m30^s . Ringförmige Finsternis von 1955 12 14 erreicht 12^m09^s .

5.5 Partielle Sonnenfinsternis geringster/maximaler Größe

Bei einer *kleinstmöglichen Partiiellen Sonnenfinsternis* streift der äußere Rand des Kernschattenkegels die Erdoberfläche. (Abb. 5)

Tabelle 2 zeigt: auch diese Finsternisse sind sehr unregelmäßig verteilt.

Größtmögliche Partielle Finsternisse sind solche, bei denen der Kernschattenkegel die Erde nur knapp verfehlt. Z.B. 2326 06 30, Größe: 0.994

18. Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Finsternisse

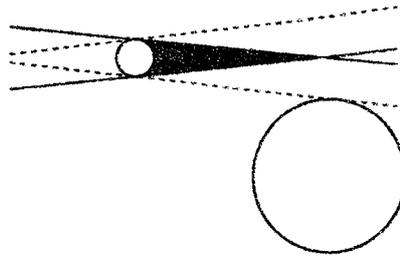


Abbildung 5: Partielle Sonnenfinsternis geringster Größe

Datum			Größe
1175	Oktober	16	0.002
1639	Jänner	4	0.001
1935	Jänner	5	0.001
2098	Oktober	24	0.005
2883	August	23	0.001
2893	Dezember	29	0.003
2904	Juni	5	0.004
2995	August	17	0.004

Tabelle 2: Partielle Finsternisse 1000–3000 mit Größen unter 0.005

5.6 „Paradoxe“ Lage des Schattenkegels



Abbildung 6: Der nördliche Schattenrand liegt dem Südpol näher als der südliche!

Am 12. November 1985 ereignete sich in Südpolnähe eine Finsternis mit geradezu paradoxem Schattenverlauf. Der astronomisch gesehen nördliche Schattenrand lief geographisch südlich des astronomisch südlichen Schattenrandes über die Erdoberfläche! (Abb. 6)

Der Schatten fiel „unter dem Südpol durch,“ und es ereignete sich eine *Sonnenfinsternis zur Mitternachtssonne*.

Tabelle 3 listet alle derartigen Fälle für 1950–2050 auf. In der letzten Spalte sind Finsternisse mit gemeinsamem Saros mit gleichen Symbolen (*, †, ‡) vermerkt.

Es kann natürlich auch geschehen, daß der zentrale Schattenkegel über den Pol selbst wandert. In diesem Fall gibt es geographisch *zwei nördliche bzw. zwei südliche Schattenränder*. Beispiele für 1900–2100 gibt Tabelle 4.

19. Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Finsternisse

Datum			Typ	Nord/Süd	gem.Saros
1950	September	12	T	N	
1954	Jänner	5	R	S	*
1972	Jänner	16	R	S	*
1985	November	12	T	S	†
1990	Jänner	26	R	S	*
2003	November	23	T	S	†
2008	Februar	7	R	S	*
2021	Dezember	4	T	S	†
2026	Februar	17	R	S	*
2026	August	12	T	N	†
2033	März	30	T	N	
2039	Dezember	15	T	S	†
2044	August	23	T	N	†

Tabelle 3: Finsternisse mit „paradoxe“ Schattenlage. Typ: T total, R ringförmig

Datum			Typ	Nord/Süd
1917	Dezember	14	R	S
1939	April	19	R	N
2021	Juni	10	R	N
2094	Jänner	16	T	S
2097	November	4	R	S

Tabelle 4: Totale/Ringförmige Finsternisse an den Polen

5.7 (Fast)-Zenitale Sonnenfinsternisse

Bei äquaturnahen Finsternissen kann es Orte auf der Erde geben, an denen die zentral (total oder ringförmig) verfinsterte Sonne im Zenit oder ganz knapp daneben steht. Abseits der Zentrallinie, aber immer noch in der Totalitätszone, konnte z.B. die Totale Sonnenfinsternis vom 11.7.1991 in MEXICO genau im Zenit gesehen werden. Tabelle 5 zeigt einige weitere solche Fälle mit Sonnenhöhen über 89°.

Datum	Maximale Höhe der Sonne	Typ	Standort
1716 4 22	89°32'	T	Pazifischer Ozean
1723 11 27	89°09'	R	Pazifischer Ozean
1741 12 8	89°43'	R	Indischer Ozean
1756 3 1	89°59'	R	nahe Neuguinea
1759 12 19	89°52'	R	Atlantischer Ozean
1763 4 13	89°59'	R	Sudan
1767 1 30	89°01'	T	Nordwestaustralien
1777 12 29	89°31'	R	Pazifischer Ozean
1785 2 9	89°38'	T	Atlantischer Ozean
1796 1 10	89°07'	R	Pazifischer Ozean
1803 2 21	89°30'	T	Pazifischer Ozean
1803 8 17	89°48'	R	nahe Sokotra (Golf v. Aden)
1915 8 10	89°12'	R	Pazifischer Ozean
1991 7 11	89°53'	T	Mexico
2132 6 13	89°03'	T	nördlich von Haiti
2208 5 15	89°38'	R	Yucatan
2255 5 7	89°40'	T	Golf von Bengalen
2255 10 31	89°24'	R	Carpentariagolf (Australien)
2313 3 27	89°57'	R	Pazifischer Ozean
2331 10 2	89°24'	T	Pazifischer Ozean
2342 3 8	89°38'	T	Pazifischer Ozean
2371 2 16	89°29'	R	Atlantischer Ozean
2389 2 26	89°37'	R	Pazifischer Ozean
2389 8 22	89°10'	T	Pazifischer Ozean

Tabelle 5: (Fast-) Zenitale zentrale Sonnenfinsternisse 1700–2399

6 Sternbedeckungen

6.1 Sternbedeckungen durch den Mond

Sternbedeckungen durch den Mond sind häufig. Die folgenden Angaben bieten einen kurzen geschichtlichen Überblick [34]. Genaueres ist den Unterlagen zu den entsprechenden Referaten zu entnehmen.

–293 03 09 Mond bedeckt Spica PTOLEMAIOS Syntaxis VII, 3.

Die älteste bekannte freisichtige Beobachtung einer Sternbedeckung:

TIMOCHARIS macht als Beobachter in ALEXANDRIA folgende Aufzeichnung: Im 36. Jahr der 1. Kallippischen Periode am 15. Elaphebolion, d.i. am 5. Tybi, erreichte der Mond zu Beginn der dritten [Nacht-] Stunde mit der Mitte seines dem Nachtgleichenaufgang zugewandten Randes die Spica. Und die Spica ging durch [den Mond], indem sie von seinem Durchmesser genau den dritten Teil nach Norden zu abschnitt. Der Zeitpunkt fällt in das 454. Jahr seit NEBONASSAR, auf den 4./5. ägyptischen Tybi.

1623 07 05 Mond bedeckt Spica BULLIALDUS Astronomia Philolaica.

Die älteste bekannte teleskopische Beobachtung gibt BULLIALDUS.

Anno 1623. Iulii die 5. cum Lunae centrum altum esset g. $17\frac{1}{3}$. Parisiis observavi occultatione Spicae Virginis à ☾.

Mit der Entwicklung genauer Uhren wurden auch die Beobachtungen und Aufzeichnungen zahlreicher und genauer. Seit 1824 werden im Nautical Almanac Hinweise auf mögliche Sternbedeckungen, ab 1834 Vorausdaten für GREENWICH gegeben.

1828 veröffentlichte BESSEL eine neue Methode zur Berechnung von Finsternissen für alle Orte der Erde.

Das Interesse an Sternbedeckungen wuchs erneut, als 1919 BROWN seine Mondtheorie veröffentlichte — es zeigte sich, daß in der Mondbewegung nichtgravitationelle Störungen vorhanden sind. Vor allem zur ständigen Überprüfung der Mondtheorie werden gewöhnliche Sternbedeckungen ständig weltweit beobachtet; *streifende Sternbedeckungen* erlauben darüberhinaus die teilweise Erfassung des *Mondrandprofils*. Wichtig sind Sternbedeckungen auch zur Bestimmung des Zeitunterschiedes $\Delta T = DT - UT$.

Bedeckungen heller Sterne durch den Mond gibt es relativ viele. Sternbedeckungen am dunklen Rand des verfinsterten Mondes geben dem Beobachten einen zusätzlichen Reiz — der Mondrand ist gut sichtbar, blendet aber nicht!

Bedeckungen der Planeten durch den Mond sind schon deutlich seltener.

6.2 Sternbedeckungen durch Planeten

Das Berechnen solcher Phänomene erfordert sehr gute Bahntheorien — es geht um Bogen Sekunden!

1977 03 10 Sternbedeckung durch den Uranus ([35]).

Bei der Beobachtung der Bedeckung des Sterns SAO 158687 entdeckt ein Team unter JAMES L. ELLIOT mit dem KUIPER AIRBORNE OBSERVATORY das Ringsystem des Uranus.

22. Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Finsternisse

1989 07 03 7:41 UT Saturn vor 28 Sag (5.8^{mag}) ([36]).

Winkelabstand Saturnmitte–Stern: $1.8''$ (geozentrisch). Die Bedeckung ereignete sich nicht einmal einen Tag nach der Saturnopposition!

Tabelle 6 zeigt einige Bedeckungen heller Sterne durch Planeten [33].

Datum	UT	Planet	Stern	Vis.mag	Elongation
1906 12 9	18^h	Venus	β Sco	2.9	15° W
1910 7 27	3^h	Venus	η Gem	3.2 – 4.0	31° W
1940 6 10	2^h	Merkur	ε Gem	3.2	20° O
1947 10 25	2^h	Venus	α_2 Lib	2.9	14° O
1953 6 11	11^h	Merkur	ε Gem	3.2	19° O
1959 7 7	14^h	Venus	α Leo	1.3	45° O
1971 5 13	19^h	Jupiter	β Sco	2.9	170° W
1976 4 8	1^h	Mars	ε Gem	3.2	81° O
1981 11 17	16^h	Venus	σ Sgr	2.1	47° O
1984 11 19	2^h	Venus	λ Sgr	2.9	39° O
2035 2 17	15^h	Venus	π Sgr	3.0	42° W
2044 10 1	22^h	Venus	α Leo	1.3	39° W
2052 11 10	7^h	Merkur	α_2 Lib	2.9	3° W
2078 10 3	22^h	Mars	ϑ Oph	3.4	71° O

Tabelle 6: Bedeckungen von Sternen heller als 3.5^{mag} durch Planeten 1900–2100

7 Planetenbedeckung während einer Finsternis

7.1 Mondfinsternisse mit Planetenbedeckung

Es kommt vor, daß der verfinsterte Mond einen Planeten bedeckt! Aus historischer Zeit dürfte nur die folgende Bedeckung bekannt sein:

755 11 23 Totale Mondfinsternis mit Jupiterbedeckung ([29]).

SIMEON VON DURHAM beobachtet in ENGLAND:

“And remarkably indeed a bright star following the moon itself passed through it, and after the illumination it preceded the moon by as much space as it had followed the moon before the eclipse.”

Jupiter, am östlichen Kernschattenrand stehend, „folgte“ dem Mond in seiner täglichen Bewegung über den Himmel, der Mond bewegte sich aber währenddessen — gegen diese Richtung — durch den Erdschatten und vor dem Jupiter vorbei. Mit »illumination« ist die Austrittsphase, das „Wiedererleuchten,“ gemeint.

Tabelle 7 zeigt, welche Möglichkeiten von Bedeckungen bestehen, Tabelle 8 zeigt alle Bedeckungen der Planeten während Mondfinsternissen für den Zeitraum -100 bis $+3000$ [33].

23. Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Finsternisse

Symbol	Bedeutung: Auf irgendeinem Punkt der Erdoberfläche sichtbar:
T	Totale Finsternis - Bedeckungsanfang <i>und</i> -ende während der Totalität
t	Totale Finsternis - Anfang <i>oder</i> Ende während Totalität
t'	Totale Finsternis - Anfang <i>und</i> Ende am <i>verfinsterten</i> Mondrand während Ein- oder Austrittphase
(t)	Totale Finsternis - Anfang <i>und</i> Ende am <i>hellen</i> Mondrand während Ein- oder Austrittphase
(t')	Totale Finsternis - Anfang <i>oder</i> Ende am <i>hellen</i> Mondrand während Ein- oder Austrittphase
P	Partielle Finsternis - Anfang <i>und</i> Ende am <i>verfinsterten</i> Mondrand
(p)	Partielle Finsternis - Anfang <i>und</i> Ende am <i>hellen</i> Mondrand
(p')	Partielle Finsternis - Anfang <i>oder</i> Ende am <i>hellen</i> Mondrand

Tabelle 7: Möglichkeiten der Bedeckung

Datum	Typ	Max. Finst. (DT)	Größe der Finst.	Sichtbarkeit
Mars				
2 11 8	P	1 ^h 26 ^m	0.45	Südhalbkugel
412 11 4	T	21 ^h 55 ^m	1.60	Südhalbkugel
916 10 13	(p)	23 ^h 44 ^m	0.15	Äquatorgebiet
2488 4 26	T	9 ^h 35 ^m	1.38	Südhalbkugel
Jupiter				
103 12 1	(p')	15 ^h 14 ^m	0.21	Äquatorgebiet
158 6 29	(p')	12 ^h 00 ^m	0.63	Nordhalbkugel
400 12 17	T	20 ^h 29 ^m	1.06	Äquatorgebiet
458 11 7	P	0 ^h 18 ^m	0.80	Nordhalbkugel
524 5 3	T	19 ^h 37 ^m	1.65	Südhalbkugel
755 11 23	T	19 ^h 33 ^m	1.40	Nordhalbkugel
799 7 21	T	16 ^h 23 ^m	1.55	Nordhalbkugel
810 6 20	T	20 ^h 34 ^m	1.84	Äquatorgebiet
821 5 20	(t)	21 ^h 04 ^m	1.41	Äquatorgebiet
879 4 10	T	11 ^h 46 ^m	1.36	Südhalbkugel
995 1 19	(t')	15 ^h 53 ^m	1.25	Äquatorgebiet
1052 12 8	(t')	22 ^h 42 ^m	1.65	Nordhalbkugel
1176 4 25	P	19 ^h 26 ^m	0.67	Südhalbkugel
1234 3 17	P	3 ^h 38 ^m	0.65	Südhalbkugel
1407 11 15	t'	12 ^h 49 ^m	1.19	Nordhalbkugel
Fortsetzung ...				

Tabelle 8: Planetenbedeckungen durch verfinsterten Mond, -100 bis +3000

24. Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Finsternisse

Fortsetzung ...						
Datum			Typ	Max. Finst. (DT)	Größe der Finst.	Sichtbarkeit
1418	10	14	T	22 ^h 09 ^m	1.12	Nordhalbkugel
1462	6	12	P	1 ^h 58 ^m	0.59	Südhalbkugel
1473	5	12	P	7 ^h 28 ^m	0.37	Äquatorgebiet
1531	4	1	(p)	18 ^h 47 ^m	0.11	Südhalbkugel
2932	6	10	P	0 ^h 01 ^m	0.20	Äquatorgebiet
2990	5	1	P	1 ^h 40 ^m	0.09	Südhalbkugel
Saturn						
195	7	10	t	3 ^h 53 ^m	1.70	Äquatorgebiet
354	12	16	(t)	15 ^h 59 ^m	1.34	Äquatorgebiet
502	12	29	T	16 ^h 11 ^m	1.65	Äquatorgebiet
771	2	4	(p)	10 ^h 49 ^m	0.93	Südhalbkugel
959	6	23	P	8 ^h 37 ^m	0.94	Südhalbkugel
1312	6	19	P	19 ^h 42 ^m	0.76	Äquatorgebiet
1580	7	26	T	11 ^h 09 ^m	1.26	Nordhalbkugel
1591	12	30	t	4 ^h 00 ^m	1.57	Nordhalbkugel
1796	12	14	P	14 ^h 17 ^m	0.49	Nordhalbkugel
2344	7	26	T	12 ^h 41 ^m	1.33	Nordhalbkugel
2429	6	17	P	11 ^h 11 ^m	0.02	Südhalbkugel
2829	1	11	(t)	4 ^h 25 ^m	1.81	Nordhalbkugel
2977	1	26	T	10 ^h 01 ^m	1.65	Äquatorgebiet
Uranus (nur 1850-2050)						
1930	10	7	P	19 ^h 07 ^m	0.02	Äquatorgebiet
1938	11	7	T	22 ^h 26 ^m	1.35	Nordhalbkugel
2014	10	8	T	10 ^h 55 ^m	1.17	Südhalbkugel
2022	11	8	T	11 ^h 00 ^m	1.36	Nordhalbkugel
Neptun (nur 1900-2050)						
1925	2	8-9	(p)	21 ^h 42 ^m	0.73	Nordhalbkugel

Tabelle 8: Planetenbedeckungen durch verfinsterten Mond, -100 bis +3000

7.2 Planetenbedeckung durch die Sonne während einer Sonnenfinsternis

Oft stehen Planeten in (*oberer*) *Konjunktion* genau hinter der Sonne. Viel seltener gibt es während dieser Zeiten eine Totale Sonnenfinsternis auf der Erde. Tabelle 9 listet einige solche Fälle auf [33].

Finsternisdatum			Planet	Typ	
60	April	19	Merkur	total	*
420	November	21	Venus	total	
682	November	5	Mars	ringförmig	
729	Oktober	27	Mars	total	*
757	April	23	Merkur	ringförmig	*
914	November	20	Venus	total	
1139	Oktober	24	Mars	partiell	
1302	Juni	26	Jupiter	partiell	*
1408	April	26	Merkur	ringfm.-total	
1741	Juni	13	Venus	total	
1954	Juni	30	Jupiter	total	
2105	Mai	14	Merkur	partiell	*
2235	Juni	16	Venus	partiell	
2903	Juli	16	Jupiter	total	
3008	Mai	27	Mars	total	

Tabelle 9: Planetenbedeckungen während Sonnenfinsternissen 0 bis 3050. Bei mit * gekennzeichneten Bedeckungen war der Planet nicht während der *ganzen* Finsternis bedeckt.

8 Gegenseitige Bedeckungen der Planeten

Die Berechnung gegenseitiger Bedeckungen von Planeten stellt außerordentlich hohe Ansprüche an die verwendeten Theorien der Planetenbewegung und überfordert viele gängige Programme — es geht um Bogensekunden! Oft ist auch nicht entscheidbar, wer „recht“ hat: Es wurde bisher erst eine einzige Bedeckung teleskopisch beobachtet, an der Programme und Rechenverfahren getestet werden können. Die Abbildungen in diesem Abschnitt wurden mit URANIASTAR™ erzeugt.

–1 06 17 20:46 ET Venus vor Jupiter ([37, 38]).

Eine schwache Überdeckung der Planetenscheibchen war vermutlich südlich von ca. 25 Grad Breite zu sehen — nach Theorie DE 102. Die Rechnung nach VSOP87, wie sie z. B. in URANIASTAR™ und URANIA/48™ implementiert ist, ergibt eine extrem enge Konjunktion (Abb. 7).

Diese — zumindest als Konjunktion — sehr auffällige Erscheinung wird auch in Zusammenhang mit dem „Stern von BETLEHEM“ gebracht. Demnach wäre dir Totale Mondfinsternis von 0 01 10 ein Kandidat für die Finsternis vor des HERODES Tod.

1170 09 12 Mars vor Jupiter ([39]).

GERVASE VON CANTERBURY berichtet:

“On the Ides of September, at midnight, two planets were seen in conjunction to such a degree that it appeared as though they had been one and the same star; but immediately they were separated from each other.”

Die Bedeckung war fast zu Ende, als die Planeten für CANTERBURY aufgingen (Abb. 8). Für das freie Auge waren die Planeten aber bis knapp vor Mitternacht nicht zu trennen.

Es existieren auch chinesische Aufzeichnungen, dort war die Bedeckung in ihrem Gesamtverlauf zu beobachten.

26. Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Finsternisse

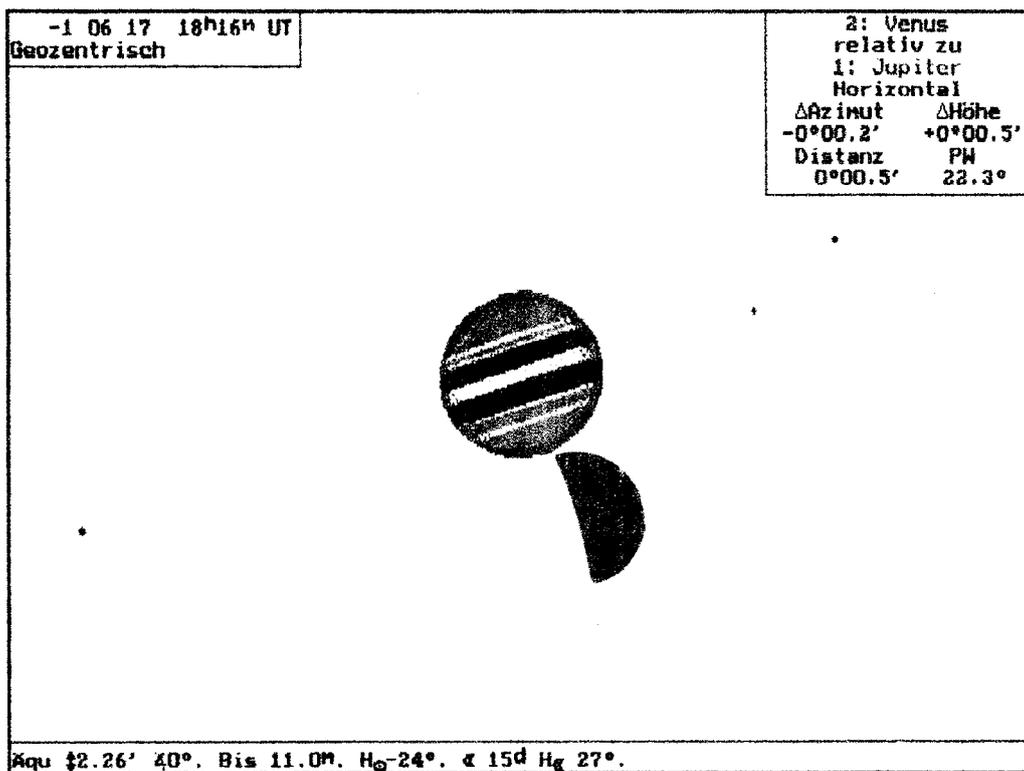


Abbildung 7: Ein Grenzfall — Jupiter und Venus -1 06 17

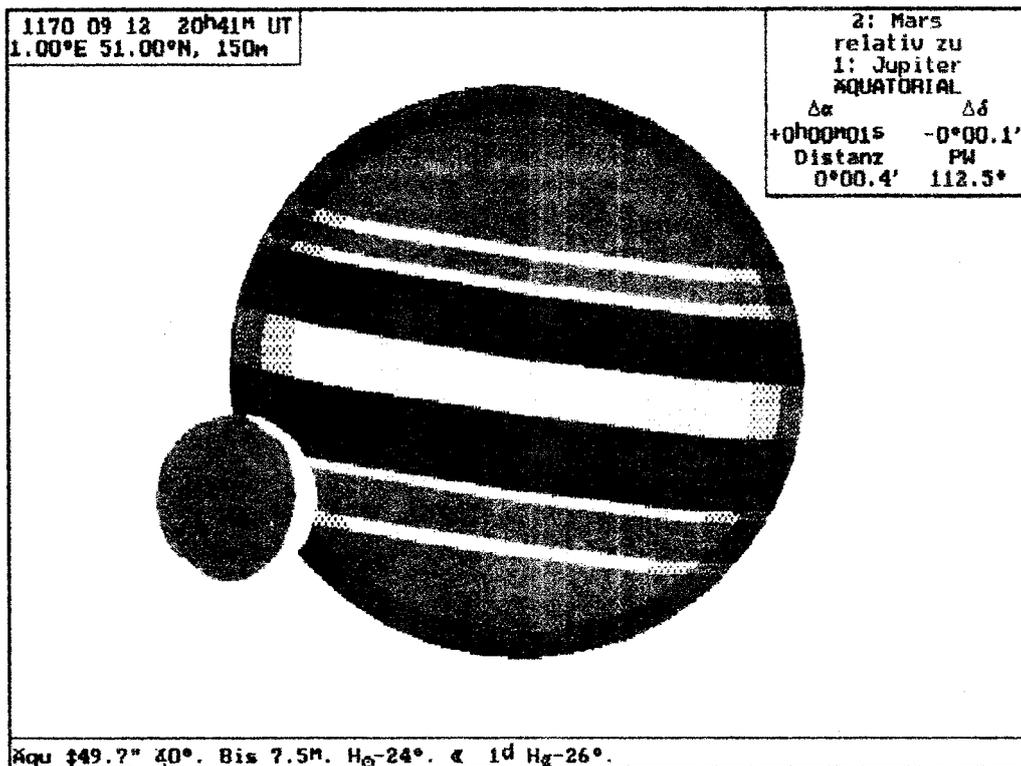


Abbildung 8: Stellung der Planeten, als sie für CANTERBURY aufgingen

27. Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Finsternisse

1613 01 04 Jupiter vor Neptun ([39]).

Kein echter Beobachtungsbericht vorhanden, aber: GALILEO vermerkt bei seinen Jupitermondbeobachtungen am 28.12.1612 und 28.1.1613 einen zusätzlichen „Stern“ und vermutet eine Bewegung desselben. Dieser „Stern“ war Neptun, der noch bis 1846 offiziell unentdeckt blieb!

1737 05 28 (1737 05 17 jul.) 21:47UT Venus vor Merkur ([39, 40]).

In GREENWICH von JOHN BEVIS, vermutlich mit einem einlinsigen Refraktor von 8m Brennweite und ca. 7cm Öffnung, sehr tief am Horizont durch Wolkenlöcher (»inimicæ nubes«) beobachtet.

Tabelle 10 listet gegenseitige Bedeckungen von Planeten für den Zeitraum 1570–2230 [41].

Leider gibt es zwischen 1818 und 2065 keine einzige gegenseitige Bedeckung. Einige sehr enge Konjunktionen zeigt Tabelle 11 [41].

Datum	ET	Planet ₁	Planet ₂	s	s'	Elong	d ₁	d ₂	m ₁	m ₂
1570 2 5	7:47	Venus	Jupiter	18.03"	7.32"	25°W	11.22"	30.69"	-3.3	-1.5
1590 10 13	4:55	Venus	Mars	7.05"	4.68"	34°W	13.14"	3.91"	-3.5	+2.0
1613 1 4	2:08	Jupiter	Neptun	3.98"	16.88"	108°W	36.37"	2.44"	-1.7	+7.7
1623 8 15	17:03	Jupiter	Uranus	5.11"	12.13"	9°W	29.06"	3.53"	-1.3	+5.9
1702 9 19	13:26	Jupiter	Neptun	2.62"	23.69"	165°W	46.26"	2.53"	-2.5	+7.6
1708 7 14	13:02	Merkur	Uranus	7.59"	5.45"	25°O	6.45"	3.55"	+0.2	+5.9
1708 10 4	12:46	Merkur	Jupiter	10.75"	10.73"	1°O	4.74"	28.48"	-1.1	-1.2
1737 5 28	21:54	Venus	Merkur	35.21"	12.37"	22°O	51.97"	6.82"	-3.8	+0.1
1771 8 29	19:38	Venus	Saturn	9.25"	7.64"	14°W	10.19"	14.68"	-3.4	+0.7
1793 7 21	5:40	Merkur	Uranus	1.31"	11.19"	24°O	6.15"	3.56"	+0.1	+5.9
1808 12 9	20:35	Merkur	Saturn	16.15"	0.91"	20°W	6.06"	13.72"	-0.3	+0.7
1818 1 3	21:51	Venus	Jupiter	12.23"	11.83"	16°W	10.43"	29.61"	-3.4	-1.4
2065 11 22	12:47	Venus	Jupiter	14.17"	9.04"	8°W	9.96"	28.81"	-3.4	-1.2
2067 7 15	11:57	Merkur	Neptun	10.02"	2.36"	18°W	6.32"	2.37"	-0.4	+7.8
2079 8 11	1:30	Merkur	Mars	1.24"	7.05"	11°W	5.43"	3.58"	-1.2	+2.0
2088 10 27	13:46	Merkur	Jupiter	18.98"	2.62"	5°W	4.78"	28.56"	-1.0	-1.2
2094 4 7	10:46	Merkur	Jupiter	6.32"	16.69"	2°W	4.98"	30.88"	-1.6	-1.6
2123 9 14	15:26	Venus	Jupiter	5.89"	17.62"	16°O	10.31"	28.66"	-3.3	-1.2
2126 7 29	16:07	Merkur	Mars	5.04"	2.97"	9°W	5.28"	3.59"	-1.4	+1.9
2133 12 3	14:10	Venus	Merkur	36.60"	24.30"	4°O	63.23"	4.63"	-3.0	-0.7
2223 12 2	12:39	Mars	Jupiter	20.56"	9.56"	89°O	9.13"	37.55"	+0.2	-2.0

- Legende: Planet₁ verdeckt Planet₂.
- s Geozentrischer Abstand der Planetenmitten, Bogensekunden
 - s' Maximale Überdeckung, vom günstigsten Beobachtungsort auf der Erde gesehen, in Bogensekunden
 - Elong Winkelabstand der Planeten von der Sonne
 - d₁ scheinbarer Durchmesser des verdeckenden Planeten
 - d₂ scheinbarer Durchmesser des verdeckten Planeten
 - m₁ scheinbare Helligkeit des verdeckenden Planeten
 - m₂ scheinbare Helligkeit des verdeckten Planeten

Tabelle 10: Gegenseitige Bedeckungen der Planeten, 1570–2223

28. Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Finsternisse

Datum	Planet ₁	Planet ₂
1705 7 20	Merkur	Jupiter
2037 9 15	Merkur	Saturn
2100 8 23	Mars	Neptun
2173 7 16	Merkur	Mars

Tabelle 11: Sehr enge Konjunktionen zwischen Planeten

Literatur

- [1] WÖDL, Gerald: Bemerkenswerte Finsternisse. In: MUCKE, Hermann (Hrsg.): *Seminarpapiere*. Planetarium Wien : Astronomisches Büro, Wien, 1979 (Sternfreunde-Seminar). – Diente als Ausgangspunkt für dieses Referat, S. 38–41
- [2] OPPOLZER, Theodor Ritter v.: *Canon der Finsternisse*. Wien : Karl Gerold's Sohn, Kaiserlich-Königliche Hof- und Staatsdruckerei, 1887 (Denkschriften der Math.-Nat. Classe der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften)
- [3] GINZEL, F. K.: *Spezieller Kanon der Sonnen- und Mondfinsternisse für das Ländergebiet der klassischen Altertumswissenschaften und den Zeitraum von 900 vor Chr. bis 600 nach Chr.*. Berlin : Mayer&Müller, 1899
- [4] MUCKE, Hermann ; MEEUS, Jean: *Canon der Sonnenfinsternisse -2003 bis +2526*. 2. Auflage. Wien : Astronomisches Büro, 1992
- [5] MEEUS, Jean ; MUCKE, Hermann: *Canon der Mondfinsternisse -2002 bis +2526*. Wien : Astronomisches Büro, 1983
- [6] MEEUS, Jean: *Astronomical Algorithms*. Richmond Virginia : Willmann-Bell, 1991. – Die deutsche Übersetzung ist leider auch in der 2. Auflage sehr fehlerhaft!
- [7] VOLLMANN, Wolfgang ; PIETSCHNIG, Michael: *UraniaStar V1.1*. Wien: Eigenverlag, 1995
- [8] ZOTTI, Georg: *Urania/48 V2.0*. Wien: Eigenverlag, 1996. – Umfangreiches Astronomieprogramm für den HP-48 Taschenrechner, fast vollständige Implementierung von [6]
- [9] PANNEKOEK, Anton: *A History of Astronomy*. New York : Dover Publications, Inc., 1989. – Nachdruck von 1961
- [10] VON LITTRON, Johann J. ; GUTHNICK, Paul (Hrsg.): *Die Wunder des Himmels*. 9. Auflage. Berlin : Verlag von W. Herlet, 1913
- ✗ [11] HERRMANN, Dieter B.: Historisches über Sonnenfinsternisse. In: *Astronomie+Raumfahrt* 36 (1999), Nr. 1, S. 16–19
- ✗ [12] PANG, K. D. ; YAU, K. K. ; CHAU, H.-H.: Postglacial Rebound and Other Influences on the Earth's Secular Rotation Rate, from Analysis of Ancient Eclipse Records. In: *GeoResearch Forum* 3–4 (1998), S. 459–488
- [13] HUNGER, Hermann: Finsternisberichte in Keilschrifttexten. In: MUCKE, Hermann (Hrsg.): *Seminarpapiere*. Planetarium Wien : Astronomisches Büro, Wien, 1994 (Sternfreunde-Seminar), S. 109–116
- ✗ [14] BRUNNER-BOSSHARD, W.: Sonnenfinsternisse auf prähistorischen Kultplätzen durch Felsritzungen dokumentiert. In: *ORION* (1987), Nr. 221, S. 132–135
- [15] DRECHSLER, Adolph: *Sonnen- und Mondfinsternisse*. Dresden : Verlagsbuchhandlung von Rudolf Kuntze, 1858
- ✗ [16] WOLF, Rudolf: *Handbuch der Astronomie*. Bd. 1. Zürich : Druck und Verlag von F. Schulthess, 1890
- [17] SCHAEFER, Bradley E.: Lunar Eclipses that changed the World. In: *Sky&Telescope* 84 (1992), December, Nr. 6, S. 639–642

29. Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Finsternisse

- [18] FRIEDRICH, Paul: *Weltgeschichte nach Leopold v. Ranke*. Berlin/Zürich : Eigenbrödler-Verlag, 1928
- × [19] STEPHENSON, F. R.: Historische Finsternisse—eine astronomische Fundgrube. In: *Spektrum der Wissenschaft* (1982), Dezember, S. 122–132
- [20] SCHOVE, D. J. ; FLETCHER, Alan: *Chronology of Eclipses and Comets AD 1–1000*. The Boydell Press, 1984
- [21] SCHAEFER, Bradley E.: Solar Eclipses that changed the World. In: *Sky&Telescope* 87 (1994), May, Nr. 5, S. 36–39
- [22] JÖCKLE, Clemens: *Lexikon der Heiligen*. Erlangen : Nebel Sachbuch, 1995
- × [23] FERRARI D'OCCHIEPPO, Konradin: Zur Identifizierung der Sonnenfinsternis während des Petschenegenkrieges Alexios' I. Komnenos (1084). In: *Jahrbuch der Österreichischen Byzantinistik* Bd. 23. Wien : Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, 1974, S. 179–184
- [24] MÜLLER, Adolf: *Nicolaus Copernicus*. Freiburg im Breisgau : Herder'sche Verlagsbuchhandlung, 1898
- [25] NEWCOMB ; ENGELMANN et al. ; KEMPF, P. (Hrsg.): *Populäre Astronomie*. 5. Auflage. Leipzig und Berlin : Verlag von Wilhelm Engelmann, 1914
- × [26] SCHMIDT, Justus: *Johann Kepler*. Linz : Rudolf Trauner Verlag, 1970
- [27] VON MÄDLER, Johann H.: *Geschichte der Himmelskunde*. Bd. I. Braunschweig : Druck und Verlag von George Westermann, 1873
- [28] MUCKE, Hermann: *Helle Kometen von -86 bis +1950*. 2. Auflage. Wien : Astronomisches Büro, 1976
- × [29] ASHBROOK, Joseph: About Some Early Eclipse Observations. In: *Sky&Telescope* 44 (1972), August, Nr. 2, S. 85
- [30] BIRNKRAUT, Renate: Aus der Geschichte der Sonnenforschung. In: MUCKE, Hermann (Hrsg.): *Seminarpapiere*. Planetarium Wien : Astronomisches Büro, Wien, 1984 (Sternfreunde-Seminar), S. 7–16
- [31] STRUVE, Otto: *Astronomie*. Berlin : Walter de Gruyter&Co., 1967
- [32] LINK, František: *Die Mondfinsternisse*. Leipzig : Akademische Verlagsgesellschaft Geest&Portig KG., 1956
- [33] MEEUS, Jean: *Mathematical Astronomy Morsels*. Richmond, Virginia : Willmann-Bell, Inc., 1997
- [34] BIRNKRAUT, Renate: Anleitung zur Berechnung von Sternbedeckungen. In: MUCKE, Hermann (Hrsg.): *Seminarpapiere*. Planetarium Wien : Astronomisches Büro, Wien, 1979 (Sternfreunde-Seminar), S. 74–80
- [35] POLLACK, James B. ; CUZZI, Jeffrey N.: Planetenringe. In: *Planeten und ihre Monde*. Heidelberg : Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft, 1988 (Verständliche Forschung), S. 158–171
- × [36] MEEUS, Jean: A Stellar Occultation by Saturn. In: *Sky&Telescope* 73 (1987), April, Nr. 4, S. 357
- × [37] SINNOTT, Roger W.: Computing the Star of Betlehem. In: *Sky&Telescope* (1986), December, S. 632–635
- × [38] DEYOUNG, James A. ; HILTON, James L.: Star of Betlehem. In: *Sky&Telescope* (1987)
- [39] OLSON, Donald W. ; DOESCHER, Russell L. ; ALBERS, Steven C.: A Medieval Mutual Planetary Occultation. In: *Sky&Telescope* 84 (1992), August, Nr. 2, S. 207–209
- × [40] SINNOTT, Roger W. ; MEEUS, Jean: John Bevis and a Rare Occultation. In: *Sky&Telescope* 72 (1986), Nr. 3, S. 220–222
- × [41] ALBERS, Steven C.: Mutual Occultations of Planets: 1557 to 2230. In: *Sky&Telescope* 57 (1979), March, Nr. 3, S. 220–222

Referat: Die Geometrie astronomischer Finsternisse

1 Räumliche Finsternisgeometrie

Wir blicken von oben auf die Erdbahnebene. Liegen in diesem „Grundriß“ die Mitten von Sonne-Mond-Erde hintereinander auf einer Geraden, so haben wir Neumond; Vollmond ist eingetreten, wenn die Folge auf der Geraden Sonne-Erde-Mond lautet. Diese beiden Stellungen des Mondes zu Sonne und Erde heißen Syzygien (aus dem Griechischen συζυγία, Paar, das Sonne und Mond oder Gegensonne und Mond bilden).

Zunächst können wir in guter Näherung die Mondbahn um die Erde ebenso wie jene der Erde um die Sonne als ebene Kurven ansehen und dann von einer Mondbahnebene und Erdbahnebene sprechen. Die Mondbahnebene liegt etwas schräg zur Erdbahnebene und es gibt daher eine Schnittgerade dieser beiden Ebenen, die Knotenlinie. Im aufsteigenden Knoten Ω bzw. ebenso im absteigenden Knoten Υ steht der Mond in der Erdbahnebene, die er dort aufsteigend von Süd nach Nord bzw. absteigend von Nord nach Süd kreuzt, siehe (Abb.1):

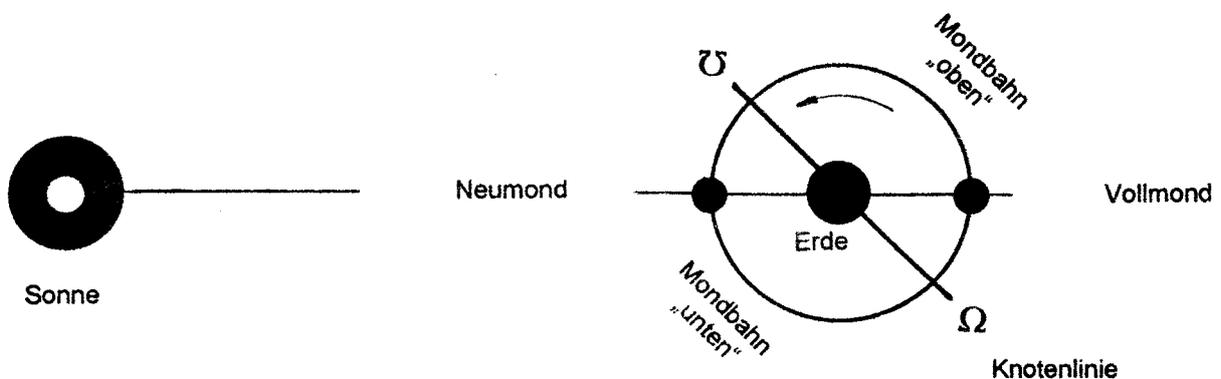


Abb.1: Mondbahn um die Erde: Syzygien, Knotenlinie. Zeichenebene = Erdbahnebene.

Die Mondbahn wird von der Erde auf ihrer Bahn um die Sonne mitgeführt und deshalb durchwandern die Syzygien die Mondbahn; sie können sich daher so weit über oder unter der Erdbahnebene ereignen, als dies die Neigung der Mondbahn zuläßt, siehe (Abb.2).

Immer dann, wenn sich Neumonde nahe genug an der Knotenlinie – und damit auch an der Erdbahnebene – ereignen, kann eine Sonnenfinsternis eintreten; bei den übrigen Neumonden geht der Mondschatten über oder unter der Erde vorbei. Ebenso kann nur bei jenen Vollmonden, die sich nahe genug an der Knotenlinie ereignen, eine Mondfinsternis eintreten, denn bei den übrigen Vollmonden geht der Mond über oder unter dem Erdschatten vorbei. Die Knotenlinie liegt im Raum nicht fest, sondern dreht sich recht langsam entgegen der Umlaufrichtung des Mondes; dies ist in Abb.2 nicht berücksichtigt.

Bedingung für Sonnen- oder Mondfinsternisse ist demnach, daß die Syzygien in genügend geringem Winkelabstand des Mondes von der Erdbahnebene, welche also die Rolle der „Finsternisebene“ spielt, eintreten. Ihr Schnittkreis mit der Himmelskugel, die Jahresbahn der Sonne, die aus Sicht der umlaufenden Erde als Wandelgestirn erscheint, heißt somit zu Recht Ekliptik (aus dem Griechischen ἐκλείπειν, sich verfinstern), denn nur in oder nahe dieser „Finsternislinie“ können am Himmel Sonnen- und Mondfinsternisse eintreten, und

1. Fortsetzung Referat: Die Geometrie astronomischer Finsternisse

dieser „Finsternislinie“ können am Himmel Sonnen- und Mondfinsternisse eintreten, und zwar immer nahe dem auf- oder absteigenden Knoten der Mondbahn. In diesen beiden Ekliptikpunkten trifft die Knotenlinie die Himmelskugel und sie werden recht anschaulich mit Kopf und Schwanz eines Drachen oder mit zwei Wölfen verglichen, die Sonne und Mond verschlingen können.

Aus Abb.2 ersehen wir die „Finsterniszeiten“, die mit F! bezeichnet sind. Dann zeigt die Knotenlinie genügend genau auf die Sonne und dies tritt rund alle halben Jahre ein:

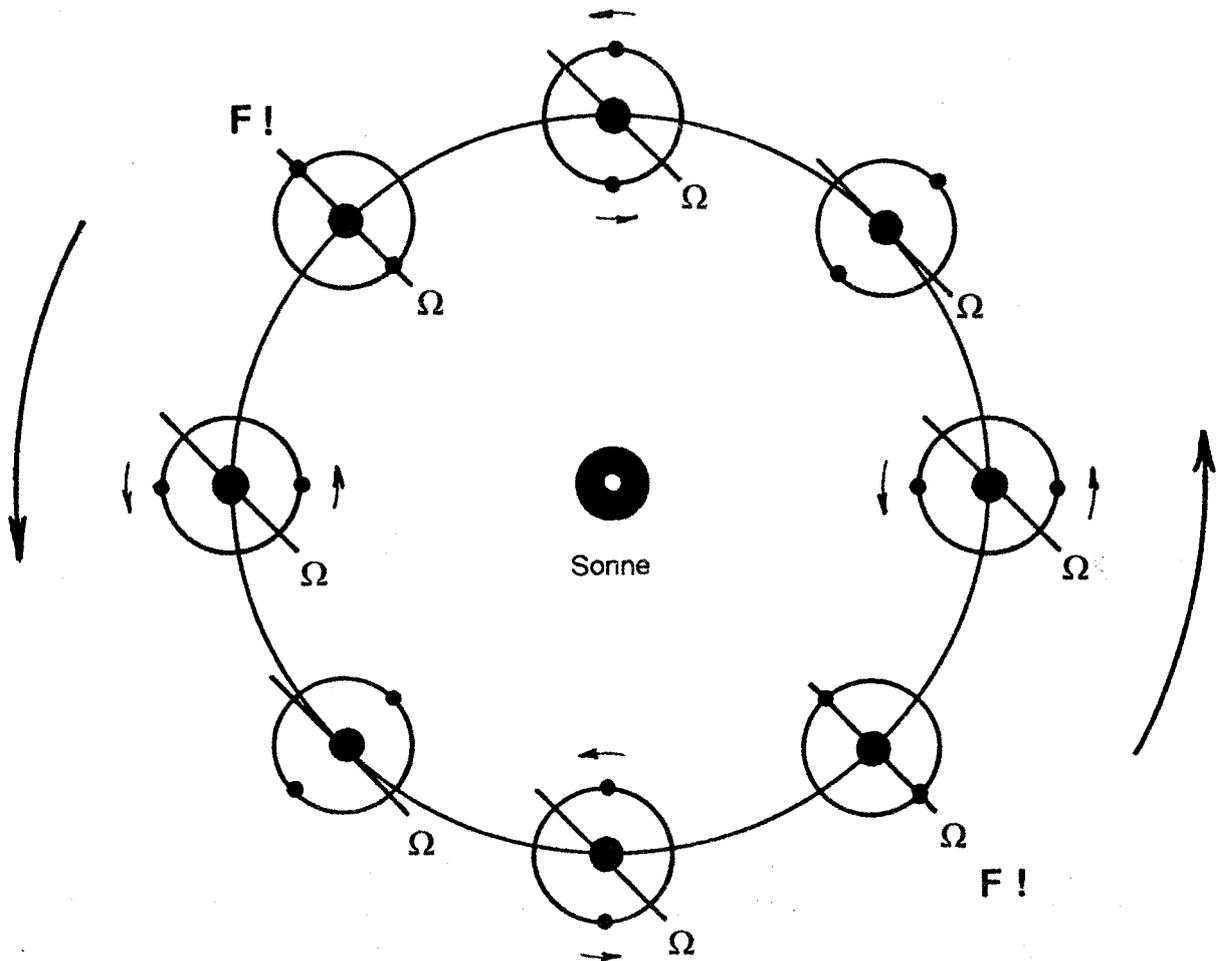


Abb.2: Umlauf von Erde und Mond um die Sonne. Zeichenebene = Erdbahnebene

Es muß also mindestens zwei Sonnen- sowie zwei Mondfinsternisse in einem Jahr geben. Ereignet sich eine Syzygie nicht allzu weit vom Knoten, kann zu einer Finsterniszeit auch bei der nächsten Syzygie eine Finsternis eintreten und es dort zu zwei Finsternissen kommen. Ist das auch bei der nächsten Finsterniszeit der Fall, so ereignen sich in der Zeitspanne eines Jahres vier Finsternisse. Liegt die erste am Jahresanfang, so kann es, weil zwölf Mondmonate kürzer als das Sonnenjahr sind und sich die Knotenlinie dem Mond entgegen dreht, sogar fünf Finsternisse in einem Jahr geben. Dies ist sehr selten und trat im 20. Jahrhundert nur einmal ein. Da gab es 1935 fünf Sonnenfinsternisse und kein Jahr mit fünf Mondfinsternissen. Das 21. Jahrhundert fällt diesbezüglich ganz aus und erst im 22. Jahrhundert ist es umgekehrt: 2132 bringt fünf Mondfinsternisse und kein Jahr mit fünf Sonnenfinsternissen. Im

2.Fortsetzung Referat: Die Geometrie astronomischer Finsternisse

23.Jahrhundert ereignen sich im Jahr 2206 fünf Sonnenfinsternisse, aber keines hat fünf Mondfinsternisse.

Weil die Sonne keine punktförmige, sondern eine ausgedehnte, scheibenförmige Lichtquelle ist, wird sie vom Mond bzw. von der Erde nicht schlagartig, sondern allmählich bedeckt und der geworfene Schatten besteht aus einem Halbschattenkegel, der den Kernschattenkegel enthält. Ersterer wird durch die inneren, letzterer von den äußeren Tangenten an Sonne und Mond bzw. Erde begrenzt. Nur für Punkte im Kernschatten ist die Sonne ganz verdeckt, für Punkte im Halbschatten ist ein mehr oder weniger großer Teil der Sonne sichtbar und die Dunkelheit des Halbschattens nimmt daher gegen und bis zum Kernschattenrand zu. Die Kernschattenlänge des Mondes entspricht größenordnungsmäßig etwa dem Abstand Mond-Erde, die Kernschattenlänge der Erde entspricht dem rund Hundertfachen des Erddurchmessers.

Im Gegensatz zur Sonne können Sterne als punktförmige Lichtquellen angesehen werden und bei Sternbedeckungen gibt es daher keinen Halbschatten und einen zylindrischen Kernschatten, bei den selteneren Planetenbedeckungen ergibt sich nur ein sehr kleiner Halbschatten und ein fast als zylindrisch zu betrachtender Kernschatten.

Finsternis-Bedingungen:

Es bedeuten: β_{M} Ekliptikale Breite des Mondes
 SD_{M} Winkelhalbmesser des Mondes
 SD_{S} Winkelhalbmesser der Sonne
 π_{M} Äquatorial-Horizontalparallaxe des Mondes
 π_{S} Äquatorial-Horizontalparallaxe der Sonne

Sonnenfinsternis für mindestens einen Ort der Erdoberfläche sicher, wenn

$$\beta_{\text{M}} < (\pi_{\text{M}} - \pi_{\text{S}} + SD_{\text{S}} + SD_{\text{M}}) \cdot 1,0052$$

Mondfinsternis im Halbschatten sicher, wenn nach A.Danjon

$$\beta_{\text{M}} < (1,01 \pi_{\text{M}} + SD_{\text{S}} + \pi_{\text{S}} + SD_{\text{M}}) \cdot 1,0052$$

Mondfinsternis im Kernschatten sicher, wenn nach A.Danjon

$$\beta_{\text{M}} < (1,01 \pi_{\text{M}} - SD_{\text{S}} + \pi_{\text{S}} + SD_{\text{M}}) \cdot 1,0052$$

Sternbedeckung für mindestens einen Ort der Erdoberfläche sicher, wenn der Großkreisabstand D von Mondmitte und Stern

$$D < (\pi_{\text{M}} + SD_{\text{M}})$$

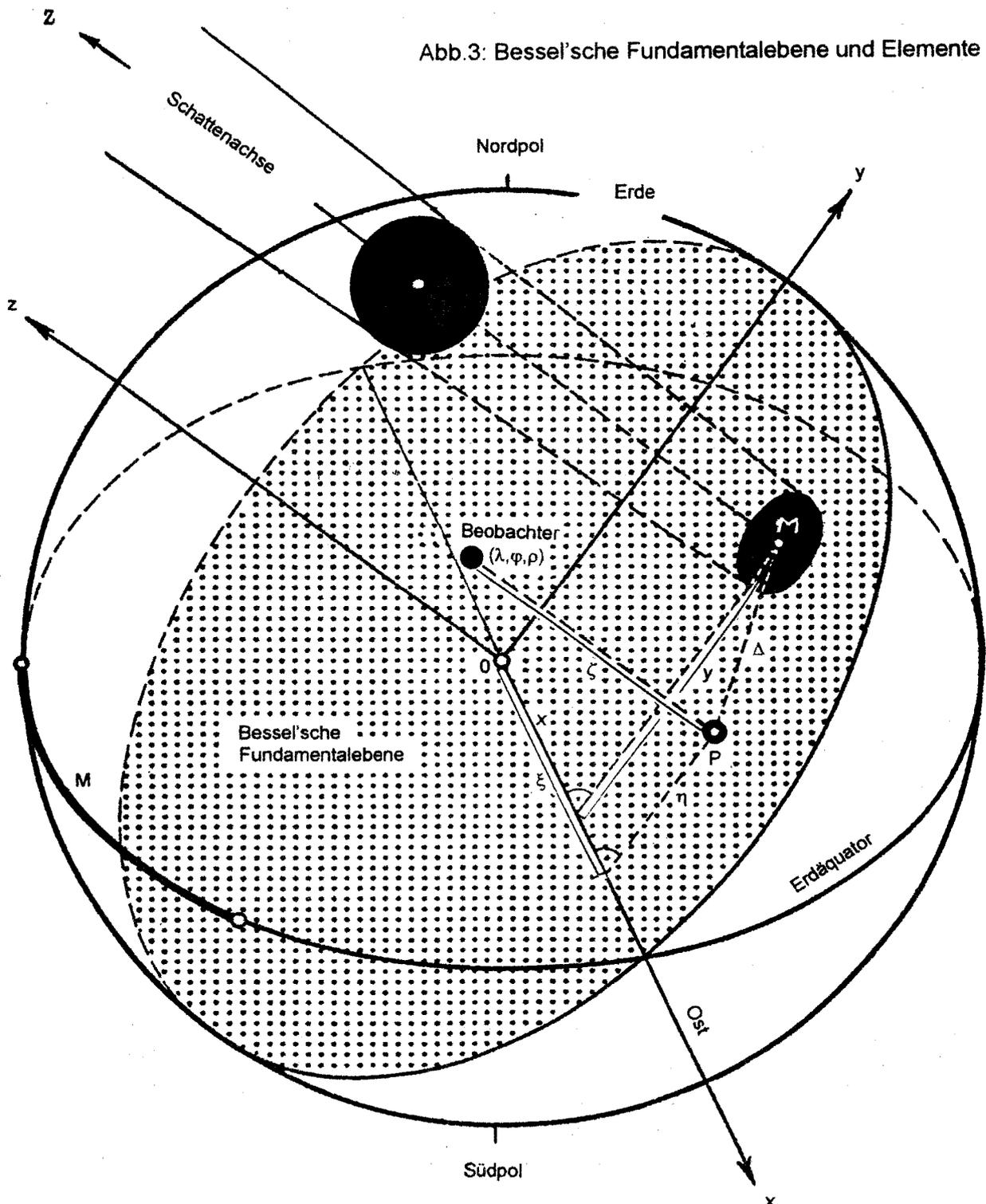
2 Ebene Finsternisgeometrie

Die räumliche Erscheinung einer astronomischen Finsternis kann in die Ebene übertragen und dort behandelt werden, wie Friedrich Wilhelm Bessel (1784 Minden – 1846 Königsberg) in seinen 1842 erschienenen „Astronomischen Untersuchungen“ gezeigt hat. Dazu definiert er die heute ihm zu Ehren so genannte „Bessel'sche Fundamentalebene“ und in ihr die vom Beobachtungsort unabhängigen Finsternis-Kenngrößen, die „Bessel'schen Elemente“.

3. Fortsetzung Referat: Die Geometrie astronomischer Finsternisse

Die Schattenquerschnitte und der Beobachtungsort auf der Erdoberfläche werden auf diese normal zur Schattenachse stehende und durch die Erdmitte gehende Ebene projiziert. Sie ist die Grundebene eines rechtwinkligen Koordinatensystems xyz mit dem Ursprung in der Erdmitte. Die x -Achse ist die Schnittgerade der „Bessel’schen Fundamentelebene“ mit der Ebene des Erdäquators, positiv nach Osten; die y -Achse weist positiv nach Norden; die z -Achse liegt parallel zur Achse des Mondschattens, mondseitig positiv. Längeneinheit ist der Äquatorhalbmesser der Erde (Abb.3):

In der Ebene: Koordinaten Schattenmitte M : x, y ; Beobachtungsort P : ξ, η , Normalabstand ζ .



4. Fortsetzung Referat: Die Geometrie astronomischer Finsternisse

Auf der „Bessel'schen Fundamentelebene“ wandern zufolge der Erddrehung der projizierte Beobachtungsort P und zufolge der Bewegung von Erde und Mond der in seiner Größe veränderliche, projizierte Schatten. Bei Anfang und Ende der Finsternis liegt P am Rand des projizierten Schattens. Dieses ebene Finsternisgeschehen kann dann auf die Erdoberfläche zurückprojiziert und dort in seinem Gesamtcharakter sowie für bestimmte Beobachtungsorte spezialisiert beschrieben werden.

Dazu dienen die – wie erwähnt, vom Beobachtungsort unabhängigen – Bessel'schen Elemente. Mit der Berechnung dieser Kenngrößen wollen wir uns nun befassen. Die geozentrische Rektaszension, Deklination und die Äquatorial-Horizontalparallaxe der Sonne werden mit α_{\odot} , δ_{\odot} , π_{\odot} , jene des Mondes mit α_{\ominus} , δ_{\ominus} , π_{\ominus} und mit R der Abstand der Erde von der Sonne bezeichnet. Diese Werte erhalten wir für das betreffende Datum mit dem Argument dynamische Zeit aus einem Jahrbuch oder direkt aus der Sonnen- und Mondtheorie. Wegen des Unterschiedes der Figuren- und Massenmitte des Mondes muß bei genauerer Rechnung die geozentrische ekliptikale Breite des Mondes um den Betrag $\Delta\beta_{\ominus} = -0,6''$ korrigiert werden, was sich mit der Ekliptikschiefe ε und der geozentrischen ekliptikalen Länge des Mondes λ_{\ominus} in den Korrekturgrößen $\Delta\alpha_{\ominus}$ und $\Delta\delta_{\ominus}$ folgendermaßen äußert:

$$\begin{aligned}\Delta\alpha_{\ominus} &= -\Delta\beta_{\ominus} \sin \varepsilon \cos \lambda_{\ominus} / \cos^2 \delta_{\ominus} \\ \Delta\delta_{\ominus} &= (\cos \varepsilon \cos \lambda_{\ominus} \cos \alpha_{\ominus} + \sin \lambda_{\ominus} \sin \alpha_{\ominus}) \cdot \Delta\beta_{\ominus}\end{aligned}$$

2.1 Sonnenfinsternisse

2.1.1 Schattenort und Schattengröße auf der Himmelskugel:

Die Schattenachse zeigt zum Punkt Z mit geozentrischer Rektaszension A, Deklination D:

$$\tan A = (\cos \delta_{\odot} \sin \alpha_{\odot} - b \cos \delta_{\ominus} \sin \alpha_{\ominus}) / (\cos \delta_{\odot} \cos \alpha_{\odot} - b \cos \delta_{\ominus} \cos \alpha_{\ominus})$$

worin $b = \sin \pi_{\odot} / R \sin \pi_{\ominus}$ und $\pi_{\odot} = 8,7941''$

Der Ephemeriden-Stundenwinkel M des Punktes Z ergibt sich mit der scheinbaren Ephemeridensternzeit θ , bezogen auf den Ephemeriden-Meridian und den Termin in dynamischer Zeit DT (numerisch gleich der scheinbaren Sternzeit, bezogen auf den Meridian Greenwich und dem Termin JD in der julianischen Periode mit Tagesbruch in Weltzeit UT) aus

$$M = \theta - A, \quad \text{mit T in julianischen Jahrhunderten ab 1900,0:}$$

$$\theta = 279,690983^{\circ} + 360,985647335 (JD - 2415020) + 0,0003871 T^2 + (\Delta\psi \cos \varepsilon) \text{ und}$$

$$\varepsilon = 23,452294^{\circ} - 0,0130125 T - 0,00000164 T^2 + 0,000000503 T^3 + \Delta\varepsilon, \quad \text{worin } \Delta\psi$$

die Nutation in Länge und $\Delta\varepsilon$ jene in Schiefe aus Jahrbuch oder Nutationstheorie bedeutet.

$$\tan D = [(\sin \delta_{\odot} - b \sin \delta_{\ominus}) \sin A] / (\cos \delta_{\odot} \sin \alpha_{\odot} - b \cos \delta_{\ominus} \sin \alpha_{\ominus})$$

5. Fortsetzung Referat: Die Geometrie astronomischer Finsternisse

Die Winkelhalbmesser des Halbschattens f_1 und des Kernschattens f_2 an der Himmelskugel ergeben sich mit:

$$g = (\cos \delta_{\odot} \cos \alpha_{\odot} - b \cos \delta_{\alpha} \cos \alpha_{\alpha}) / (\cos D \cos A) \quad \text{aus}$$

$$\sin f_1 = 0,004664018 / g R \quad \text{und} \quad \sin f_2 = 0,004640792 / g R$$

2.1.2 Schattenort und Schattengröße auf der Bessel'schen Fundamentalebene:

Die Schattenmitte hat die Koordinaten xyz:

$$x = [\cos \delta_{\alpha} \sin (\alpha_{\alpha} - A)] / \sin \pi_{\alpha}$$

$$y = [\sin \delta_{\alpha} \cos D - \cos \delta_{\alpha} \sin D \cos (\alpha_{\alpha} - A)] / \sin \pi_{\alpha}$$

$$z = [\sin \delta_{\alpha} \sin D + \cos \delta_{\alpha} \cos D \cos (\alpha_{\alpha} - A)] / \sin \pi_{\alpha}$$

Der Halbschatten hat den Halbmesser L_1 , der Kernschatten den Halbmesser L_2 :

$$L_1 = C_1 \tan f_1 \quad \text{mit} \quad C_1 = z + 0,272481 / \sin f_1$$

$$L_2 = C_2 \tan f_2 \quad \text{mit} \quad C_2 = z - 0,272274 / \sin f_2$$

Bei einer ringförmigen Sonnenfinsternis ist L_2 positiv, bei einer totalen ist L_2 negativ. Diese Bessel'schen Elemente x , y , M , D , L_1 , L_2 , $\tan f_1$ und $\tan f_2$ werden zur Ermittlung von Gesamt- und Lokaldaten über die ganze Finsternisdauer genügend eng berechnet.

Beispiel:

Totale Sonnenfinsternis 1979 02 26. Berechnung der Bessel'schen Elemente für 16h00 DT.

ε	23°26'22"	M	56,750°
λ_{α}	337,0°	θ	2h23m37,204s
$\Delta\alpha_{\alpha}$	0,015s	D	-8,772 647°
$\Delta\delta_{\alpha}$	-0,56"	g	0,997 580 4
α_{α}	22h33m28,793s (korrigiert)	$(\alpha - A)$	-0,785 225°
δ_{α}	-8°02'42,98" (korrigiert)	x	-0,762 69
π_{α}	1°01'09,99"	y	0,712 73
α_{\odot}	22h36m36,79s	z	56,196 37
δ_{\odot}	-8°46'15,2	L_1	0,537 82
R	0,990 223 7 AE	L_2	-0,008 26
b	0,002 420	$\tan f_1$	0,004 722
A	339,155 1953°	$\tan f_2$	0,004 698

Anwendung der Bessel'schen Elemente: siehe Referate zum „Canon of Solar Eclipses ...“

6. Fortsetzung Referat: Die Geometrie astronomischer Finsternisse

2.2 Mondfinsternisse

$$x = [\cos \delta_{\mathcal{L}} \sin (\alpha_{\mathcal{L}} - \alpha_{\odot} \pm 12h)] / \sin 1''$$

$$y = [\cos \delta_{\odot} \sin \delta_{\mathcal{L}} + \sin \delta_{\odot} \cos \delta_{\mathcal{L}} \cos (\alpha_{\mathcal{L}} - \alpha_{\odot} \pm 12h)] / \sin 1''$$

x und y ergeben sich in Bogensekunden. Mit dem Halbmesser der Sonne

$$SD = 959,63'' / R \quad \text{wobei} \quad R \text{ in AE}$$

und mit π_{\odot} in Bogensekunden, beides aus einem Jahrbuch oder aus der Sonnentheorie, ergibt sich in Bogensekunden bei Verwendung der Schattenvergrößerung nach A. Danjon:

$$f1 = 1,01 \pi_{\mathcal{L}} + SD_{\odot} + \pi_{\odot} \quad \text{Halbmesser Halbschatten}$$

$$f2 = 1,01 \pi_{\mathcal{L}} - SD_{\odot} + \pi_{\odot} \quad \text{Halbmesser Kernschatten}$$

sowie bei Verwendung der traditionellen Schattenvergrößerung um 1/50, wie z.B. in den *Astronomical Ephemeris* bzw. *Astronomical Almanac*, folgt ebenfalls in Bogensekunden:

$$f1 = 1,02 (0,99834 \pi_{\mathcal{L}} + SD_{\odot} + \pi_{\odot})$$

$$f2 = 1,02 (0,99834 \pi_{\mathcal{L}} - SD_{\odot} + \pi_{\odot})$$

Die Größen der Finsternisse, ausgedrückt in Einheiten des scheinbaren Monddurchmessers, sind mit der Schattenvergrößerung nach A. Danjon äußerstenfalls im Kernschatten um 0,006 und im Halbschatten um 0,026 kleiner als die mit der traditionellen Regel berechneten. Damit werden die Verhältnisse geometrisch richtig und auch der Natur entsprechend dargestellt. Die Bessel'schen Elemente x, y, f1 und f2 werden zur Ermittlung von Gesamt- und Lokaldaten der Finsternis über ihre ganze Dauer in genügend engem Intervall berechnet.

Beispiel:

Partielle Mondfinsternis 1979 03 13. Berechnung der Bessel'schen Elemente für 21h DT:

ε	23°26'23"	π_{\odot}	8,85"
$\lambda_{\mathcal{L}}$	172,6°	R	0,994 032 4 AE
$\Delta\alpha_{\mathcal{L}}$	-0,016s	SD_{\odot}	0°16'05,4"
$\Delta\delta_{\mathcal{L}}$	-0,55"	x	283,35"
$\alpha_{\mathcal{L}}$	11h33m27,303s (korrigiert)	y	1715,48"
$\delta_{\mathcal{L}}$	3°22'43,29" (korrigiert)	f1	4283,85" (A. Danjon)
$\pi_{\mathcal{L}}$	0°54'36,83"	f2	2353,05" (A. Danjon)
α_{\odot}	23h33m08,38s	f1	4330,49" (traditionell)
δ_{\odot}	-2°54'07,8"	f2	2361,07" (traditionell)

Anwendung der Bessel'schen Elemente: siehe Referat „Berechnung von Mondfinsternissen“.

2.3 Sternbedeckungen durch den Mond

α_* , δ_* sind scheinbare Rektaszension und Deklination des bedeckten Sterns, gültig für den Termin der Bedeckung.

$$x = [\cos \delta_{\odot} \sin (\alpha_{\odot} - \alpha_*)] / \sin \pi_{\odot}$$

$$y = [\sin \delta_{\odot} \cos \delta_* - \cos \delta_{\odot} \sin \delta_* \cos (\alpha_{\odot} - \alpha_*)] / \sin \pi_{\odot}$$

Zunächst wird der Termin T_E der geozentrischen Konjunktion Mond-Stern in Rektaszension und dynamischer Zeit mit Hilfe einer Mondephemeride aus einem Jahrbuch oder direkt aus der Mondtheorie abgeschätzt. Dann werden für zwei Termine im Abstand von einer Stunde, welche nach Möglichkeit T_E einschließen, x_1 , y_1 sowie x_2 , y_2 berechnet. Daraus ergeben sich ihre stündlichen Änderungen

$$x' = x_2 - x_1 \quad \text{sowie} \quad y' = y_2 - y_1 \quad \text{und weiter}$$

der Termin der geozentrischen Konjunktion in Rektaszension

$$T_E = T_1 - x_1 / x' \quad \text{in dynamischer Zeit und mit} \quad \Delta T = DT - UT \quad \text{in Weltzeit UT:}$$

$$T_o = T_E - \Delta T, \quad \text{für den gilt} \quad x = 0 \quad \text{und} \quad Y = y_1 - x_1 y' / x'.$$

Der Ephemeriden-Stundenwinkel H_E ergibt sich wie bei der Sonnenfinsternis (siehe 4.Fortsetzung) für T_E in dynamischer Zeit mit der zugehörigen Ephemeriden-Sternzeit θ , bezogen auf den Ephemeriden-Meridian (letztere ist ja numerisch gleich der Sternzeit für T_o in Weltzeit, bezogen auf den Greenwicher Meridian) aus:

$$H_E = \theta - \alpha_* \quad \text{und schließlich}$$

$$H_o = H_E - 1,002\,738 \Delta T, \quad \text{der Greenwicher Stundenwinkel des Sterns zur Zeit } T_o.$$

Die Bessel'schen Elemente der Bedeckung lauten somit: T_o , H_o , Y , x' , y' , α_* , und δ_* .

Beispiele:

Im Referat „Berechnung von Sternbedeckungen“ sind die Bedeckungen von Aldebaran am 22.März 1999 und Regulus am 24.April 1999 behandelt; für die österreichischen Landeshauptstädte wurden dort auch die lokalen Daten ermittelt.

Literatur

The Astronomical Ephemeris 1979, London 1978 sowie Explanatory Supplement, London 1961, HM Stationery Office; Neuauflage 1992, Univ. Science Books, Mill Valley, CA, USA.

Referat: **Die Berechnung von Sonnenfinsternissen und der „Canon of Solar Eclipses, -2003 bis +2526“**

Im Referat „Die Geometrie astronomischer Finsternisse“ wurden die Bessel'schen Elemente von Sonnenfinsternissen und ihre Berechnung erläutert.

Im „Canon of Solar Eclipses, -2003 to +2526“ von H.Mucke und J.Meeus, Astronomisches Büro, 2.Auflage, Wien 1992, werden diese und zusätzliche Angaben geboten. In der Einleitung zu diesem Werk wird auch genau gezeigt, wie aus den Bessel'schen Elementen die Gesamt- und Lokaldaten jeder Sonnenfinsternis leidlich bequem berechnet werden können und deshalb wird sie hier fast zur Gänze samt Beispielen wiedergegeben; statt ET lies DT.

Eine weitere Erleichterung dieser Berechnung bringt der Personal Computer und die im Referat „Der Canon of Solar Eclipses, -2003 to +2526 in der Praxis“ beschriebene Diskette.

I. ERLÄUTERUNG DER ZAHLENGABEN DES CANONS

§ 1. Allgemeines

Der vorliegende Canon enthält die Elemente aller Sonnenfinsternisse, die zwischen -2003 Feb.27 und +2526 Okt.7 stattfinden. Insgesamt treten in diesem Zeitraum von 4530 Jahren 10774 Sonnenfinsternisse ein, von denen 6886 (63,9%) zentral sind. Das bedeutet ein Mittel von 237,8 Finsternissen/Jahrhundert, wie es in guter Übereinstimmung im vorangegangenen Canon [1] für den Zeitraum von +1898 bis +2510 mit 236.8 gefunden wurde.

Teil I des Werkes enthält allgemeine Daten sowie die Bessel'schen Elemente aller im genannten Bereich eintretenden Sonnenfinsternisse; Teil II bietet die zugehörigen Karten, für das Sichtbarkeitsgebiet jeder Finsternis eine eigene. Beide Teile wurden direkt vom Computerausdruck reproduziert, wodurch automatisch Druck- und Zeichenfehler ausgeschlossen sind.

§ 2. Lunation

Spalte 1 gibt die Lunationsnummer, wobei die Lunation Nr.0 dem Neumond von +1900 Jan.1 entspricht. Die Lunationsnummer nach E.W. Brown [2] ergibt sich, wenn man von der oberen Zahl in Spalte 1 die Zahl 284 subtrahiert.

§ 3. Saroszyklen (Saros)

Die Spalte 1 enthält auch die Nummer des Saroszyklus, zu dem diese Finsternis gehört. Sie sind identisch mit jenen, die G.van den Bergh [3] eingeführt hat, wurden aber in die Vergangenheit (negative Nummern) und in die Zukunft weitergeführt.

Finsternisse mit ungerader Sarosnummer finden im aufsteigenden, jene mit gerader Sarosnummer im absteigenden Knoten der Mondbahn statt.

Der Saroszyklus ist eine Periode, die 223 Lunationen oder 18 Jahre und rund 11 Tage enthält. Der Buchstabe b oder e nach der Sarosnummer bezeichnet den Beginn oder das Ende eines Saroszyklus.

1. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Sonnenfinsternissen und der Canon

Beispielsweise war die kleine partielle Finsternis +1971 Jul.22 die letzte des Saros Nr.116 oder war die Finsternis +1928 Jun.17 die erste des Saros Nr.155.

§ 4. Maximum der Finsternis (Calendar, Maximum ET)

Die erste Zeile der Spalten 2 und 3 gibt Datum und Uhrzeit des Termins, zu dem der Abstand der Achse des Mondschattenkegels von der Erdmitte sein Minimum erreicht. Sonnenfinsternisse treten ja nahe den Knoten der Mondbahn ein, wo die Mondbewegungsrichtung mit der Ekliptik einen Winkel von rund fünf Graden bildet. Deshalb - wofern die Finsternis nicht genau zentral ist - stimmt der Termin des Maximums der Finsternis weder mit jenem der wahren Konjunktion mit der Sonne in ekliptikaler Länge (Neumond), noch mit jenem in Rektaszension überein.

In Spalte 2 (Jahr, Monat, Tag) wird vor +1582 Oktober der Julianische und danach der Gregorianische Kalender verwendet. Die Jahre werden astronomisch, d.h. mit Jahr Null, gezählt.

Die Uhrzeit der geozentrischen Maximalphase der Finsternis findet sich in Spalte 3 und ist in Stunden, Minuten und Sekunden gegeben. Es wird die gleichförmig ablaufende Ephemeridenzeit (ET) verwendet, die durch Subtraktion der Korrektur ΔT aus Tafel I oder II (siehe auch § 12) in Weltzeit oder Greenwich Civil Time (UT) übergeführt wird. In fernerer Vergangenheit und Zukunft können die ΔT -Werte aus Tafel II um mehrere Minuten fehlerhaft sein, weil deren Fluktuationen zufolge der unregelmäßigen Erddrehung für jene Epochen unbekannt sind (p.LIV).

In der zweiten Zeile der Spalte 3 ist für das Maximum der Finsternis Julian Date, die Tagnummer in der Julianischen Periode, gegeben. Bekanntlich beginnen diese Julianischen Tage mit Mittag 12^h.

§ 5. Bemerkung zu den negativen Jahren

Wie schon bemerkt, werden im vorliegenden Werk die negativen Jahre (v.Chr.) astronomisch gezählt, d.h. das Jahr vor 1 n.Chr. heißt 0, und jenes vor 0 wird -1 genannt. Die übliche Praxis der Historiker nennt das Jahr vor 1 n.Chr. "1 v.Chr.". Für astronomische Rechnung muß also jede historisch gezählte Jahrnummer um 1 erniedrigt und mit negativem Zeichen versehen werden. Die astronomische Zählweise ist die arithmetisch einzig brauchbare, wie die folgenden Beispiele zeigen.

Beispiel 1

In der historischen Zählweise werden die Schaltjahre nicht mehr durch die Teilbarkeit der Jahreszahl durch 4 angezeigt. Solche sind vielmehr 1, 5, 9, 13 ... v.Chr. Ihnen entsprechen dagegen die Jahre 0, -4, -8, -12 ... in astronomischer Zählweise, die somit die Regel der Teilbarkeit durch 4 wahr.

Beispiel 2

Die Historiker geben als Todesdatum Julius Caesars den 15. März 44 v.Chr. an; Christus starb anfangs April des Jahres 30 n.Chr. - Welches Zeitintervall liegt dazwischen? Es umfaßt nicht $44 + 30 = 74$ Jahre. Die astronomische Zählung gibt die richtige Lösung: Caesar starb im Jahr -43 und man erhält algebraisch das richtige Intervall zu $30 - (-43) = 73$ Jahren.

2. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Sonnenfinsternissen und der Canon

§ 6. Art der Finsternis (Type)

In der zweiten Zeile der Spalte 2 wird die Art der Finsternis angegeben. Es werden die folgenden, bereits von Oppolzer [4] verwendeten Symbole benützt:

- P Partielle Finsternis
- R Zentrale, ringförmige Finsternis
- T Zentrale, totale Finsternis
- (R) Nichtzentrale, ringförmige Finsternis
- (T) Nichtzentrale, totale Finsternis
- RT Ringförmig-totale Finsternis: Eine zentrale Finsternis, total für ein Stück der Zentrallinie und ringförmig für deren Rest.

Bei einer zentralen Finsternis trifft die Achse des Mondschattenkegels die Erdoberfläche. Wenn eine Finsternis nicht zentral ist, liegt meist der Fall P, selten die Fälle (R) und (T) vor.

§ 7. Größtes Ausmaß der Finsternis bzw. deren Dauer

Außer bei (R)- und (T)-Finsternissen bietet die zweite Zeile der Spalte 2 auch noch eine der folgenden Angaben:

Bei partiellen Finsternissen wird das größte Ausmaß der Finsternis auf der Erdoberfläche in Einheiten des Sonnendurchmessers angegeben. Die Zahl ist demnach stets kleiner als 1 und wird auf drei Dezimalen angegeben.

Bei zentralen Finsternissen wird die Dauer der Totalität oder der Ringförmigkeit (Minuten und Sekunden) für den Termin der geozentrischen Maximalphase angegeben. Im Fall einer RT-Finsternis zeigt ein Sternchen * an, daß die Finsternis dort total ist.

Es ist wichtig anzumerken, daß diese angegebene Dauer für die Maximalphase sehr gut, aber nicht genau der Maximaldauer auf der Zentrallinie einer T- oder RT-Finsternis bzw., auf der Zentrallinie einer R-Finsternis, sehr gut der Minimal- oder Maximaldauer der Ringförmigkeit entspricht. Die Maximaldauer einer Totalität tritt immer nahe der Mitte des Verlaufs ein, und ebenso ist es bei vielen Ringförmigkeiten. Wenn jedoch die Ringförmigkeit kurz ist (weniger als etwa 2,3 Minuten), geht diese Dauer in der Nähe der Mitte des Verlaufs der Zentrallinie durch ein Minimum.

Beispiel 3

Partielle Finsternis, +1975 Mai 11. Größtes Ausmaß 0,864.

Beispiel 4

Ringförmige Finsternis, +1973 Dez. 24 (lange Dauer). Die Ringförmigkeit auf der Zentrallinie dauert

<i>am Beginn der Zentrallinie</i>	<i>7 Minuten 21 Sekunden</i>
<i>maximal nahe der Mitte</i>	<i>12 Minuten 02 Sekunden</i>
<i>am Ende der Zentrallinie</i>	<i>7 Minuten 23 Sekunden</i>

Beispiel 5

Ringförmige Finsternis, +1984 Mai 30 (kurze Dauer). Die Ringförmigkeit auf der Zentrallinie dauert

<i>am Beginn der Zentrallinie</i>	<i>65 Sekunden</i>
<i>minimal nahe der Mitte</i>	<i>11 Sekunden</i>
<i>am Ende der Zentrallinie</i>	<i>59 Sekunden</i>

Im letzten Fall entspricht die Minimaldauer von 11 Sekunden tat-

3. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Sonnenfinsternissen und der Canon

sächlich einer größeren Finsternis, weil an diesem Punkt der Zentrallinie der wahre Durchmesser des Mondes nur wenig kleiner als jener der Sonne ist.

In den dazwischen liegenden Fällen ändert sich die Dauer der Ringförmigkeit längs der Zentrallinie nicht sehr. Solche Finsternisse haben Ringförmigkeiten von rund 2,3 Minuten Dauer. Beispielsweise ist dies bei den Finsternissen +1951 Sep.1 und +2074 Jan.27 der Fall.

§ 8. Referenzstunde TO (TO ET)

Die erste Zeile der Spalte 4 enthält die Referenzstunde TO. Das ist die dem Maximum der Finsternis aus Spalte 3 nächstliegende volle Stunde Ephemeridenzeit.

§ 9. Gamma

Die zweite Zeile der Spalte 4 nennt die Größe γ (Gamma), den Minimalabstand der Achse des Mondschattenkegels von der Erdmitte in Einheiten des Äquatorradius der Erde. Dieser Abstand gehört zu dem in Spalte 3 genannten Termin und erhält positives oder negatives Zeichen, je nachdem die Achse des Schattenkegels nördlich oder südlich der Erdmitte vorbeigeht. Liegt γ zwischen +0,997 und -0,997, so ist die Finsternis zentral. Der Grenzwert 0,997 unterscheidet sich infolge der Erdabplattung von 1.

Der Wechsel im Wert von γ , der nach einem Saroszyklus eintritt, ist größer, wenn die Erde nahe ihrem Aphel steht (Juni-Juli), als wenn sie nahe ihrem Perihel steht (Dezember).

Beispiele

+1918 Jun. 8	$\gamma = +0,4656$	+1918 Dez. 3	$\gamma = -0,2386$
+1936 Jun.19	+0,5387	+1936 Dez.13	-0,2491
+1954 Jun.30	+0,6133	+1954 Dez.25	-0,2575
+1972 Jul.10	+0,6870	+1973 Jan. 4	-0,2642
+1990 Jul.22	+0,7594	+1991 Jan.15	-0,2725
+2008 Aug. 1	+0,8305	+2009 Jan.26	-0,2818

Bei den Mondfinsternissen ist die Sachlage ähnlich. Die Erklärung dafür findet man im Werk G.van den Bergh's [3].

§ 10. Bessel'sche Elemente (X0 bis TAN F1 und X1 bis TAN F2)

Die sieben letzten Spalten enthalten die Bessel'schen Elemente jeder Finsternis.

Die Bessel'schen Elemente beschreiben die geometrische Lage des Mondschattens mit Bezug auf die Erde. Die äußeren Tangenten an die Oberflächen von Sonne und Mond bilden den Kernschattenkegel, die inneren Tangenten den Halbschattenkegel. Die gemeinsame Achse der beiden Kegel ist die Schattenachse. Die geozentrische Normalebene auf die Schattenachse wird Fundamentalebene genannt und bildet die XY-Ebene eines Systems rechtwinkliger Koordinaten. Die X-Achse ist die Schnittlinie der Fundamentalebene mit der Ebene des Erdäquators und weist positiv nach Osten; die Y-Achse zeigt positiv nach Norden. X und Y sind die Koordinaten des Schnittpunktes der Schattenachse mit der Fundamentalebene, in Einheiten des Äquatorradius der Erde. Die Richtung der Schattenachse wird durch die Declination D und den Ephemeridenstundenwinkel M des Punktes an der

4. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Sonnenfinsternissen und der Canon

Himmelskugel festgelegt, auf den die Schattenachse weist.

Der Radius des Halbschattenkegels auf der Fundamentalebene wird mit L_1 bezeichnet. Der Radius des Kernschattenkegels heißt L_2 und wird bei einer ringförmigen Finsternis positiv, bei einer totalen negativ genommen. Die Winkel F_1 bzw. F_2 werden von den Erzeugenden des Halbschatten- bzw. Kernschattenkegels mit der Schattenachse gebildet.

Die tabellierten Größen X_0 , Y_0 , M_0 , D_0 , L_{10} und L_{20} sind die Werte von X , Y , M , D , L_1 und L_2 zur Referenzstunde T_0 . Ihre stündlichen Änderungen heißen X_1 , Y_1 , M_1 , D_1 , L_{11} und L_{21} .

Die Größen M und D sind in dezimal geteilten Graden ausgedrückt. Angemerkt sei, daß X_1 , M_1 und L_{11} stets positiv sind.

Die Werte $\text{TAN } F_1$ und $\text{TAN } F_2$, gegeben in der letzten Spalte, können während der ganzen Dauer der Finsternis als konstant betrachtet werden.

§ 11. Karten

Teil II des vorliegenden Werkes bietet für jede Finsternis ein kleines Abbild des Erdglobus (20,0 mm \emptyset) mit den Küstenlinien der Kontinente und der hauptsächlichsten Inseln. Es wird die der Sonne zum Termin der größten Phase der Finsternis zugewandte Hemisphäre der Erde gezeigt.

Die volle Linie stellt die Zentrallinie oder den Weg der Mitte des Mondschatens auf der Fundamentalebene dar. Für P-Finsternisse ist sie nicht eingezeichnet. Die strichlierten Linien sind die nördliche und/oder die südliche Grenzlinie der partiellen Verfinsternung.

Die kleinen Kreuze stellen den Nord- oder Südpol der Erde sowie die Schnittpunkte des Erdäquators mit dem Erdumriß und dem Zentralmeridian dar.

Am linken Rand des Erdumrisses geht die Sonne auf, am rechten unter und im Zentralmeridian ist wahrer Mittag. In der Scheibenmitte steht die Sonne im Zenit; ihre Höhe h steigt mit dem in mm gegen die Scheibenmitte hin gemessenen Abstand r des Ortes vom Erdumriß, $\cos h = 1 - r/10$.

1966 May 20 R

Nördliche Grenzlinie



Zentrallinie

Südliche Grenzlinie

In jeder dieser Zeichnungen wandern die Umrisse des Kern- sowie Halbschatens von links nach rechts, parallel zu den oder zu der Geraden. Infolge der Erddrehung bewegen sich die Punkte der Erdoberfläche ebenfalls, aber langsamer als der Mondschaten und in etwas verschiedener Richtung. Deshalb weicht die wahre Form der Zentrallinie und der Grenzlinien ein wenig von jener in den Zeichnungen ab. So kreuzte etwa in Wirklichkeit die Zentrallinie der ringförmigen Finsternis +1963 Jan. 25 Südafrika und Madagaskar; jene der totalen Finsternis +1988 Mär. 18 geht durch Zentralborneo;

5. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Sonnenfinsternissen und der Canon

die von +1988 Sep. 11 wird die südwestliche Ecke Australiens nicht berühren; jene von +2030 Jun. 1 wird Japan kreuzen und die von +2038 Jan. 5 geht nicht durch den Nordteil Südamerikas.

Deshalb ist es wichtig, sich vor Augen zu halten, daß die tatsächliche Lage der Zentrallinie oder einer Grenzlinie sich ein wenig von jener unterscheidet, die man auf den ersten Blick aus den Karten entnimmt. Diese Abweichungen sind in der Mitte unmerklich und nehmen allgemein gegen den linken und rechten Rand der Erdscheibe zu.

Obwohl diese Karten nur dazu bestimmt sind, eine grobe Vorstellung vom Sichtbarkeitsbereich und der Lage der Zentrallinie zu geben, vermitteln sie doch ein allgemeines Bild vom Ablauf der Finsternis und gestatten sogar, ihre maximale Größe G an einem gegebenen Ort rasch abzuschätzen. Man mißt dessen Normalabstand d von der nächstgelegenen Grenzlinie gegen die Zentrallinie hin in mm und mit $L10$ aus dem Tabellenteil ergibt sich $G = d / (10 \cdot L10)$ in Einheiten des Sonnendurchmessers.

Beispiel 6

Die Höhe der Sonne zum Zeitpunkt der geozentrischen größten Phase (Spalte 3) der ringförmigen Sonnenfinsternis +1966 Mai 20 für die Straße von Bab-al-Mandab ergibt sich mit $r = 8,1$ mm zu 79° .

Beispiel 7

Das größte Ausmaß der ringförmigen Sonnenfinsternis +1966 Mai 20 für Wien ergibt sich (siehe Karte) mit $d = 3,7$ mm und $L10 = 0,55064$ zu $0,7$. Die Rechnung liefert $0,67$.

Genaue Aussagen folgen natürlich mit den Bessel'schen Elementen.

II. PRAKTISCHE ANWENDUNG DER BESSEL'SCHEN ELEMENTE

UND ZAHLENBEISPIELE

§ 12. Zeitzählung

Im vorliegenden Werk wird Ephemeridenzeit (ET) verwendet.-

Die Ephemeridenzeit, wie sie in den großen astronomischen Jahrbüchern seit 1960 in Gebrauch steht, ist jenes gleichförmige Zeitmaß, das im Prinzip durch die Bahnbewegung der Planeten bestimmt wird - speziell durch jene der Erde, die in Newcomb's "Tables of the Sun" [5] repräsentiert wird. Demgegenüber wird Weltzeit (UT) von der Drehung der Erde abgeleitet und aus der täglichen Bewegung der Gestirne bestimmt, welche diese Drehung widerspiegelt. Infolge der Schwankungen in dieser Drehbewegung ist der Ablauf der Weltzeit kein streng gleichförmiger.

Außer einer ständigen Verlängerung des Tages zeigt die Erde unregelmäßige Schwankungen in ihrer Drehgeschwindigkeit. Diese sind unerwartet und unvorhersehbar und werden Massenverlagerungen im Erdinneren zugeschrieben. Infolgedessen ist die Weltzeit eine unregelmäßig veränderliche Größe und der Betrag $\Delta T = ET - UT$ muß durch Beobachtungen bestimmt werden. Die Werte für ΔT seit dem Jahr +1620 sind in Tabelle I gegeben und stammen aus dem Astronomical Almanac [6]. Für Jahre in fernerer Zeiten sind die Fluktuationen infolge der unregelmäßigen Drehung der Erde unbekannt und

6. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Sonnenfinsternissen und der Canon

ΔT kann nur genähert angegeben werden; mehrere Formeln wurden seit 1983 gegeben, stehen aber noch in Diskussion. Deshalb möge ΔT mit der klassischen Formel [7] in Zeitsekunden berechnet werden:

$$\Delta T = +24,349 + 72,318 T + 29,950 T^2$$

Sie beschreibt den durchschnittlichen Verlauf von ΔT in Abhängigkeit von der Zeit und vernachlässigt, wie klar ersichtlich, dessen unvorhersehbare Fluktuationen. In dieser Formel bedeutet T die Zeit, gemessen in Julianischen Jahrhunderten zu je 36525 Ephemeridentagen ab +1900 Jan. 0,5 ET = JD 2415020,0. Danach wurde Tabelle II berechnet (p. LIV).

Weil die Geschwindigkeit der Erddrehung langsam abnimmt, ist ET gegenwärtig um ΔT vor UT voraus; dieser Unterschied wird im Durchschnitt zukünftig größer und größer.

Infolge dieser Sachlage ist es klar, daß die Ermittlung verschiedener wichtiger Termine bei vergangenen und zukünftigen Sonnenfinsternissen mit hoher Genauigkeit nur in Ephemeridenzeit geschehen kann. Werden sie in Weltzeit ausgedrückt, müssen Unsicherheiten im Betrag vieler Sekunden, ja sogar Minuten, die Folge sein. Darüber hinaus hängen noch weitere Größen, wie das größte Ausmaß für einen gegebenen Ort, die Lage der Zentrallinie auf der Erdoberfläche, etc., vom Wert ΔT ab; auch sie können nur genähert berechnet werden, wenn ΔT unbekannt ist.

§ 13. Rechtwinkelige geozentrische Koordinaten eines Ortes

Die Ausdrücke $\rho \sin \varphi'$ und $\rho \cos \varphi'$, die bei der Berechnung von Finsternissen verwendet werden, können wie folgt berechnet werden:

$$\tan u = 0,996\ 647\ 19 \tan \varphi$$

$$\rho \sin \varphi' = 0,996\ 647\ 19 \sin u + \frac{\text{Seehöhe}}{6378140} \sin \varphi$$

$$\rho \cos \varphi' = \cos u + \frac{\text{Seehöhe}}{6378140} \cos \varphi$$

worin φ die geographische Breite bedeutet. Die Seehöhe wird in Metern ausgedrückt. Die Konstante 0,996 647 19 folgt aus $1 - 1/298,257$, worin der zweite Anteil die Erdabplattung ist. φ' bezeichnet die geozentrische Breite des Ortes, und ρ dessen Abstand von der Erdmitte in Äquatorradien der Erde. $\rho \sin \varphi'$ ist positiv in der Nord- und negativ in der Südhemisphäre, während $\rho \cos \varphi'$ immer positiv ist.

Beispiel 8

Man berechne die Ausdrücke $\rho \sin \varphi'$ und $\rho \cos \varphi'$ für die Wiener Urania-Sternwarte, Österreich: $\varphi = +48^\circ 12' 43''$, Seehöhe 193 m.

Es ergibt sich $u = 48,116\ 318^\circ$, $\rho \sin \varphi' = +0,742\ 028$, $\rho \cos \varphi' = +0,667\ 641$.

7. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Sonnenfinsternissen und der Canon

A. BESTIMMUNG DES SICHTBARKEITSGEBIETES

1. ZENTRALLINIE (Zentralität der Finsternis)

§ 14. Kurve der Zentralität (Erste Methode: Für gegebene Termine)

Die Punkte der Zentrallinie, von denen aus man die Mitte der Mond-scheibe genau über die Mitte der Sonnenscheibe ziehen sieht, kön-nen mit folgenden Formeln berechnet werden. Sie wurden aus jenen, die Comrie [8] angegeben hat, abgeleitet.

Für einen gewählten Zeitpunkt (ET), der sich um t Stunden von der Referenzstunde T_0 unterscheidet, werden die Bessel'schen Elemente X , Y , M , D , und L_2 wie folgt berechnet:

$$\begin{aligned} X &= X_0 + X_1 t \\ Y &= Y_0 + Y_1 t \\ M &= M_0 + M_1 t \\ D &= D_0 + D_1 t \\ L_2 &= L_{20} + L_{21} t \end{aligned} \tag{1}$$

Weiter wird berechnet:

$$\omega = 1 / \sqrt{1 - 0,006\ 694\ 385 \cos^2 D}$$

$$p = M_1 / 57,295\ 779\ 5$$

$$b = Y_1 - p X \sin D$$

$$c = X_1 + p Y \sin D$$

$$y_1 = \omega Y$$

$$b_1 = \omega \sin D$$

$$b_2 = 0,996\ 647\ 19 \omega \cos D$$

$$B = \sqrt{1 - X^2 - y_1^2}$$

Wenn B nicht existiert, gibt es keine Zentralität für den gewähl-ten Zeitpunkt. Weiters ergibt sich φ_1 und der Stundenwinkel H aus

$$\cos \varphi_1 \sin H = X$$

$$\cos \varphi_1 \cos H = B b_2 - y_1 b_1$$

$$\sin \varphi_1 = B b_1 + y_1 b_2$$

Die geographische Breite φ und die geographische Länge λ werden erhalten aus

$$\tan \varphi = 1,003\ 364\ 1 \tan \varphi_1$$

$$\lambda = M - H - 1,002\ 738 \Delta T$$

worin ΔT wieder die Differenz $ET-UT$ ist. Wenn wir uns daran erin-nern, daß 1 Zeitsekunde 15 Bogensekunden oder 0,004 166 7 Graden entspricht, ergibt sich in Graden

$$\lambda = M - H - 0,004\ 178\ 1 \Delta T$$

worin M und H in Graden, ΔT in Zeitsekunden ausgedrückt sind. Hier, wie überall in diesem Werk, werden die geographischen Längen vom Meridian von Greenwich positiv nach Westen und negativ nach Osten gezählt.

Zur Berechnung der Dauer der Totalität oder der Ringförmigkeit an diesem Ort wenden wir die folgenden Formeln an:

8. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Sonnenfinsternissen und der Canon

$$L2' = L2 - B \tan F2$$

$$a = c - p B \cos D$$

$$n = \sqrt{a^2 + b^2} > 0$$

$$\text{Dauer} = 7200 L2' / n \quad \text{Zeitsekunden}$$

Die Finsternis ist an diesem Ort total, wenn $L2'$ negativ, und ringförmig, wenn $L2'$ positiv ist.

Die Höhe h der Sonne zum Zeitpunkt der Zentralität an diesem Ort findet man mit der üblichen Formel

$$\sin h = \sin D \sin \varphi + \cos D \cos \varphi \cos H$$

Die Breite der Totalitäts- oder Ringförmigkeitszone an diesem Ort kann man wie folgt finden:

$$K^2 = B^2 + (X a + Y b)^2 / n^2$$

$$\text{Breite} = 12756 L2' / K \quad \text{Kilometer}$$

Diese Formel ist nicht streng, aber außer bei niedrigen Sonnenhöhen eine sehr gute Näherung. Die Breite wird senkrecht auf die Zugrichtung des Schattens auf der Erdoberfläche, mit anderen Worten, auf der durch diesen Ort gehenden Normalen auf die Zentrallinie gemessen.

Schließlich wird das Verhältnis A des wahren Monddurchmessers zum wahren Sonnendurchmesser wie folgt dargestellt:

$$A = (L1' - L2') / (L1' + L2'), \quad \text{worin}$$

$$L1' = L10 + L11 t - B \tan F1$$

Beispiel 9

Totale Sonnenfinsternis +1963 Jul. 20. Wir berechnen die Daten für den zu 21^h44^m ET gehörenden Punkt auf der Zentrallinie.

Die Bessel'schen Elemente dieser Finsternis lauten in unserem Canon:

$$T0 = 21^h \quad D0 = +20,679$$

$$D1 = -0,0077$$

$$X0 = +0,28269 \quad L10 = +0,54361$$

$$X1 = +0,55048 \quad L11 = +0,00011$$

$$Y0 = +0,63232 \quad L20 = -0,00250$$

$$Y1 = -0,05439 \quad L21 = +0,00011$$

$$M0 = 133,438 \quad \tan F1 = 0,004601$$

$$M1 = +15,0008 \quad \tan F2 = 0,004578$$

Aus Tabelle I entnehmen wir $\Delta T = +35$ Zeitsekunden. Der gewählte Zeitpunkt 21^h44^m ET liegt 44^m später als die Referenzstunde $T0$, somit ist $t = +44/60 = +0,733 \ 333 \ 3$. Mit obigen Formeln finden wir der Reihe nach folgende Größen:

$$\begin{array}{lll} X = +0,68638 & L2 = -0,00242 & c = +0,60524 \\ Y = +0,59243 & \omega = 1,0029430 & y1 = +0,59417 \\ M = 144,439 & p = +0,261813 & b1 = +0,354073 \\ D = +20,673 & b = -0,11783 & b2 = +0,935218 \end{array}$$

9. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Sonnenfinsternissen und der Canon

$B = +0,419338$	$n = +0,51615$
$\cos \varphi_1 \cos H = +0,181793$	$Dauer = -60,5$
$\sin \varphi_1 = +0,704155$	$\sin h = +0,41882$
$\varphi_1 = +44,7613$	$h = +24,8$
$\varphi = +44,858$	$K^2 = 0,459945$
$H = +75,165$	$Breite = -82$
$\lambda = +69,128$	$L1' = +0,54176$
$L2' = -0,00434$	$A = 1,016$
$a = +0,50252$	

Es ergibt sich somit:

Geographische Länge	= $+69,128^\circ$ (also West)
Geographische Breite	= $+44,858^\circ$ (also Nord)
Dauer der Totalität	= 60,5 Zeitsekunden
Sonnenhöhe	= $+24,8^\circ$
Breite der Totalitätszone	= 82 km
Durchmesser Verhältnis Mond/Sonne	= 1,016

§ 15. Äußerste Punkte der Zentrallinie

Wie bereits bemerkt, existiert die Größe B nicht, wenn es für den gewählten Zeitpunkt keine Zentralität gibt. Dies tritt entweder ein, wenn die Finsternis nicht zentral ist, oder wenn der Moment außerhalb der Zeitgrenzen der Zentralität gewählt wurde.

Im Fall einer zentralen Finsternis können die äußersten Zeitpunkte, zwischen denen es Lösungen gibt, d.h. Anfang und Ende der Zentralität auf der Erdoberfläche, wie folgt gefunden werden:

$$\omega = 1 / \sqrt{1 - 0,006\ 694\ 385 \cos^2 D_0}$$

$$u = X_0 \quad a = X_1$$

$$v = \omega Y_0 \quad b = \omega Y_1$$

$$n = \sqrt{a^2 + b^2} > 0$$

$$S = (a v - u b) / n$$

$$\tau = - \frac{u a + v b}{n^2} \pm \frac{\sqrt{1 - S^2}}{n}$$

Letzterer Ausdruck gibt zwei Werte, τ_1 und τ_2 , ausgedrückt in Stunden und ihren Dezimalen. Die gewünschten äußersten Zeitpunkte sind dann $T_0 + \tau_1$ und $T_0 + \tau_2$.

Beispiel 10

Totale Sonnenfinsternis +1963 Jul. 20. Wie in Beispiel 9 haben wir:

$T_0 = 21^h$	$Y_0 = +0,63232$
$X_0 = +0,28269 = u$	$Y_1 = -0,05439$
$X_1 = +0,55048 = a$	$D_0 = +20,679$

und wir finden

$\omega = 1,0029427$	$n^2 = 0,306004$
$v = +0,63418$	$n = 0,55318$
$b = -0,05455$	$S = +0,65896$

$$\tau = -0,39549 \mp 1,35973 \text{ und weiter}$$

$$\tau_1 = -1,75522 \text{ beziehungsweise } \tau_2 = +0,96424.$$

10. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Sonnenfinsternissen und der Canon

Die gewünschten extremalen Zeitpunkte sind daher:

$$\begin{aligned} \text{Anfang der Zentralität: } & 21 - 1,75522 = 19,24478^h = 19^h 14,7^m \text{ ET} \\ \text{Ende der Zentralität: } & 21 + 0,96424 = 21,96424^h = 21^h 57,9^m \text{ ET} \end{aligned}$$

§ 16. Kurve der Zentralität (Zweite Methode: Für gegebene Längen)

Vielleicht wird vorgezogen, die Punkte der Zentrallinie anstatt für vorgegebene Zeitpunkte für vorgegebene geographische Längen zu berechnen. Werden volle Längengrade gewählt, können die Punkte leichter als für gegebene Termine in eine Karte eingezeichnet werden.

Für die vorgegebene geographische Länge λ soll die zugehörige geographische Breite φ des Ortes auf der Zentrallinie, der dortige Zeitpunkt der Zentralität, etc. berechnet werden.

Wieder soll sich der gewählte Ausgangszeitpunkt (ET) um t Stunden von der Referenzstunde T_0 unterscheiden. Wir beginnen mit einem beliebigen Zeitpunkt nahe der Referenzstunde und mit einer beliebigen geographischen Breite φ . Eine gute Wahl ist $t = \varphi = 0$. Für diesen zu t gehörenden Zeitpunkt werden X , Y , M und D mit Formel (1) ermittelt. Mit $\Delta T = ET - UT$ in Zeitsekunden finden wir den Stundenwinkel H in Graden aus:

$$H = M - \lambda - 0,004\ 178\ 1\ \Delta T$$

Für die angenommene Breite φ werden die Größen $\rho \sin \varphi'$ und $\rho \cos \varphi'$ mit der Seehöhe = 0 nach § 13 berechnet. Wir finden:

$$\xi = \rho \cos \varphi' \sin H$$

$$\eta = \rho \sin \varphi' \cos D - \rho \cos \varphi' \cos H \sin D$$

$$\xi' = 0,017\ 453\ 3\ M\ \rho \cos \varphi' \cos H$$

$$\eta' = 0,017\ 453\ 3\ M\ \xi \sin D$$

$$u = X - \xi \qquad a = X_1 - \xi'$$

$$v = Y - \eta \qquad b = Y_1 - \eta'$$

$$n^2 = a^2 + b^2 \qquad (n > 0)$$

Die Korrektur τ für t , in Stunden, ergibt sich zu:

$$\tau = - \frac{u a + v b}{n^2}$$

Die Korrektur $\Delta \varphi$ für φ , in Graden, finden wir mit W und Q :

$$W = \frac{v a - u b}{n}$$

$$Q = \frac{b \sin H \rho \sin \varphi' + a (\cos H \sin D \rho \sin \varphi' + \cos D \rho \cos \varphi')}{57,295\ 8\ n}$$

$$\Delta \varphi = + W / Q \qquad (2)$$

Mithin ergibt sich der Zeitpunkt der Zentralität zu $T_0 + t + \tau$ und die geographische Breite zu $\varphi + \Delta \varphi$. Nun wird diese Rechnung für einen neuen Termin und eine neue Breite wiederholt, so oft, bis τ und $\Delta \varphi$ beide sehr klein, etwa kleiner als $0,0001^\circ$ und $0,001^h$

11. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Sonnenfinsternissen und der Canon

geworden sind.

Nun sind die richtige geographische Breite und der Zeitpunkt der Zentralität zur gegebenen geographischen Länge gefunden worden. Die Dauer der Totalität oder Ringförmigkeit, die Sonnenhöhe, etc., an diesem Ort können nach § 14 ermittelt werden.

Beispiel 11

Totale Sonnenfinsternis +1963 Jul. 20. Wir wollen den Zentrallinienpunkt für die Länge $+69^\circ$ berechnen. Wir nehmen $\Delta T = +35$ Zeitsekunden und beginnen mit $t = 0^h$, $\varphi = 0^\circ$. Unter Verwendung der Bessel'schen Elemente (siehe Beispiel 9) finden wir der Reihe nach:

$X = +0,28269$	$u = -0,61833$
$Y = +0,63232$	$v = +0,78550$
$M = 133,438$	$a = +0,43691$
$D = +20,679$	$b = -0,13769$
$H = +64,292$	$n^2 = 0,209849$
$\rho \sin \varphi' = 0,00000$	$n = +0,45809$
$\rho \cos \varphi' = +1,00000$	$\tau = +1,80277$
$\xi = +0,90102$	$W = +0,56333$
$\eta = -0,15318$	$Q = 0,015574$
$\xi' = +0,11357$	$\Delta\varphi = +36,171$
$\eta' = +0,08330$	

Somit erhalten wir:

$$t = 0 + 1,80277 = +1,80277^h$$

$$\varphi = 0 + 36,171 = +36,171^\circ$$

Wir wiederholen die Rechnung mit diesen Werten und erhalten:

$$\tau = -0,80647 \quad \text{woraus folgt} \quad t = +0,99630$$

$$\Delta\varphi = +8,103 \quad \varphi = +44,274$$

Weitere Iterationen ergeben nach und nach:

$t = +0,75283$	$\varphi = +44,779$
$+0,73607$	$+44,7943$
$+0,73563$	$+44,7945$
$+0,73563$	$+44,7945$

Somit wurde $t = +0,73563$ gefunden und die Zentralität tritt ein:

$$T_0 + t = 21,73563 = 21^h 44^m 08^s \text{ ET} = 21^h 43^m 33^s \text{ UT.}$$

Die geographische Breite ergibt sich zu $+44,7945^\circ = +44^\circ 47,7'$.

Um die Dauer, etc., zu berechnen, verwenden wir die folgenden Werte aus der letzten Iteration:

$D = 20,673$	$a = +0,50334$
$X = +0,68764$	$b = -0,11795$
$Y = +0,59231$	$n^2 = 0,267262$
$H = 75,327$	$n = +0,51697$

Mit den Formeln aus § 14 finden wir:

$\omega = 1,0029430$	Dauer = $-60,3$
$y_1 = +0,59405$	$\sin h = +0,41691$
$B^2 = 0,174256$	$h = +24,6$
$B = +0,41744$	$K^2 = 0,459804$
$L_2 = -0,00242$	Breite = -81
$L_2' = -0,00433$	

12. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Sonnenfinsternissen und der Canon

Die Ergebnisse für diesen Punkt der Zentrallinie lauten somit:

Geographische Länge (vorgegeben)	=	+69° (also West)
Geographische Breite	=	+44°47,7' (also Nord)
UT	=	21 ^h 43 ^m 33 ^s
Dauer der Totalität	=	60,3 Zeitsekunden
Sonnenhöhe	=	+24,6°
Breite der Totalitätszone	=	81 km

§ 17. Anmerkungen

1. Bekanntlich steht sowohl am Anfang wie am Ende der Zentrallinie die Sonne im Horizont. Ist daher die Sonnenhöhe für eine gegebene geographische Länge zum Zeitpunkt der Zentralität negativ, so ist die Zentralität dort nicht sichtbar und die Zentrallinie besteht in diesem Punkt nicht.

Zum Beispiel ist dies bei der totalen Sonnenfinsternis +1963 Jul. 20 für die Längen -120° und +30° der Fall.

2. Bei Finsternissen, deren Zentrallinien die Polargegenden kreuzen, kann es Schwierigkeiten geben. Für gewisse Längen besteht keine Zentrallinie, während es für andere Längen zwei Punkte gibt, an denen Zentralität besteht.

Zum Beispiel gibt es bei der totalen Sonnenfinsternis +1968 Sep. 22 bei der Länge -30° keine Zentrallinie, während es am Meridian der Länge -70° zwei Punkte mit Zentralität gibt: Einen bei der Breite +74°, 10^h49^m ET, und einen zweiten bei der Breite +48°, 11^h37^m ET.

In einem Computerprogramm kann die erste Schwierigkeit folgendermaßen behoben werden: Wenn nach 20 Iterationsschritten die Korrektion $\Delta\varphi$ im Absolutbetrag immer noch größer als, sagen wir, 0,0001° ist, soll die Iteration abgebrochen werden und "KEINE GRENZE" ausgedruckt werden.

Bestehen für eine gegebene Länge zwei Punkte der Zentrallinie, so wird bei der in § 16 beschriebenen Methode der Iterationsbeginn mit $\varphi = 0^\circ$ nur einen der beiden liefern. Um den anderen Punkt zu erhalten, startet man die Iteration von einem Punkt mit viel höherer nördlicher oder südlicher Breite, beispielsweise von $\varphi = +80^\circ$.

§ 18. Zentralität zu Mittag (oder Mitternacht) wahrer Ortszeit

Der Ort, an dem Zentralität zu Mittag (oder Mitternacht) wahrer Ortszeit eintritt, ist jener Punkt der Zentrallinie, zu dem der Termin der geozentrischen Konjunktion von Sonne und Mond in Rektaszension gehört. Seine Koordinaten können ganz so wie jene anderer Zentrallinienpunkte berechnet werden, sobald der Zeitpunkt der Konjunktion bekannt ist. Dieser kann aus der Tatsache ermittelt werden, daß in diesem Augenblick $X = 0$ vorliegt. Wir haben dann $t = -X_0 / X_1$. Das führt zu beträchtlichen Vereinfachungen der Formeln aus § 14:

$$\begin{aligned}\sin q &= \omega Y \\ \sin d_1 &= \omega \sin D \\ \varphi_1 &= q + d_1 \\ \tan \varphi &= 1,003\ 364\ 1 \tan \varphi_1 \\ \lambda &= M - 0,004\ 178\ 1 \Delta T\end{aligned}$$

13. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Sonnenfinsternissen und der Canon

In ihnen sind Y , D , und M für den zu $t = -X_0 / X_1$ gehörigen Zeitpunkt zu nehmen, und ΔT ist in Zeitsekunden auszudrücken.

Sollte $q + d_1$ größer als $+90^\circ$ ausfallen, ist die dritte Formel im vorstehenden Formelsatz durch $\varphi_1 = 180^\circ - q - d_1$ zu ersetzen. Ähnlich wäre, sollte $q + d_1$ kleiner als -90° ausfallen, $\varphi_1 = -(180^\circ + q + d_1)$ zu schreiben.

In solchen Fällen tritt Zentralität in den Polarregionen bei der unteren Kulmination der Sonne ein, also zu Mitternacht wahrer Ortszeit; die Länge ist dann $\lambda = M \pm 180^\circ - 0,004\ 178\ 1\ \Delta T$.

Beispielsweise ist dies der Fall bei den ringförmigen Sonnenfinsternissen +1954 Jan.5 und +1972 Jan.16.

Es kann vorkommen, daß es keine Zentralität zu Mittag (oder Mitternacht) wahrer Ortszeit gibt, obwohl die Finsternis zentral ist. Solche Fälle können nur eintreten, wenn die Größe γ , ihrem absoluten Betrag nach, zwischen 0,874 und 0,997 liegt. Dann beginnt und endet die Zentrallinie jeweils bei Sonnenauf- oder jeweils bei Sonnenuntergang.

Zum Beispiel tritt dies bei den totalen Sonnenfinsternissen +1968 Sep.22 und +1985 Nov.12 ein.

Beispiel 12

Totale Sonnenfinsternis +1963 Jul.20. Wann und wo tritt Zentralität zu Mittag (oder Mitternacht) wahrer Ortszeit ein?

$X_0 = +0,28269$ und $X_1 = +0,55048$. Somit ist $X_0 = 0$ für $t = -0,51353$ und für den zugehörigen Zeitpunkt finden wir:

$Y = +0,66025$	$d_1 = +20,7467$
$M = 125,735$	$\varphi_1 = +62,2140$
$D = +20,683$	$\varphi = +62,293^\circ = +62^\circ 17,6'$
$\omega = 1,0029426$	$\lambda = +125,589 = +125^\circ 35,3'$ (West)
$q = +41,4673$	$UT = 20^h 28^m 36^s$

2. ZONE DER TOTALITÄT ODER RINGFÖRMIGKEIT (Nord- und Südgrenze)

§ 19. Nord- und Südgrenze der Totalitäts- oder Ringförmigkeitszone

Diese Grenzlinien können für jede gegebene geographische Länge mit einer Methode berechnet werden, die jener aus § 16 ähnlich ist.

In die Iterationen für X , Y , M , und D muß auch der Wert L_2 einbezogen werden:

$$L_2 = L_{20} + L_{21} t$$

Außer ξ und η müssen noch berechnet werden:

$$\zeta = \rho \sin \varphi' \sin D + \rho \cos \varphi' \cos D \cos H$$

$$L_2' = L_2 - \zeta \tan F_2$$

Die Korrektur der angenommenen Breite wird anstatt durch Formel (2) nun gegeben durch:

$$\Delta \varphi = + \frac{W + i |L_2'|}{Q}$$

worin $i = +1$ für die nördliche, und $i = -1$ für die südliche Grenze zu setzen ist.

14. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Sonnenfinsternissen und der Canon

Beispiel 13

Totale Sonnenfinsternis +1963 Jul. 20. Wir wollen den Punkt auf der Nordgrenze der Totalität berechnen, dessen geographische Länge $+69^\circ$ beträgt; für die Differenz ET-UT nehmen wir wieder $\Delta T = +35$ Zeitsekunden.

Natürlich können wir als Startwerte $t = +0,73563$ und $\varphi = +44,7945$ verwenden, die wir für die Zentrallinie an dieser Länge in Beispiel 11 gefunden haben. Wir können aber auch nochmals $t = 0h$ und $\varphi = 0^\circ$ als Startwerte benutzen.

Mit der ersten Iteration finden wir die gleichen Werte für die Hilfsgrößen wie in Beispiel 11 und darüber hinaus folgende:

$$\begin{array}{ll} L2 = -0,00250 & L2' = -0,00436 \\ \zeta = +0,40584 & i = +1 \end{array}$$

Damit bestimmen wir:

$$\Delta\varphi = \frac{+0,56333 + 0,00436}{+0,015574} = +36,451$$

und die neue Zeit und Breite sind:

$$\begin{array}{l} t = 0 + 1,80277 = +1,80277h \\ \varphi = 0 + 36,451 = +36,451^\circ \end{array}$$

Wir wiederholen die Rechnung für diese neuen Werte und erhalten:

$$\begin{array}{ll} \tau = -0,81302 & \text{woraus } t = +0,98975 \\ \Delta\varphi = +8,153 & \text{woraus } \varphi = +44,604 \end{array}$$

Weitere Iterationen ergeben nach und nach:

$$\begin{array}{ll} t = +0,74370 & \varphi = +45,207 \\ & +45,2447 \\ & +45,2469 \\ & +45,2470 \\ & +45,2470 \end{array}$$

Somit erhalten wir $t = +0,72295$, und der Zeitpunkt der größten Verfinsternung lautet:

$$T0 + t = 21,72295^h = 21^h 43^m 23^s \text{ ET} = 21^h 42^m 48^s \text{ UT.}$$

Die geographische Breite beträgt $+45,2470^\circ = +45^\circ 14,8'$.

In ähnlicher Weise erhalten wir den südlichen Grenzpunkt zur Länge $+69^\circ$ und setzen $i = -1$. Hier lauten die Ergebnisse:

$$t = +0,74808, \text{ Zeitpunkt } 21^h 44^m 18^s \text{ UT und Breite } +44^\circ 20,9'.$$

In bestimmten, seltenen Fällen besteht, obwohl die Finsternis zentral ist, keine nördliche oder südliche Grenze der Totalitäts- oder Ringförmigkeitszone. Solche Fälle können nur eintreten, wenn $|y|$ zwischen 0,9680 und 0,9974 liegt. Siehe auch § 21.

Beispielsweise kommt dies bei den ringförmigen Sonnenfinsternissen +2003 Mai 31 und +2044 Feb. 28 vor.

3. SICHTBARKEITSGEBIET DER PARTIELLEN VERFINSTERUNG

§ 20. Nord- und Südgrenze des Partialitätsgebietes

Diese Grenzlinien können mit dem in § 19 erklärten Iterationsverfahren berechnet werden, das dazu folgendermaßen abzuändern ist: Anstelle von L_2 und L_2' wird berechnet:

$$L_1 = L_{10} + L_{11} t$$

$$L_1' = L_1 - \zeta \tan F_1$$

und die Korrektur der angenommenen geographischen Breite ist dann:

$$\Delta \varphi = + \frac{W + i | L_1' |}{Q}$$

Darin ist wieder $i = +1$ für die nördliche und $i = -1$ für die südliche Grenze zu verwenden.

Angemerkt sei, daß viele Finsternisse nur entweder eine nördliche oder südliche Grenze der Partialität haben; die andere Grenze wird in solchen Fällen jeweils durch die Kurve "Sonne im Horizont" ersetzt (siehe § 21).

Ein Blick in den Kartenteil dieses Werkes zeigt, daß etwa die totale Sonnenfinsternis +1973 Jun. 30 beide, die totale Sonnenfinsternis +1974 Jun. 20 nur eine nördliche Grenze ihres Partialitätsgebietes hat.

Beispiel 14

Totale Sonnenfinsternis +1963 Jul. 20. Es ist der südliche Grenzpunkt der partiellen Sichtbarkeit für die geographische Länge $+69^\circ$ zu berechnen.

Wir gehen wie in Beispiel 13 vor, berechnen aber jetzt anstelle L_2 und L_2' die Größen L_1 und L_1' . Beginnend mit $t = 0$ und $\varphi = 0$, erhalten wir nach einigen Iterationen:

$$t = +1,55894, \text{ woraus } 22^{\text{h}}32^{\text{m}}57^{\text{s}} \text{ UT folgt.}$$

$$\varphi = +2,2992 = +2^\circ 18,0'.$$

Versuchen wir jetzt, den nördlichen Grenzpunkt der partiellen Sichtbarkeit für die Länge $+69^\circ$ zu berechnen, erhalten wir mit den Startwerten $t = 0$ und $\varphi = 0$ folgende Werte:

$\Delta \varphi = +70,957$	$\varphi = +70,957$
$+127,859$	$+198,816$
$+58,945$	$+257,761$
$+200,431$	$+458,192$
$+1659,487$	$+2117,679$

Offensichtlich konvergieren diese Ergebnisse nicht. Für diese Finsternis gibt es keine nördliche Grenzkurve - eine Kurve, auf der die Größe Null vorliegt. Diese Grenze wird durch die Kurve "Sonne im Horizont" (siehe § 21) ersetzt.

Solche Schwierigkeiten können wir, wie in § 17, durch die Anweisung im Computerprogramm vermeiden, die Iteration nach, sagen wir 20 Schritten, abubrechen.

§ 21. Kurven gleicher Größe der Finsternis

Die Bestimmung der nördlichen oder südlichen Kurve, auf der die Finsternis die vorgegebene Größe G besitzt, kann ebenfalls durch die in § 19 beschriebene Iterationsmethode erfolgen. Diesmal müssen jedoch sowohl L_1 und L_2 , L_1' und L_2' berechnet werden und die Korrektur der angenommenen geographischen Breite ist dann:

$$\Delta\varphi = + \frac{W + i | E |}{Q} \quad \text{worin} \quad (3)$$

$$E = L_1' - G (L_1' + L_2')$$

G bedeutet die vorgegebene Größe der Finsternis in Einheiten des Sonnendurchmessers, und für die nördlich der Zentrallinie gelegene Kurve setzen wir $i = +1$, für jene südlich der Zentrallinie gelegene Kurve $i = -1$.

Tatsächlich können wir einem Computerprogramm die in § 16, 19, 20 und 21 für $\Delta\varphi$ angegebenen Formeln allesamt durch die eine Formel (3) ersetzen, müssen aber dann für i und G jeweils folgende Werte verwenden:

Art der Kurve	i	G
Zentrallinie	0	belanglos
Nordgrenze der Totalität oder Ringförmigkeit	+1	+1
Südgrenze der Totalität oder Ringförmigkeit	-1	+1
Nordgrenze der Partialität	+1	0
Südgrenze der Partialität	-1	0
Nördliche Kurve gleicher Größe	+1	gegebenes G
Südliche Kurve gleicher Größe	-1	gegebenes G

Die Anfangs- und Endpunkte aller dieser Kurven bilden die Kurven "Sonne im Horizont" und können aus dem Umstand ermittelt werden, daß dort die Höhe der Sonne Null ist.

B. ÖRTLICHER VERLAUF§ 22. Grundgrößen für den örtlichen Verlauf einer Sonnenfinsternis

Die Methode zur Berechnung des örtlichen Verlaufs einer Sonnenfinsternis aus den Bessel'schen Elementen beruht auf der Tatsache, daß bei Anfang und Ende der Finsternis der Abstand des Beobachters von der Schattenachse dem Halbschattenradius am Beobachtungsort gleich ist. Für Anfang und Ende der Totalität oder Ringförmigkeit muß dieser Abstand dem Radius des Kernschattens an diesem Ort gleich sein.

Zunächst werden die geozentrischen Koordinaten $\rho \sin \varphi'$ und $\rho \cos \varphi'$ des Beobachters nach den Formeln aus § 13 berechnet. Dann werden für einen gewählten Zeitpunkt, der sich um t Stunden von der Referenzstunde T_0 unterscheidet, die Werte X , Y , M , D , L_1 und L_2 berechnet nach:

$$\begin{aligned} X &= X_0 + X_1 t & D &= D_0 + D_1 t \\ Y &= Y_0 + Y_1 t & L_1 &= L_{10} + L_{11} t \\ M &= M_0 + M_1 t & L_2 &= L_{20} + L_{21} t \end{aligned}$$

17. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Sonnenfinsternissen und der Canon

Weiters wird der Stundenwinkel H des Beobachters und seine auf die Fundamentalebene bezogenen Koordinaten ξ, η, ζ nach folgenden Formeln berechnet, in denen $\Delta T = ET - UT$ in Zeitsekunden, und λ die geographische Länge des Beobachters in Graden, positiv von Greenwich nach Westen, bedeutet:

$$H = M - \lambda - 0,004\ 178\ 1\ \Delta T$$

$$\xi = \rho \cos \varphi' \sin H$$

$$\eta = \rho \sin \varphi' \cos D - \rho \cos \varphi' \cos H \sin D$$

$$\zeta = \rho \sin \varphi' \sin D + \rho \cos \varphi' \cos H \cos D$$

Die stündlichen Änderungen von ξ, η sind:

$$\xi' = 0,017\ 453\ 3\ M1\ \rho \cos \varphi' \cos H$$

$$\eta' = 0,017\ 453\ 3\ M1\ \xi \sin D$$

ζ' wird nicht gebraucht.

Als nächstes wird berechnet:

$$u = X - \xi \quad L1' = L1 - \zeta \tan F1$$

$$v = Y - \eta \quad L2' = L2 - \zeta \tan F2$$

$$u' = X1 - \xi'$$

$$v' = Y1 - \eta' \quad n^2 = u'^2 + v'^2 \quad (n > 0)$$

§ 23. Kontakte (Zeitpunkte, Positionswinkel)

Um die Korrektur τ für t zum Zeitpunkt des Anfangs bzw. Endes der Finsternis zu bestimmen, muß zuerst der Winkel ψ aus folgender Gleichung bestimmt werden:

$$\sin \psi = \frac{u v' - u' v}{n L'} \quad L' = L1' \text{ bzw. } L' = L2'$$

worin $L1'$ für die äußeren Kontakte (Anfang oder Ende der partiellen Finsternis), und $L2'$ für die inneren Kontakte (Anfang oder Ende der Totalität oder Ringförmigkeit) verwendet wird. Die Doppeldeutigkeit des Quadranten von ψ wird behoben durch die Bedingung:

$\cos \psi < 0$ für den Anfang der Partialität
den Anfang der Ringförmigkeit
das Ende der Totalität

$\cos \psi > 0$ für das Ende der Partialität
das Ende der Ringförmigkeit
den Anfang der Totalität.

Die Korrektur τ für das gewählte t wird in Stunden erhalten aus:

$$\tau = \frac{L' \cos \psi}{n} - \frac{u u' + v v'}{n^2} \quad L' = L1' \text{ bzw. } L' = L2'$$

Um höhere Genauigkeit zu erzielen, werden die nach der beschriebenen Rechnung erhaltenen Zeiten als Startwerte für eine neue Iteration genommen. Ist die Korrektur τ noch immer zu groß, wird eine dritte Iteration durchgeführt.

18. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Sonnenfinsternissen und der Canon

Der für ΔT verwendete Wert muß von der schließlich gefundenen ET abgezogen werden, um UT zu erhalten: $T_0 + t + \tau - \Delta T$.

Um den Positionswinkel eines Kontaktpunktes zu finden, wird der Winkel N berechnet aus:

$$\tan N = u' / v' \quad (\sin N > 0)$$

Der Positionswinkel P des Kontaktpunktes, gemessen vom Nordpunkt des Sonnenrandes über Ost, folgt aus Daten der letzten Iteration:

$$P = N + \psi$$

Die Sonnenhöhe h folgt aus:

$$\sin h = \sin D \sin \varphi + \cos D \cos \varphi \cos H$$

worin H wieder aus der letzten Iteration und h zwischen -90° und $+90^\circ$ zu nehmen ist. Natürlich steht, wenn h negativ ist, die Sonne unter dem Horizont und die betreffende Finsternisphase ist vom gegebenen Ort aus nicht sichtbar.

Den Positionswinkel Z des Kontaktpunktes, gemessen vom zenitnächsten Punkt des Sonnenrandes ("Vertex") über Osten, finden wir zu

$$Z = P - q \quad \text{mit dem parallaktischen Winkel } q \text{ aus}$$

$$\sin q = \frac{\cos \varphi \sin H}{\cos h} \quad (\cos q \text{ hat das Zeichen von } \eta)$$

Man beachte, daß bei $|\sin \psi| > 1$ keine Finsternis für den angegebenen Ort eintritt. Daher ist es empfehlenswert, das größte Ausmaß der Finsternis zu berechnen, bevor man versucht, die Kontaktzeiten zu ermitteln. Ergibt sich eine negative Größe, gibt es keine Finsternis am gegebenen Ort.

§ 24. Maximum (Zeitpunkt, Größe, Positionswinkel)

Die Korrektur τ_m zu dem für das Maximum der Finsternis angenommenen τ erhalten wir in Stunden aus:

$$\tau_m = - \frac{u u' + v v'}{n^2}$$

Auch hier sollte, um höhere Genauigkeit zu erzielen, eine zweite oder gar dritte Iteration durchgeführt werden. Der neue Wert von τ_m sollte gegenüber den vorangegangenen recht klein sein. Der für ΔT verwendete Wert muß von der schließlich gefundenen ET abgezogen werden, um UT zu erhalten: $T_0 + t + \tau_m - \Delta T$.

Die Größe des Maximums der Finsternis oder ihr größtes Ausmaß G ist in Einheiten des Sonnendurchmessers gegeben durch:

$$G = \frac{L_1' - |\Delta|}{L_1' + L_2'} \quad \text{worin}$$

$$\Delta = (v u' - u v') / n$$

Bei einer partiellen Finsternis ist G der Bruchteil des Sonnendurchmessers, der vom Mond zum Zeitpunkt der größten Phase abgedeckt und in Einheiten des Sonnendurchmessers ausgedrückt wird. Stets ist aber G das Verhältnis jener Strecke zum Sonnendurchmesser, die auf der Geraden durch die Mond- und Sonnenmitte gemessen

19. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Sonnenfinsternissen und der Canon

sen wird und die von dem der Mondmitte zunächst liegenden Sonnenrand zu dem der Sonnenmitte zunächst liegenden Mondrand reicht. Das Verhältnis A des wahren Monddurchmessers zum wahren Sonnendurchmesser ist gegeben durch:

$$A = \frac{L1' - L2'}{L1' + L2'}$$

Zum Zeitpunkt des Maximums der Finsternis ist der Positionswinkel P_m der Mondmitte, gemessen vom Nordpunkt des Sonnenrandes über Osten, gegeben durch:

$$\tan P_m = -v' / u' \quad (\cos P_m \text{ hat das Zeichen von } v)$$

Auch hier müssen die Ergebnisse der letzten Iteration verwendet werden. Der Positionswinkel Z_m , gemessen vom zenitnächsten Punkt des Sonnenrandes über Osten, ist mit dem analog wie in § 23 erhaltenen parallaktischen Winkel q zu berechnen:

$$Z_m = P_m - q$$

§ 25. Anmerkungen

1. Die drei Rechnungen (Anfang, Maximum, Ende der Finsternis) sollten separat durchgeführt werden, außer - wenn gewünscht - bei der ersten Iteration. Diese startet man mit $t = 0^h$.

2. Zu jedem Zeitpunkt während des Finsternisverlaufs kann die augenblickliche Größe G und der augenblickliche Positionswinkel P der Mondmitte wie folgt berechnet werden:

$$m^2 = u^2 + v^2 \quad (m > 0)$$

$$G = \frac{L1' - m}{L1' + L2'}$$

$$\tan P = u / v$$

3. Wenn v zum Zeitpunkt des Maximums positiv ist, befindet sich der Beobachter südlich der Zentrallinie, und der nördliche Rand der Sonne ist vom Mond verfinstert (P_m ist ungefähr 0° oder 360°). Umgekehrt, wenn v zum Zeitpunkt des Maximums negativ ist, befindet sich der Beobachter nördlich der Zentrallinie, und der südliche Rand der Sonne ist vom Mond verfinstert (P_m ist ungefähr 180°).

Beispiel 15

Man berechne den örtlichen Verlauf der ringförmigen Sonnenfinsternis +1984 Mai 30 für die Wiener Urania-Sternwarte, Österreich.

Geographische Länge $\lambda = -16^\circ 23' 07''$

Geographische Breite $\varphi = +48^\circ 12' 43''$

Seehöhe $= 193 \text{ m}$

Aus Beispiel 8 kennen wir bereits ihre geozentrischen Koordinaten:

$$\rho \sin \varphi' = +0,742028$$

$$\rho \cos \varphi' = +0,667641$$

Die Bessel'schen Elemente dieser Finsternis sind:

$$T_0 = 17^h$$

$$Y_1 = +0,13301$$

$$X_0 = +0,05609$$

$$M_0 = 75,616$$

$$X_1 = +0,52088$$

$$M_1 = 14,9999$$

$$Y_0 = +0,29862$$

$$D_0 = +21,869$$

20. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Sonnenfinsternissen und der Canon

$$\begin{array}{ll}
 D1 = +0,0057 & L21 = -0,00012 \\
 L10 = +0,55107 & \tan F1 = +0,004612 \\
 L11 = -0,00012 & \tan F2 = +0,004589 \\
 L20 = +0,00492 &
 \end{array}$$

Wir wollen für die erste Rechnung $t = 0$ wählen. Die Größe ΔT wollen wir zu $+55$ annehmen. Für die weiteren Größen ergibt sich:

$$\begin{array}{ll}
 X = +0,05609 & \eta' = +0,06507 \\
 Y = +0,29862 & u = -0,61123 \\
 M = +75,616 & v = -0,39770 \\
 D = +21,869 & u' = +0,52628 \\
 L1 = +0,55107 & v' = +0,06794 \\
 H = +91,771 & n^2 = +0,281586 \\
 \xi = +0,66732 & n = +0,53065 \\
 \eta = +0,69632 & L1' = +0,54988 \\
 \zeta = +0,25725 & \sin \psi = +0,57498 \\
 \xi' = -0,00540 & \cos \psi = +0,81817
 \end{array}$$

Die Korrektur τ_m zu t_m für das Maximum der Finsternis lautet

$$\tau_m = - \frac{u u' + v v'}{n^2} = +1,238 \text{ Stunden}$$

$$\text{Halbe Dauer: } \frac{L1' |\cos \psi|}{n} = 0,848 \text{ Stunden} \quad \text{Näherungsweise!}$$

Damit folgt:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Anfang der Finsternis:} & t = 0 + 1,238 - 0,848 = +0,390^h \\
 \text{Maximum der Finsternis} & t = 0 + 1,238 = +1,238^h \\
 \text{Ende der Finsternis} & t = 0 + 1,238 + 0,848 = +2,086^h
 \end{array}$$

Mit diesen drei t beginnen wir, für jeden Fall getrennt, zwei Iterationen. Sie liefern uns schließlich folgende Ergebnisse:

$$\begin{array}{lll}
 t = +0,38409, & \text{woraus } T0 + t = 17,38409^h & ET = 17^h 22^m 08^s \text{ UT} \\
 t = +1,17625, & 18,17625 & 18^h 09^m 39^s \\
 t = +1,92682, & 18,92682 & 18^h 54^m 42^s
 \end{array}$$

Die Sonnenhöhe zu diesen drei Terminen ergibt sich leicht zu $+11^\circ$, bzw. $+4^\circ$, bzw. -2° . So zeigt sich, daß das Ende der Finsternis in Wien nicht sichtbar ist - der letzte Kontakt tritt nach Sonnenuntergang ein.

Die zur Berechnung der Positionswinkel nötigen Daten aus der letzten Iteration und die sich ergebenden Positionswinkel sind:

	Erster Kontakt	Maximum
u'	$+0,54379$	$+0,57898$
v'	$+0,06846$	$+0,07159$
$\sin \psi$	$+0,57792$	
ψ	$144,70^\circ$	
H	$97,5328^\circ$	$109,4151^\circ$
$\sin h$	$+0,19669$	$+0,07225$
$\cos h$	$+0,98047$	$+0,99739$
q	$+42,36^\circ$	$+39,06^\circ$
N	$82,82^\circ$	
P	$227,52^\circ$	$172,95^\circ$
Z	$185,16^\circ$	$133,89^\circ$

21. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Sonnenfinsternissen und der Canon

Die zur Berechnung des größten Ausmaßes der Finsternis nötigen Daten und dieses größte Ausmaß lauten:

$$\begin{array}{ll} u = +0,03910 & L1' = 0,55060 \\ v = -0,31621 & L2' = 0,00446 \\ vu' - uv' = -0,18588 & G = 0,418 \\ n = 0,58339 & A = 0,984 \\ \Delta = -0,31862 & \end{array}$$

Somit ergibt sich das größte Ausmaß der Finsternis zu 0,418 und das Verhältnis der Durchmesser von Mond und Sonne zu 0,984.

III. ANHANG

§ 26. Korrektur der ekliptikalen Breite des Mondes

Die gravitationelle Mondephemeride, die zur Berechnung der Bessel'schen Elemente der Finsternisse in diesem Werk verwendet wurde, bezieht sich auf die Positionen des Mond-Massenzentrums. Der Ablauf einer Finsternis wird jedoch von den Positionen des Zentrums der Mondfigur bestimmt, das nicht genau mit dem Zentrum der Mondmasse zusammenfällt. Um darauf Rücksicht zu nehmen, wurde in den "Astronomical Ephemeris" an die für die Berechnung der Finsternis-elemente verwendeten ekliptikalen Breiten des Mondes eine Korrektur von $-0,6''$ angebracht.

Von 1981 an wurde im "Astronomical Almanac", dem Nachfolger der "Astronomical Ephemeris", diese Korrektur nicht mehr berücksichtigt.

Sollte nun der Benutzer des vorliegenden Werkes diese Korrektur von $-0,6''$ einbeziehen wollen, so wäre an die tabellierten Werte X_0 bzw. Y_0 die Korrektur Δx bzw. Δy anzubringen, die sich sowohl aus dem Formelsatz (i) als auch (ii) ergibt:

$$(i) \quad \tan J = Y_1 / X_1 \quad J \text{ zwischen } -90^\circ \text{ und } +90^\circ$$

$$\Delta x = +0,000\ 175 \sin J$$

$$\Delta y = -0,000\ 175 \cos J$$

$$(ii) \quad N = \sqrt{X_1^2 + Y_1^2} \quad \text{stets positiv}$$

$$\Delta x = +0,000\ 175 Y_1 / N$$

$$\Delta y = -0,000\ 175 X_1 / N$$

Angemerkt sei, daß Δx das gleiche Zeichen wie Y_1 hat und Δy stets negativ ist.

Die Berücksichtigung der Breitenkorrektur bedeutet also, daß statt X_0 bzw. Y_0 nunmehr $X_0 + \Delta x$ bzw. $Y_0 + \Delta y$ zu verwenden ist.

§ 27. Einige statistische Angaben

Der vorliegende Katalog enthält die Elemente von 10774 Sonnenfinsternissen, die sich wie folgt aufgliedern:

3795	sind von der Art	P	512	sind von der Art	RT
3507		R	65		(R)
2867		T	28		(T)

22. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Sonnenfinsternissen und der Canon

Im Intervall von -2003 bis +2526 haben 5 partielle Finsternisse ein größtes Ausmaß von kleiner als 0,002, nämlich:

Datum	Größtes Ausmaß
-373 Jan 9	0,000
108 Feb 29	0,001
1175 Okt 16	0,000
1639 Jan 4	0,001
1935 Jan 5	0,001

In diesem Intervall haben 20 Finsternisse, ohne total oder ringförmig zu sein, ein größtes Ausmaß von größer oder gleich 0,990:

Datum	Größtes Ausmaß	Datum	Größtes Ausmaß
-2000 Jun 22	0,990	343 Feb 11	0,997
-1859 Mai 25	0,998	513 Jun 19	0,996
-1726 Apr 25	0,992	824 Sep 26	0,997
-1574 Aug 20	0,991	890 Feb 23	0,997
-1038 Apr 9	0,989	900 Mär 4	0,997
-348 Mär 31	0,998	929 Aug 7	0,990
-167 Jul 7	0,990	1389 Apr 26	0,993
-159 Jul 8	0,997	1399 Mai 6	0,996
-18 Jun 10	0,989	1750 Jul 3	0,996
257 Aug 26	0,991	2326 Jun 30	0,994

Im gleichen Bereich haben 39 totale Finsternisse eine Dauer von mehr als 7 Minuten 00 Sekunden, nämlich:

Datum	Dauer	Datum	Dauer
-1460 Jun 22	7 ^m 04 ^s	399 Jul 19	7 ^m 11 ^s
-1442 Jul 3	7 05	681 Mai 23	7 10
-1124 Mai 28	7 03	699 Jun 3	7 16
-1106 Jun 9	7 02	717 Jun 13	7 15
-779 Mai 24	7 12	735 Jun 25	7 02
-761 Jun 5	7 26	1044 Mai 29	7 12
-743 Jun 15	7 28	1062 Jun 9	7 21
-725 Jun 26	7 19	1080 Jun 20	7 18
-443 Apr 30	7 01	1098 Jul 1	7 05
-425 Mai 11	7 12	1937 Jun 8	7 04
-407 Mai 22	7 13	1955 Jun 20	7 08
-389 Jun 2	7 04	1973 Jun 30	7 04
114 Mai 22	7 06	2150 Jun 25	7 14
132 Jun 1	7 14	2168 Jul 5	7 26
150 Jun 12	7 12	2186 Jul 16	7 29
168 Jun 23	7 03	2204 Jul 27	7 22
327 Jun 6	7 04	2222 Aug 8	7 06
345 Jun 16	7 17	2504 Jun 14	7 10
363 Jun 27	7 24	2522 Jun 25	7 13
381 Jul 8	7 22		

Im gleichen Zeitabschnitt haben 10 ringförmige Finsternisse eine Dauer von mehr als 12 Minuten 00 Sekunden, nämlich:

23. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Sonnenfinsternissen und der Canon

Datum	Dauer	Datum	Dauer
-1673 Dez 2	12 ^m 02 ^s	150 Dez 7	12 ^m 23 ^s
-1655 Dez 12	12 08	168 Dez 17	12 15
-195 Dez 11	12 04	1628 Dez 25	12 02
-177 Dez 22	12 08	1955 Dez 14	12 09
132 Nov 25	12 16	1973 Dez 24	12 02

Angemerkt sei, daß - wie schon in § 7 ausgeführt - diese Dauern in Wirklichkeit die Dauern zu den Zeitpunkten der Maxima der Finsternisse sind, wenn also die Mondschattenachse der Erdmitte jeweils am nächsten ist. Sie können um 1 bis 2 Zeitsekunden von den tatsächlichen Maximaldauern abweichen.

Nach Danjon [9] beträgt die größte Dauer einer ringförmigen Sonnenfinsternis auf der Erdoberfläche 12 Minuten 30 Sekunden; andererseits hat Mrs. Isabel M. Lewis [10] die Obergrenze der Dauer einer Totalität zu 7 Minuten 31 Sekunden berechnet.

Die niedrigste Anzahl von Sonnenfinsternissen in einem Jahr ist 2. Beide können, wie +1978 und +1989, P-Finsternisse sein.

In einem Kalenderjahr gibt es höchstens 5 Sonnenfinsternisse; dieses Maximum wird jedoch selten erreicht. Die letzten dermaßen "reichen" Jahre waren +1805 und +1935; die nächsten +2206 und +2709.

L I T E R A T U R

1. J.MEEUS, C.C.GROSJEAN, W.VANDERLEEN, Canon of Solar Eclipses. Pergamon Press, Oxford, 1966.
2. Monthly Notices Royal Astron.Soc., Vol.93, 603, London 1933.
3. G. VAN DEN BERGH, Periodicity and Variation of Solar (and Lunar) Eclipses. 2 vol.; T.Willink, Haarlem, Netherlands, 1955.
4. TH. VON OPPOLZER, Canon der Finsternisse. Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Classe, Band 52, Wien, 1887.
Republication / Neuausgabe: Dover, New York, 1962.
5. S.NEWCOMB, Tables of the Sun. Astron.Papers American Ephemeris and Nautical Almanac, Vol.VI, Part I, Washington, 1895.
6. Astronomical Almanac 1999, K8-9, Cambridge UK/Washington, 1998.
7. Transactions of the International Astronomical Union, Vol.8, p.66, Cambridge, 1954.
8. L.J.COMRIE, The Computation of Total Solar Eclipses. Monthly Notices Royal Astron.Soc., vol.93, p.175-181, London, 1933
9. A.DANJON, Astronomie Générale. p.318, Paris, 1959.
10. C.H.SMILEY, M.QUIRK, Solar Eclipses of Long Duration of Totality. Journal of the Royal Astron.Soc. of Canada, XLIX, 69-72, Toronto, 1955.
11. J.Vondrák, Die Verbesserung der Mondtheorie von Brown-Eckert. Privatmitteilung des Verfassers.

24. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Sonnenfinsternissen und der Canon

TABELLE I. ($\Delta T = ET - UT$, mit Fluktuationen)

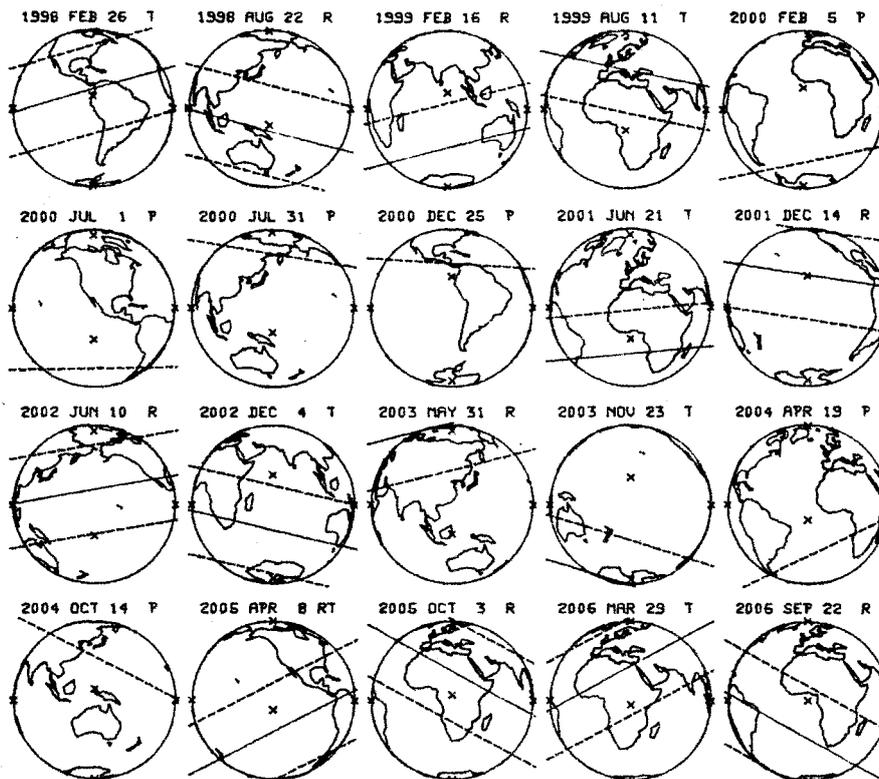
Jahr	ΔT						
+1620	+2,1 ^m	+1644	+0,9 ^m	+1827	+0,2 ^m	+1920	+0,4 ^m
+1621	+2,0	+1646	+0,9	+1828	+0,1	+1945	+0,4
+1622	+1,9	+1647	+0,8	+1867	+0,1	+1946	+0,5
+1623	+1,8	+1653	+0,8	+1868	+0,0	+1959	+0,5
+1624	+1,8	+1654	+0,7	+1871	+0,0	+1960	+0,6
+1625	+1,7	+1658	+0,7	+1872	-0,0	+1968	+0,6
+1626	+1,6	+1659	+0,6	+1874	-0,0	+1969	+0,7
+1627	+1,6	+1664	+0,6	+1875	-0,1	+1974	+0,7
+1628	+1,5	+1665	+0,5	+1899	-0,1	+1975	+0,8
+1629	+1,5	+1669	+0,5	+1900	-0,0	+1980	+0,8
+1630	+1,4	+1670	+0,4	+1902	-0,0	+1981	+0,9
+1631	+1,4	+1675	+0,4	+1903	+0,0	+1990	+0,9
+1632	+1,3	+1676	+0,3	+1904	+0,0	+1991	+1,0
+1633	+1,3	+1681	+0,3	+1905	+0,1	+1994	+1,0
+1634	+1,2	+1682	+0,2	+1908	+0,1	+1995	+1,0
+1636	+1,2	+1757	+0,2	+1909	+0,2	+1996	+1,0
+1637	+1,1	+1758	+0,3	+1913	+0,2	+1997	+1,0
+1639	+1,0	+1797	+0,3	+1914	+0,3	+1998	+1,1
+1643	+1,0	+1798	+0,2	+1919	+0,3	+1999	+1,1

TABELLE II. ($\Delta T = ET - UT$, ohne Fluktuationen)

Jahr	ΔT	Jahr	ΔT	Jahr	ΔT	Jahr	ΔT
-2050	+12 ^h 12 ^m	-900	+5 ^h 58 ^m	+ 250	+1 ^h 56 ^m	+1400	+0 ^h 07 ^m
-2000	+11 53	-850	+5 45	+ 300	+1 49	+1450	+0 05
-1950	+11 34	-800	+5 32	+ 350	+1 42	+1500	+0 04
-1900	+11 15	-750	+5 19	+ 400	+1 35	+1550	+0 02
-1850	+10 57	-700	+5 07	+ 450	+1 28	+1600	+0 01
-1800	+10 39	-650	+4 54	+ 500	+1 21	+1650	+0 01
-1750	+10 21	-600	+4 42	+ 550	+1 15	+1700	+0 00
-1700	+10 04	-550	+4 30	+ 600	+1 09	+1750	+0 00
-1650	+ 9 47	-500	+4 19	+ 650	+1 03	+1800	+0 00
-1600	+ 9 30	-450	+4 08	+ 700	+0 58	+1850	+0 00
-1550	+ 9 13	-400	+3 57	+ 750	+0 53	+1900	+0 00
-1500	+ 8 56	-350	+3 46	+ 800	+0 48	+1950	+0 01
-1450	+ 8 40	-300	+3 35	+ 850	+0 43	+2000	+0 02
-1400	+ 8 24	-250	+3 25	+ 900	+0 38	+2050	+0 03
-1350	+ 8 08	-200	+3 15	+ 950	+0 34	+2100	+0 05
-1300	+ 7 53	-150	+3 05	+1000	+0 30	+2150	+0 07
-1250	+ 7 38	-100	+2 56	+1050	+0 26	+2200	+0 09
-1200	+ 7 23	- 50	+2 47	+1100	+0 23	+2250	+0 11
-1150	+ 7 08	0	+2 38	+1150	+0 19	+2300	+0 13
-1100	+ 6 53	+ 50	+2 29	+1200	+0 16	+2350	+0 16
-1050	+ 6 39	+100	+2 20	+1250	+0 14	+2400	+0 19
-1000	+ 6 25	+150	+2 12	+1300	+0 11	+2450	+0 22
- 950	+ 6 11	+200	+2 04	+1350	+0 09	+2500	+0 26
- 900	+ 5 58	+250	+1 56	+1400	+0 07	+2550	+0 29

25. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Sonnenfinsternissen und der Canon ...

LUNATION SAROS	CALENDAR TYPE	GRG	MAXIMUM ET JULIAN DATE	TO ET GAMMA	X0 XI	Y0 Y1	M0 MI	D0 D1	L10 L11	L20 L21	TAN F1 TAN F2
1214 130	1998 FEB 26 T 4 9		17 29 25 2450871.229	18 00 0.2391	0.21581 0.55448	0.31175 0.16122	86.781 15.0031	-8.594 0.0152	0.53907 -0.00008	-0.00701 -0.00008	0.004722 0.004698
1220 135	1998 AUG 22 R 3 14		2 7 9 2451047.589	8 00 -0.2644	-0.12727 0.50677	-0.24006 -0.13235	209.244 15.0038	11.893 -0.0136	0.55808 0.00011	0.01190 0.00011	0.004623 0.004600
1226 140	1999 FEB 16 R 0 40		6 34 37 2451225.775	7 00 -0.4725	0.34218 0.53181	-0.40019 0.13613	281.477 15.0019	-12.460 0.0141	0.55223 -0.00013	0.00608 -0.00013	0.004733 0.004710
1232 145	1999 AUG 11 T 2 23		11 4 9 2451401.962	11 00 0.5062	0.07009 0.54430	0.50276 -0.11649	343.687 15.0030	15.327 -0.0120	0.54245 0.00012	-0.00366 0.00012	0.004613 0.004590
1238 150	2000 FEB 5 P 0.580		12 50 26 2451580.036	13 00 -1.2232	0.32979 0.50568	-1.18075 0.10521	11.511 15.0004	-16.029 0.0123	0.56817 -0.00010	0.02193 -0.00010	0.004743 0.004720
1243 117	2000 JUL 1 P 0.477		19 33 33 2451727.315	20 00 -1.2821	0.28066 0.58384	-1.27723 0.01061	119.012 14.9995	23.044 -0.0031	0.53004 -0.00002	-0.01601 -0.00002	0.004598 0.004575
1244 155	2000 JUL 31 P 0.604		2 14 6 2451756.594	2 00 1.2166	0.06575 0.57377	1.22247 -0.09595	208.410 15.0020	18.219 -0.0101	0.53158 0.00005	-0.01448 0.00005	0.004607 0.004583
1249 122	2000 DEC 25 P 0.723		17 35 53 2451904.234	18 00 1.1367	0.27870 0.50631	-1.12072 -0.03355	89.908 14.9962	-23.372 0.0014	0.57307 0.00005	0.02682 0.00005	0.004755 0.004732
1255 127	2001 JUN 21 T 4 97		12 4 44 2452082.004	12 00 -0.9701	0.01037 0.56537	-0.57183 0.05513	359.560 14.9992	23.440 -0.0002	0.53695 -0.00009	-0.00913 -0.00009	0.004600 0.004578
1261 132	2001 DEC 14 R 3 53		20 52 59 2452258.371	21 00 0.4089	0.12394 0.52893	0.39465 -0.08130	136.278 14.9964	-23.252 -0.0021	0.55951 0.00012	-0.01332 0.00012	0.004751 0.004727
1267 137	2002 JUN 10 R 0 23		23 45 22 2452436.490	0 00 0.1993	0.09396 0.52744	0.21898 0.09319	180.133 14.9993	23.055 0.0028	0.55164 -0.00012	0.00549 -0.00012	0.004605 0.004582
1273 142	2002 DEC 4 T 2 4		7 32 15 2452612.615	8 00 -0.3020	0.18639 0.55324	-0.35443 -0.13091	302.481 14.9973	-22.226 -0.0053	0.54415 0.00008	-0.00197 0.00008	0.004744 0.004720
1279 147	2003 MAY 31 R 3 37		4 9 22 2452790.674	4 00 0.9959	-0.32384 0.49389	0.94515 0.12633	240.611 14.9998	21.846 0.0057	0.56437 -0.00005	0.01815 -0.00005	0.004613 0.004590
1285 152	2003 NOV 23 T 1 59		22 50 21 2452967.452	23 00 -0.9637	-0.19765 0.55689	-0.94784 -0.17392	168.395 14.9985	-20.405 0.0082	0.53731 0.0	-0.00877 0.0	0.004735 0.004711
1290 119	2004 APR 19 P 0.736		13 35 5 2453115.067	14 00 -1.1334	0.69316 0.46464	-0.92212 0.22852	30.247 15.0034	11.420 0.0138	0.56261 0.00008	0.01640 0.00008	0.004655 0.004632
1296 124	2004 OCT 14 P 0.928		3 0 21 2453292.626	3 00 1.0347	0.47718 0.48947	0.91812 -0.25634	228.499 15.0036	-8.238 -0.0149	0.54823 -0.00011	0.00209 -0.00011	0.004688 0.004665
1302 129	2005 APR 8 RT 0 42 *		20 36 50 2453469.359	21 00 -0.3472	0.35020 0.48577	-0.20735 0.25757	134.574 15.0040	7.486 0.0149	0.54853 0.00011	0.00239 0.00011	0.004669 0.004645
1308 134	2005 OCT 3 R 4 32		10 32 45 2453646.940	10 00 0.3305	-0.08920 0.45544	0.42641 -0.25081	332.749 15.0043	-4.077 0.0155	0.56273 -0.00008	0.01653 -0.00008	0.004674 0.004651
1314 139	2006 MAR 29 T 4 7		10 12 22 2453823.926	10 00 0.3844	-0.28989 0.50608	0.27911 0.27899	328.793 15.0044	3.399 0.0156	0.53698 0.00006	-0.00910 0.00006	0.004683 0.004659
1320 144	2006 SEP 22 R 7 9		11 41 15 2454000.987	12 00 -0.4063	-0.06048 0.44051	-0.43164 -0.24613	1.812 15.0047	0.262 -0.0156	0.56940 -0.00001	0.02316 -0.00001	0.004659 0.004636



Lic. Jean Meeus, Heuvestraat 31
B-3071 ERPS-KWERPS, Belgium

Prof. Hermann Mucke, Hasenwartgasse 32
A-1238 WIEN, Österreich

Gastvortrag: **Der „Canon of Solar Eclipses, –2003 to +2526“
in der Praxis**

Gideon Riegler, Observator an der Urania-Sternwarte in Wien, schreibt in seinem Buch 'Sonnen- und Mondfinsternisse und ihre Bedeutung für die Himmelsforschung', das vor dem Ersten Weltkrieg erschienen ist: "Die Berechnung der Sonnenfinsternisse ist mit weit mehr Schwierigkeiten verbunden als jene der Mondfinsternisse. . . . Die Abhängigkeit vom Standpunkte des Beobachters ist es, welche die Vorausberechnung des Verlaufs einer Sonnenfinsternis auf der Erdoberfläche besonders erschwert."

Meine ersten Schritte auf diesem Gebiet beschränkten sich daher auf eine grafische Darstellung, die mit Hilfe der Positionswinkel-Angaben für Anfang und Ende im HIMMELSKALENDER den zeitlichen Ablauf für den gewählten Ort mit eingeschränkter Genauigkeit anschaulich machte.

Als mir die 'Astronomical Ephemeris' und 'Explanatory Supplement' zur Verfügung standen, konnte ich mit den darin angegebenen Besselschen Elementen, dem Formelsystem und mit Hilfe von Logarithmentafeln die lokalen Umstände einer Finsternis für das betreffende Jahr berechnen. Der Wunsch, auch Sonnenfinsternis-Berechnungen für die Vergangenheit und Zukunft zu machen, blieb bis zum Erscheinen des Nachdrucks von Oppolzers 'Canon der Finsternisse' Anfang der Sechziger Jahre durch die Dover Publications unerfüllt.

Ich staunte über die Leistung der zehn Rechner, die in der Zusammenarbeit mit Oppolzer diese Fülle von Zahlenmaterial bewältigt hatten. Einer dieser Rechner, Dr. M. W. Meyer, der 'Urania-Meyer' schreibt in seiner Autobiographie: "Bei Theodor von Oppolzer, der damals an seinem berühmten 'Kanon der Finsternis' arbeitete, bekam ich eine Rechnerstelle und habe damals für ihn einige tausend Sonnenfinsternisse berechnet, das Stück für zwanzig Kreuzer." Die Arbeit mit Logarithmentafeln hatte für mich ein Ende, als ich mir im Dezember 1974 meinen ersten Taschenrechner, einen Texas Instruments SR-50 kaufte. Er kostete damals über viertausend Schilling, hatte nur einen Speicher, aber die notwendigsten 'wissenschaftlichen' Funktionen und war mit einer roten LED-Anzeige ausgestattet. Vergleichbare Taschenrechner mit LCD-Anzeige sind heute bereits für etwa fünf Prozent des seinerzeitigen Kaufpreises zu haben.

Mit einer von mir gefertigten Tabelle für die Eingabe der Ortskoordinaten, der Elemente aus den 'Ephemeris', sowie der Angabe der benötigten Funktionstasten und die Möglichkeit, Zwischenwerte für die Wiedereingabe zu notieren, konnte ich verhältnismäßig bequem die ortsabhängigen Daten für Beginn, Maximum und Ende der partiellen Phase ausrechnen.

Die Entwicklung der Taschenrechner machte rasch Fortschritte, es kamen die ersten 'Programmierbaren' auf den Markt, hier vor allem der HP-55, der fünfzig Programmschritte erlaubte und schließlich der TI-59, mit dem man auch mit dem optionellen Drucker Ergebnisse auf Streifen ausdrucken konnte.

Inzwischen war aber auch für alle Finsternis-Rechner ein umwälzendes Ereignis eingetreten. 1983 erschien, herausgegeben vom Astronomischen Büro in Wien, der 'CANON OF SOLAR ECLIPSES -2003 to +2526' von Mucke/Meeus. Nun war es möglich, für den über den 'Oppolzer' hinaus erweiterten zeitlichen Bereich mit den in übersichtlicher Weise angeordneten Besselschen Elementen und den vorangestellten Formeln Sonnenfinsternisse zu berechnen.

Mit der Anschaffung eines Personalcomputers kam auch der Wunsch, kleine Programme zu entwickeln. Das riesige Datenmaterial des CANON bot ein großes Betätigungsfeld für verschiedene Untersuchungen und Programmvarianten. Schließlich bin ich mit dem im folgenden beschriebenen DOS-Programm CANONFEB wieder im grafischen Bereich, diesmal auf der Besselschen Fundamentelebene gelandet.

1. Fortsetzung Gastvortrag: Der „Canon of Solar Eclipses, -2003 to +2526“ in der Praxis

Programm-Diskette zu:

Mucke-Meeus, Canon of Solar Eclipses -2003 to +2526
Astronomisches Büro, Hasenwartgasse 32, A-1238 Wien

DOS-Programm: **CANONFEB.EXE**
Örtlicher Verlauf auf der Fundamentalebene
Berechnung mit den Bessel'schen Elementen

Inhalt der Diskette

INSTALL.BAT: Batch-Datei für die Installation auf der Festplatte.

Im Verzeichnis CANON (Speicherbedarf 128 kB) :

CANONFEB.EXE: Das ausführende Programm.

ORT.DAT: Daten für 18 Orte (Name, geogr.Länge, geogr.Breite, Seehöhe).

SOFIKAT.DAT: Die Bessel-Elemente für die 50 Finsternisse des Finsternis-Katalogs 1.

SOFI145.DAT: Die Bessel-Elemente für die 50 Finsternisse des Finsternis-Katalogs 2.

Installation

Mit der Batch-Datei INSTALL.BAT wird auf der Festplatte C das Verzeichnis CANON eingerichtet und die Dateien CANONFEB.EXE, ORT.DAT, SOFIKAT.DAT und SOFI145.DAT in dieses Verzeichnis kopiert. Wenn die Festplatte eine andere Bezeichnung hat, muß mit einem Editor die Batch-Datei aufgerufen und in den Zeilen 2, 3 und 4 das C vor dem Doppelpunkt gegen den entsprechenden Buchstaben ausgetauscht und anschließend die Datei abgespeichert werden.

Installation mit dem Windows-Befehl *Ausführen* (Datei-Menü des Windows 3.x *Programm-Managers* bzw. Windows 95 *Startmenü*) oder vom DOS-Prompt C:\>a:\ install (wenn a die Bezeichnung für das Diskettenlaufwerk ist).

Nach der Installation befindet man sich im Verzeichnis C:\CANON> und kann durch Eingabe von **CANONFEB** [ENTER] das Programm sofort starten.

Fundamentalebene

Die Bessel'schen Elemente beschreiben die geometrische Lage des Mondschattens mit Bezug auf die Erde. Die äußeren Tangenten an die Oberfläche von Sonne und Mond bilden den Kernschattenkegel, die inneren Tangenten den Halbschattenkegel. Die gemeinsame Achse der beiden Kegel ist die Schattenachse. Die geozentrische Normalebene auf die Schattenachse wird Fundamentalebene genannt und bildet die XY-Ebene eines Systems rechtwinkliger Koordinaten. Die X-Achse ist die Schnittlinie der Fundamentalebene mit der Ebene des Erdäquators und weist positiv nach Osten; die Y-Achse zeigt positiv nach Norden. X und Y sind die Koordinaten des Schnittpunktes der Schattenachse mit der Fundamentalebene, in Einheiten des Äquatorradius der Erde. (CANON [1], p.XXXIII unten.)

Menü-Punkte

Neueingabe der Elemente

Bei der Eingabe von Daten ist zu beachten, daß für die Trennung der Dezimalstellen nur der PUNKT verwendet wird. Beim Setzen eines Kommas kommt es zur Fehlermeldung 'Redo from start'. Durch Eingabe in der korrekten Form wird der Fehler behoben. Kommt vor dem Dezimal-

2. Fortsetzung Gastvortrag: Der „Canon of Solar Eclipses, -2003 to +2526“ in der Praxis

punkt nur die Null, so braucht man die Null nicht zu tippen, sondern kann sofort mit dem Dezimalpunkt, bzw. bei einer negativen Zahl mit dem Minuszeichen beginnen.

Zur Eingabe der benötigten Daten wird man - in der Reihenfolge wie sie im CANON stehen - aufgefordert. Jede Eingabe wird mit [ENTER] bestätigt. Fehleingaben können im Korrektur-Modus der "Gespeicherten Elemente" korrigiert werden.

Für das Datum ist eine String-Variable mit maximal 12 Zeichen vorgesehen, 5 für Jahreszahl und Vorzeichen, 3 für Monat, 2 für Tag und 2 für Zwischenräume, (Eingabe-Beispiel: +1999 Aug 11). Die Art der Finsternis kann aus maximal drei Symbolen bestehen, entsprechend den Angaben im CANON, p.XXXII.

Für Delta-T wird auf der linken Seite ein Wert mit Quellenangabe vorgeschlagen. Dieser oder ein vom Anwender selbst gewählter Wert ist einzugeben.

Bei T0 (ET) genügt es, die Stundenzahl ohne Dezimalpunkt und Nullen für die Minuten einzugeben. Ebenso kann man sich bei den Elementen die Eingabe von Endnullen ersparen.

Finsternis-Katalog 1

Dieser Katalog enthält 50 Sonnenfinsternisse mit ihren Bessel-Elementen aus dem CANON. Auf der Original-Diskette sind das die Finsternisse +1998 Feb 26 bis einschließlich +2019 Dez 26 (letztere im Zwischenspeicher). Die Finsternisse können mit den 4 Cursor-tasten gewählt werden. Mit [ENTER] gelangt man zu einem Menü, das die Ortswahl und die Kontrolle der Elemente beinhaltet, die im Änderungs-Modus auch geändert werden können. Nach jeder Änderung werden die Elemente wieder im Random-Speicher gespeichert und neu aufgelistet. Die Stellenzahl der einzelnen Elemente entspricht der des CANON und erleichtert damit die Kontrolle.

Finsternis-Katalog 2

Aus Anlaß der letzten totalen Sonnenfinsternis in diesem Jahrtausend am 11. August 1999 wurden in den Katalog die ersten 50 Finsternisse des Saros Nr. 145 (die Finsternis vom 11.8. 1999 ist Nr. 21) dieser Reihe aufgenommen. Die Reihe beginnt mit der kleinen partiellen Finsternis +1639 Jan 4, umfaßt 77 Finsternisse und endet wieder mit einer partiellen Finsternis +3009 Apr 17. Der CANON schließt mit dem Jahr +2526, die totale Sonnenfinsternis +2522 Jun 25 ist daher die letzte in unserem Katalog. Sie hat eine Totalitätsdauer von 7.2 Minuten. Sämtliche Finsternisse finden im aufsteigenden Mondbahnknoten statt.

Ortswahl

Aus den 18 Orten der Liste ist ein Ort für die Berechnung des örtlichen Verlaufs der Finsternis auszuwählen. Für die Ortswahl ist es belanglos, in welcher Spalte die Cursor-Pfeile stehen, gewählt werden Ort und Koordinaten der Zeile der Cursor-Position. Die Änderung der Daten (Name oder Koordinaten) geschieht durch Wahl der betreffenden Spalte mit den Cursor-Tasten. Die Leertaste löscht den Eintrag und mit den entsprechenden Tasten kann die Eingabe erfolgen. Beispiel: Für 2°5' westliche Länge sind nacheinander die Tasten 2 0 5 w (oder W) zu drücken und mit [ENTER] zu bestätigen, die Tastenfolge für eine nördliche Breite von 57°7' ist 5 7 0 7 n (oder N) [ENTER].

Ein Ortsverzeichnis ist auf den Seiten 149 - 176 der Unterlagen zum 21. Sternfreunde-Seminar 1994 des Planetariums der Stadt Wien, im Referat von Dipl. Ing. Dr. Robert Weber zu finden. Dieses Referat beinhaltet ein Verzeichnis von 656 zeitgenössischen und 258 historischen Orten mit ihren geographischen Koordinaten. (Zu beziehen durch das Astronomische Büro, Prof. H. Mucke, Hasenwartgasse 32, 1238 Wien)

Nach der Wahl eines Ortes gelangt man zur grafischen Darstellung der Fundamentalebene. Datum der Finsternis, Delta-T in Minuten und Daten des gewählten Ortes sind links oben angegeben, darunter die Daten für Beginn, Maximum und Ende der Finsternis, in Blau, wenn eine Phase nicht sichtbar ist (Sonne unter dem Horizont). Ein 'v' bzw. 'n' nach den Zeitangaben weist darauf hin, daß die Zeit für den Vortag bzw. für den nächsten Tag gilt. Die Phasen-Daten zeigen jeweilige Größe, Positionswinkel und Sonnenhöhe für den Ort an. Der größere graue

3.Fortsetzung Gastvortrag: Der „Canon of Solar Eclipses, -2003 to +2526“ in der Praxis

Kreis ist der Schnitt des Halbschattenkegels mit der Fundamentalebene, der Kernschatten ist der kleine Kreis (Punkt) in der Mitte. Der Punkt für den Ort und die Kreise für die Pole sind weiß bzw. blau markiert, wenn sie sich auf der Tag- bzw. Nacht-Seite der Erde befinden. Die Darstellung kann zwischen den Zeitpunkten $T_0 \pm 3$ Stunden (ET) ablaufen. Mit der [+] -Taste bzw. [-]-Taste kann der Anblick jeweils um eine Minute verändert werden. Die entsprechende Zeit dazu wird rechts oben in ET und UT angegeben. Darunter kann die jeweilige geographische Position des Koordinatenursprunges abgelesen werden. Die Tasten [B], [M] und [E] zeigen die Situation zu Beginn, Maximum und Ende für den gewählten Ort. Wenn die Finsternis zentral ist, kann der Anblick für die Zeitgrenzen der Zentralität mit den Tasten [*] bzw. [/] eingestellt werden. Für den Zeitraum der Zentralität werden rechts oben die jeweilige Position der Schattenachse, die Sonnenhöhe und die Dauer der Totalität oder Ringförmigkeit angezeigt; ist die Finsternis für die Position total in gelber, im Falle einer Ringförmigkeit in violetter Farbe. Die vier Cursorstasten ermöglichen eine Delta-T-Korrektur um ± 1 bzw. ± 0.1 Minuten. Mit den Tasten [0] oder [1] kann man schließlich zum Start oder zur Ortswahl zurückkehren. Sollte für den gewählten Ort keine Finsternis eintreten, weil der Abstand von der Schattenachse größer ist als der Radius des Halbschattenkegels, oder wenn die Berechnung für das Maximum nach mehr als 20 Iterationen nicht konvergiert, wird das mit entsprechenden Hinweisen angezeigt.

Speicher-Tausch

Punkt [5] im Start-Menü erlaubt es, den Inhalt des Zwischenspeichers (ZS) gegen eine beliebige Finsternis (1) bis (49) des Finsternis-Katalogs 1 auszutauschen. Der Anwender kann damit den Katalog nach Belieben verändern.

Beispiel 1

Als Beispiel 1 wird die totale Finsternis -135 April 15 mit dem örtlichen Verlauf für das antike Babylon ($44^{\circ}25'$ östl.Länge, $32^{\circ}33'$ nördl.Breite, Seehöhe 100 m) berechnet. Dabei soll auch auf die historischen Daten in [2] Bezug genommen werden. Außerdem wird der Vorteil der flexiblen Delta-T-Eingabe demonstriert.

Im Menüpunkt 2 wird zuerst darauf hingewiesen, daß mit der Eingabe der Inhalt des Zwischenspeichers (ZS) überschrieben wird. Nachdem Datum und Finsternisart eingetastet sind, wird ein Delta-T-Wert von 182.6 Minuten vorgeschlagen, der anschließend auch eingegeben wird. Die Elemente werden dann aus dem CANON entnommen und eingetastet.

Nach der Kontrolle der Elemente wird das Ortswahl-Menü aufgerufen und einer der 18 Muster-Orte mit den Babylon-Daten überschrieben. Mit [ENTER] gelangt man dann zur Grafik. Hier ist erkennbar, daß für $\Delta T = 182.6$ Minuten die Finsternis für Babylon nicht total ist, sondern nur eine Größe von 0.972 aufweist. Durch Betätigen der Auf / Ab - Cursorstasten kann schnell festgestellt werden, daß die Verminderung von ΔT auf die Finsternisgröße positiv wirkt. Bei $\Delta T = 173.7$ Minuten wird die Finsternis für Babylon total (Dauer 0.5 Minuten). Bei der weiteren Abnahme zeigt sich, daß das Maximum mit einer Größe von 1.025 und einer Totalitätsdauer von 3.4 Minuten bei $\Delta T = 166.2$ Minuten erreicht wird und sich schließlich bei $\Delta T = 158.8$ Minuten wieder die Grenze der möglichen Totalität einstellt.

Der Spielraum von 14.9 Minuten (173.7 minus 158.8) für ΔT ist damit ebenso groß wie der in [2] angegebene, allerdings sind dort die Margen 3,38 Stunden oder 202.8 Minuten und 3,13 Stunden oder 187.8 Minuten, leider ohne einen Hinweis wie diese Zahlenwerte zustande gekommen sind.

Hier nun die für den Vergleich Beobachtung - Rechnung relevanten Angaben aus [2]. Vorausgeschickt werden muß, daß dem im Text erwähnten 'us' vier Minuten entsprechen.

4.Fortsetzung Gastvortrag: Der „Canon of Solar Eclipses, -2003 to +2526“ in der Praxis

Nach zwei Fragmenten von astronomischen Keilschrifttafeln wurde am 15. April des Jahres 136 vor Christus (= -135 April 15) in Babylon eine totale Sonnenfinsternis beobachtet. Sie begann 24 us nach Sonnenaufgang am Südwestrand der Sonne und erreichte nach weiteren 18 us ihr Maximum. Die Finsternis dauerte insgesamt 35 us. Schattenausstritt war am Nordostrand der Sonne. Während der totalen Phase wurden Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Sterne sichtbar.

Abschließend eine Gegenüberstellung der Daten aus Beobachtung und Rechnung. Die Aufgangszeit der Sonne wurde mit dem UraniaStar berechnet. Alle Zeitangaben in UT.

	Beobachtung	Delta-T 173.7	Delta-T 166.2	Delta-T 158.8
Sonnenaufgang	2 ^h 36 ^m			
+24 us	1 36			
Beginn	4 ^h 12 ^m	4 ^h 23.0 ^m	4 ^h 31.2 ^m	4 ^h 39.4 ^m
+18 us	1 12			
Maximum	5 ^h 24 ^m	5 ^h 27.1 ^m	5 ^h 36.0 ^m	5 ^h 44.9 ^m
+17 us	1 08			
Ende	6 ^h 32 ^m	6 ^h 37.1 ^m	6 ^h 46.8 ^m	6 ^h 56.5 ^m

Der Beobachtung am nächsten kommt also die Berechnung der Finsternis mit der oberen Marge von Delta-T.

Beispiel 2

Die totale Sonnenfinsternis -309 August 15 wird in [3] auf den Seiten 185 bis 187 behandelt. Es geht dabei um Agathokles, den Herrscher von Syracus, der mit seiner Flotte auf dem Weg nach Carthago diese Finsternis nach dem Bericht von Diodor beobachtete: "Am folgenden Tage ereignete es sich, daß eine so große Sonnenfinsternis eintrat, daß es ganz Nacht wurde und die Sterne überall gesehen wurden." Da unklar ist, ob Agathokles von Syracus aus die nördliche oder die südliche Route nach Carthago wählte, ist der Verlauf der Totalitätszone von Bedeutung. G.B. Airy (1801-1892) hat zwei Grenzpunkte festzulegen versucht, an denen sich Agathokles zur Zeit der Finsternis befinden konnte. Einen nördlicher Punkt mit den Koordinaten -15°30' Länge, +37°55' Breite und einen südlichen Punkt mit den Koordinaten -15°00' Länge, +36°35' Breite. Die Koordinaten von Syracus sind -15°18' Länge, +37°04' Breite, 100 m Seehöhe, jene von Carthago -10°16' Länge, +36°54' Breite, 50 m Seehöhe.

Die folgende Übersicht zeigt die mit dem CANON und dem vorgeschlagenen Delta-T von 217.4 Minuten berechneten Finsternisdaten für die oben genannten vier Orte (alle Zeitangaben in UT):

	Nördl.Pkt.	Südl.Pkt.	Syracus	Carthago
Beginn	5 ^h 22.4 ^m	5 ^h 21.0 ^m	5 ^h 21.5 ^m	5 ^h 20.8 ^m
Sonnenhöhe	+14°	+13°	+13°	+9°
Maximum	6 ^h 23.4 ^m	6 ^h 21.8 ^m	6 ^h 22.5 ^m	6 ^h 19.6 ^m
Größe	1.006	1.008	1.021	1.005
Sonnenhöhe	+26°	+25°	+26°	+21°
Ende	7 ^h 30.9 ^m	7 ^h 29.3 ^m	7 ^h 30.0 ^m	7 ^h 24.5 ^m
Sonnenhöhe	+39°	+39°	+39°	+34°

Es zeigt sich also, daß die Finsternis für alle vier Orte total war und ihr Verlauf überall beobachtet werden konnte.

Beispiel 3

Die Finsternisse +71 März 20 (ringförmig-total) und +75 Januar 5 (total), auf die in [3], S.202 bis 205 näher eingegangen wird, sollen mit dem CANON berechnet werden.

Ginzel zitiert Plutarch (de facie in orbe lunae. c. 19): "Daß von allen Erscheinungen an der Sonne nichts so ähnlich ist dem Sonnenuntergange als eine Sonnenfinsternis, gebt ihr mir zu, wenn ihr euch der neulichen Zusammenkunft (von Sonne u.Mond) erinnert, diese hatte gleich nach Mittag begonnen, viele Sterne an vielen Punkten des Himmels sichtbar gemacht und der Luft eine Färbung gleich der Dämmerung verliehen."

Ginzel untersucht die Finsternisse +59 April 30, +71 März 20 und +75 Januar 5 und kommt zu dem Schluß, daß Plutarch die Finsternis des Jahres 71 n.Chr. beobachtete.

Nach dem speziellen Kanon wird bei dieser Finsternis das Maximum in Delphi um 11^h00^m mittlerer Zeit (= 9^h30^m UT) erreicht.

Die Berechnung mit dem CANON kommt mit einem Delta-T von 140.0 Minuten (statt der vorgeschlagenen 145.3) diesem Termin am nächsten: Beginn 8^h08.2^m, Maximum 9^h29.9^m und Ende 10^h54.6^m (alle Zeiten in UT).

Da die Sonne am Finsternistag in Delphi um 10^h39^m UT kulminierte, widerspricht die Tageszeitangabe bei Plutarch der Finsterniswahl durch Ginzel (eine Fußnote auf Seite 204 ist nicht ganz überzeugend).

Verwendet man für die Delta-T-Berechnung die Formel, die Morrison und Stephenson 1982 mitgeteilt haben, ergibt sich für die Finsternis des Jahres 71 ein Delta-T von 163.5 Minuten und für die Finsternis des Jahres 75 ein Delta-T von 162.8 Minuten.

Wird die letztgenannte Finsternis mit diesem Delta-T berechnet, kommt man zu dem Ergebnis, daß diese Finsternis eher der Plutarch'schen Beobachtung entsprechen würde, wie ein Vergleich der Größenkurven der beiden Finsternisse zeigt. Auf den beiden Diagrammen gilt die Mittagslinie für beide Finsternisse (am 5.1.75 kulminierte die Sonne in Delphi um 10^h40^m UT).

Beispiel 4

In einer Arbeit von K.D. Pang, K.K. Yau und H.-H. Chau über die zeitlichen Schwankungen der Erdrotation und die Analyse von Finsternisberichten aus dem alten China wird auch die ringförmige Sonnenfinsternis -1911 September 24 untersucht [4]. Diese Finsternis wird als 'Double Sunset'-Finsternis bezeichnet, d.h. für ein Gebiet des Miao-Volkes im Südwesten Chinas (28° nördl. Breite, 114° östl. Länge) soll das Maximum kurz vor Sonnenuntergang stattgefunden haben. Eine Erscheinung dieser Art konnte z.B. auch im südlichen Kalifornien bei der ringförmigen Sonnenfinsternis +1992 Januar 4 beobachtet werden.

Wird die chinesische Finsternis mit dem Delta-T von Spencer-Jones (679.4 Minuten) berechnet, kommt es zum Maximum mit einer Größe von 0.985 bei einer Sonnenhöhe von 7° um 10^h04.5^m, etwa 35 Minuten vor Sonnenuntergang (10^h40^m UT nach dem URANIASTAR).

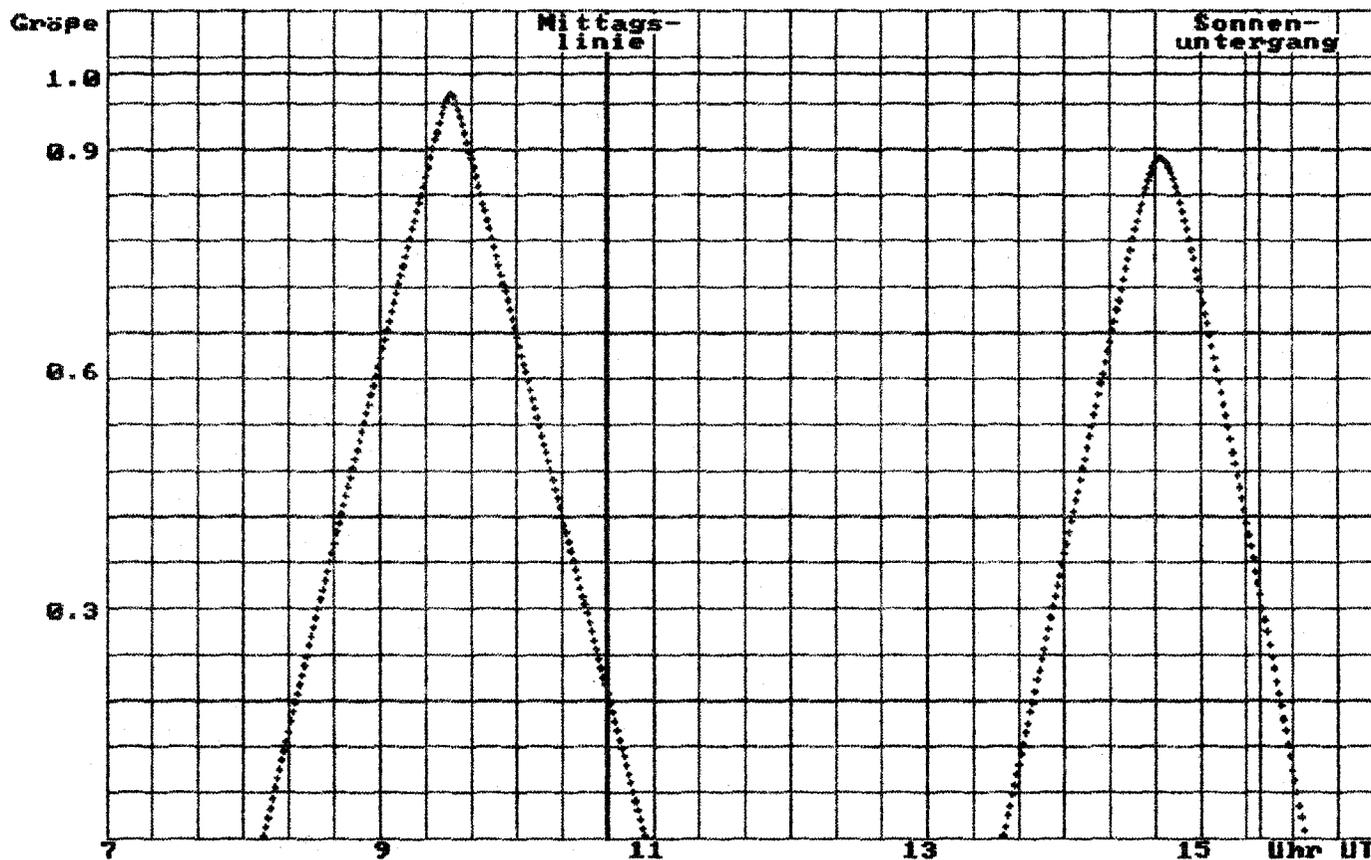
Etwas näher rückt das Maximum an den Sonnenuntergang heran, wenn man mit einem Delta-T von 658.0 Minuten, das noch eine kurze Ringförmigkeit für das bezeichnete Gebiet erlaubt, die Finsternis rechnet: Maximum um 10^h25.9^m UT mit einer Größe von 0.974 bei einer Sonnenhöhe von 2°. Der zeitliche Abstand zum Sonnenuntergang verringert sich dadurch auf etwa 15 Minuten und wird dem 'Double Sunset' damit eher gerecht. (Siehe Grafik der Fundamentalebene für die Finsternis, 10^h40^m UT.)

Da in der eingangs erwähnten Arbeit auch eine universelle Formel für Delta-T (in Sekunden), u.zw. $(30 \pm 2.5)T^2$ angegeben wird (T ist die Zeitdifferenz in Jahrhunderten von +1800 aus), ist es noch interessant, wie das oben verwendete Delta-T von 658.0 Minuten sich hier einfügt. Mit $T = (1911+1800)/100 = 37.11$ ergibt sich ein Faktor von 28.7, der also noch im Bereich des Formel-Faktors liegt.

Beobachtungsort: Delphi (-22°30' Lg., +38°29' Br., 300 m Sh.)

Ringf.-Tot.Sonnenfinsternis
+71 März 20 dT(Min.)= 140.0

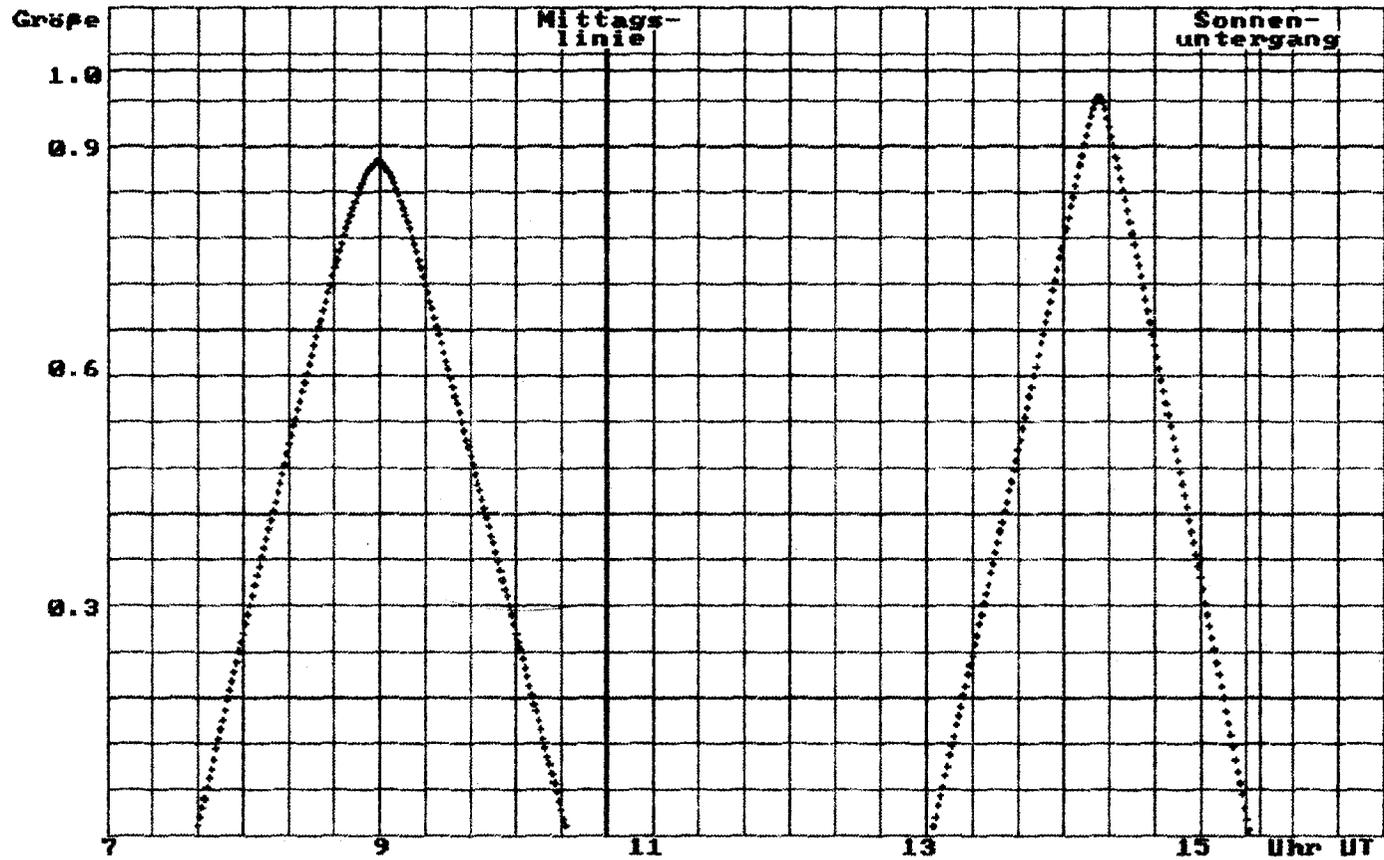
Totale Sonnenfinsternis
+75 Januar 5 dT(Min.)= 139.4



Beobachtungsort: Delphi (-22°30' Lg., +38°29' Br., 300 m Sh.)

Ringf.-Tot.Sonnenfinsternis
+71 März 20 dT(Min.)= 163.5

Totale Sonnenfinsternis
+75 Januar 5 dT(Min.)= 162.8



Sonnenfinsternis -1911 Sep 24 R
 Delta-T (Minuten) 658.0

•Miao
 Lg. -114° 0'
 Br. + 20° 0'
 Seehh. 0 m

[B]eginn (UT)
 9h22.9m
 P 290°
 Soh +16°

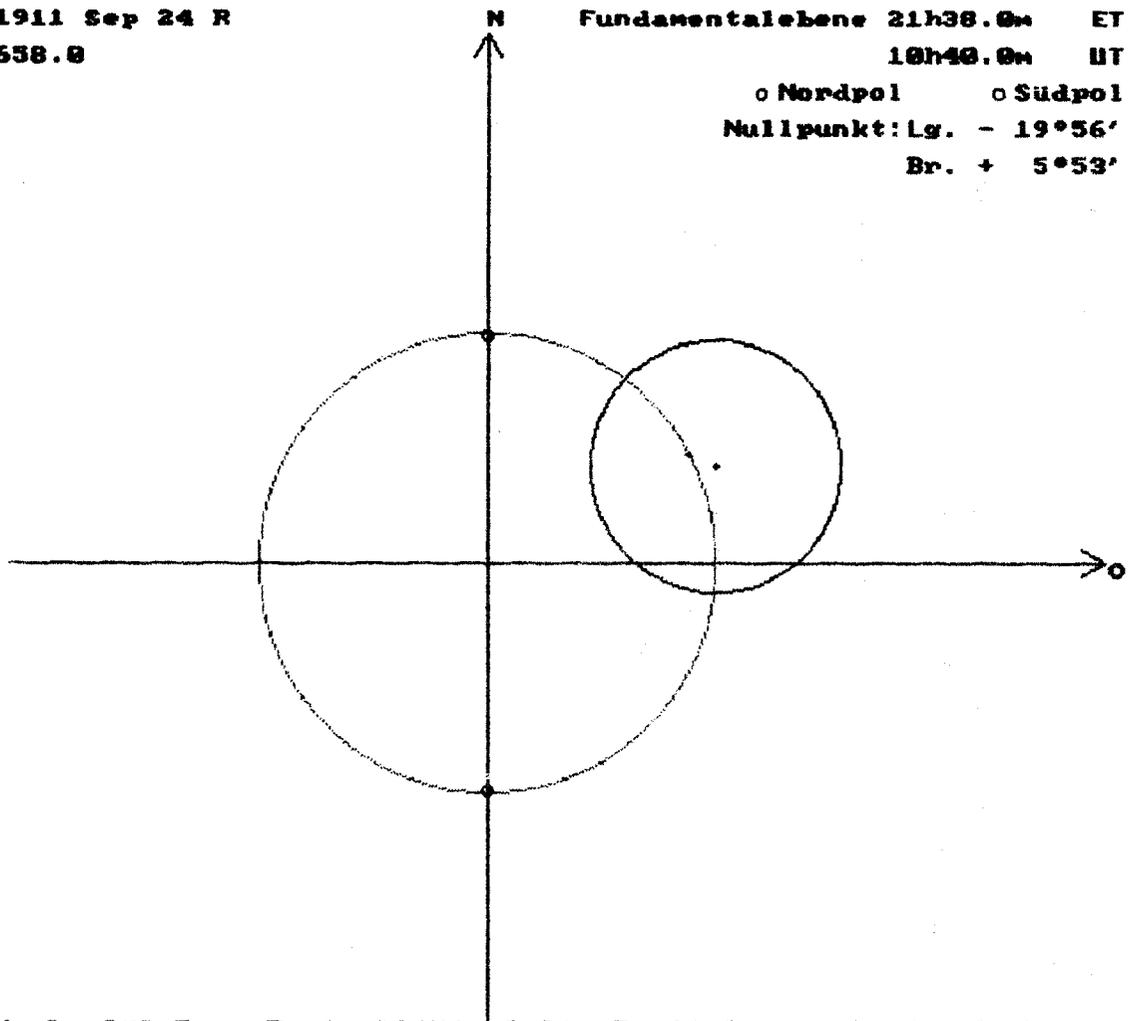
[M]aximum (UT)
 10h25.9m
 Gr 0.974
 Soh + 2°
 Rgf Dau(m) 0.1

[E]nde (UT)
 11h23.1m
 P 110°
 Soh -10°

Phase für Ort
 Gr 0.751
 P 113°
 Soh - 1°

[+/-] 1 Minute vor/zrk [*] Beg. Zentralität Delta-T mit Cursor-Tasten ändern:
 [0] Menü [1] Ortswahl [/] Ende Zentralität ↑ / ↓ (+/- 1) → / ← (+/- 0.1)

Fundamentalebene 21h38.0m ET
 10h40.0m UT
 o Nordpol o Südpol
 Nullpunkt: Lg. - 19°56'
 Br. + 5°53'



Anmerkung:

Die im „Canon“ verwendete Ephemeridenzeit (ET) heißt heute dynamische Zeit (DT).

9.Fortsetzung Gastvortrag: Der „Canon of Solar Eclipses, -2003 to +2526“ in der Praxis

Literatur:

- [1] H. Mucke - J. Meeus, Canon of Solar Eclipses -2003 to +2526, Astronomisches Büro, Wien 1983
- [2] F.R. Stephenson, Historische Finsternisse - eine astronomische Fundgrube, Spektrum der Wissenschaft, Dezember 1982, Heidelberg
- [3] F.K. Ginzel, Spezieller Kanon der Sonnen- und Mondfinsternisse für das Ländergebiet der klassischen Altertumswissenschaften und den Zeitraum von 900 vor Chr. bis 600 nach Chr. Mayer & Müller, Berlin 1899.
- [4] K.D. Pang, K.K. Yau and H.-H. Chau, Postglacial Rebound and Other Influences on the Earth's Secular Rotation Rate, from Analysis of Ancient Eclipse Records. GeoResearch Forum Vols. 3-4 (1998) pp.459-488, Trans Tech Publications, Switzerland 1998

Karl Silber, Cumberlandpark 16, A-4810 Gmunden

Referat: Finsternisgebiete

Sonnenfinsternisse gehören wohl zu den aufregenden astronomischen Ereignissen. Beobachtungen periodischer Vorgänge - des Sonnen- und Mondlaufs am Himmel - wurden die ersten Grundlagen eines Zeitsystems, eines Kalenders, und Finsternisse waren immer beeindruckende Konstellationen der Himmelskörper zueinander. Seit jeher wurden daher Anstrengungen unternommen, Finsternisse vorherzusagen: von den babylonischen Finsternistafeln [1],[2] bis zu den modernen Canones [3],[4],[5],[6],[7]. Der gesamte Verlauf einer Sonnenfinsternis kann heute berechnet und auf einer geographischen Karte dargestellt werden. Daraus wird ersichtlich, wo und wann die Finsternis zu beobachten ist [8],[9],[10].

1 Grundlegende Begriffe

Für das Auftreten einer Sonnenfinsternis müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein, die im Referat „Die Geometrie astronomischer Finsternisse“ erläutert wurden. Kern- und Halbschattenkegel bilden auf der Besselschen Fundamentalebene im rechtwinkligen Koordinatensystem x,y,z , das den Ursprung im Erdmittelpunkt hat, zwei konzentrische (Schnitt-)Kreise (Friedrich Wilhelm Bessel, 1784 – 1846 [1],[11],[12]). Dabei weist die x -Achse positiv nach Osten, die y -Achse positiv nach Norden und die z -Achse liegt parallel zur Schattenachse. Auf Grund der Mondbewegung um die Erde und dem Erdumlauf um die Sonne bewegt sich der Mondschatten auf dieser Ebene. Sind der Verlauf des Mondschattens und die Radien des Halbschattens L_1 und des Kernschattens L_2 auf der Fundamentalebene bekannt, so entsteht in Projektion auf die Erdoberfläche das Sichtbarkeitsgebiet der Finsternis.

In den folgenden Darstellungen der verschiedenen Finsternisgebiete zeigt das linke Bild jeweils den Schattenlauf auf der Fundamentalebene, das rechte das Sichtbarkeitsgebiet auf der Erdoberfläche.

Die Linie GH - auf die Erdoberfläche projiziert $G'H'$ - ist die **Zentrallinie** der Finsternis. Auf dieser Linie ist der Mittelpunkt des Mondes genau über dem Mittelpunkt der Sonne. Die Finsternis ist **zentral total**, wenn der Schattenkegel bis zur Erdoberfläche reicht. Andernfalls ist sie **zentral ringförmig**, die Kernschattenspitze des Mondes erreicht die Erde nicht mehr. Dies ist der Fall, wenn sich der Mond in Nähe des Apogäums befindet. (In einem Sonderfall kann sie sogar total für einen Teil und sonst ringförmig sein.) Es gibt aber auch Fälle ohne Zentrallinie. Solche Finsternisse heißen **partiell** oder in Sonderfällen sind sie **nicht zentral** (total oder ringförmig).

Zur Darstellung der verschiedenen Finsternisgebiete werden folgende Diagramme verwendet:

1. Fortsetzung Referat: Finsternisgebiete

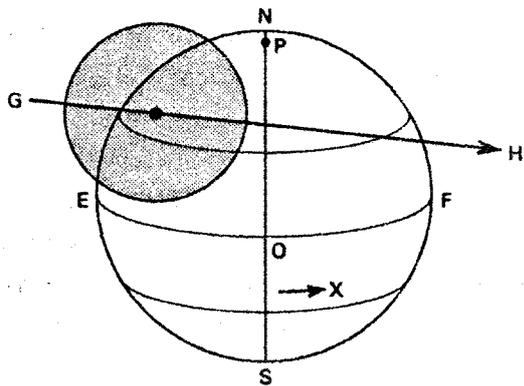


Abb.1 [13]

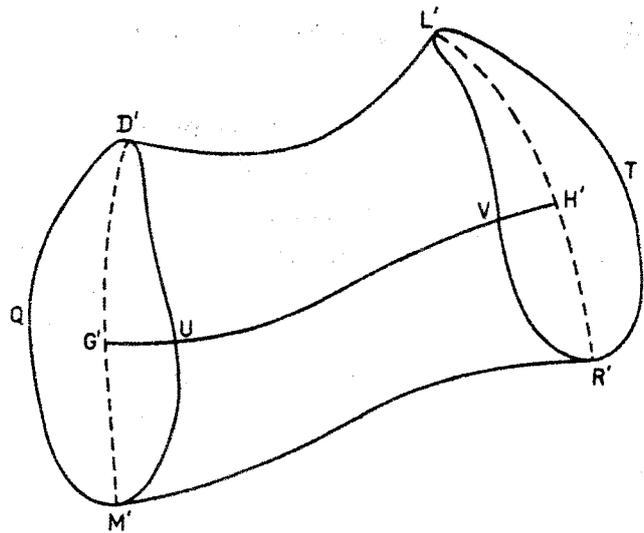


Abb.2 [13]

- Das Mondschattencentrum läuft von G nach H über die in Richtung X rotierende Erde (Abb.1)
- Form des Finsternisgebiets auf einer geographischen Karte (Bsp. zeigt Abb.2)

2 Finsternisgebiete

2.1 TYP I

Im einfachsten Fall läuft der gesamte Mond(halb)schatten über die Erdoberfläche (Abb.3). Die Finsternis besitzt eine Zentrallinie und ist daher zentral total, zentral ringförmig oder ringförmig-total.

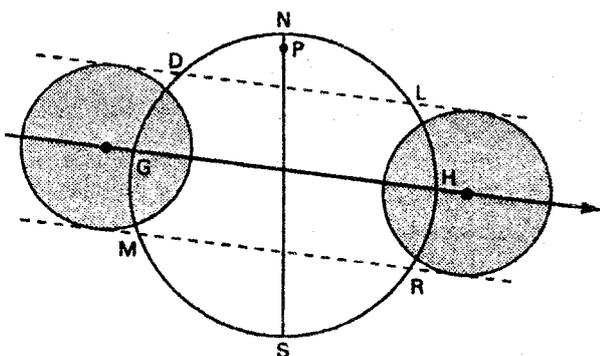


Abb.3 [13]

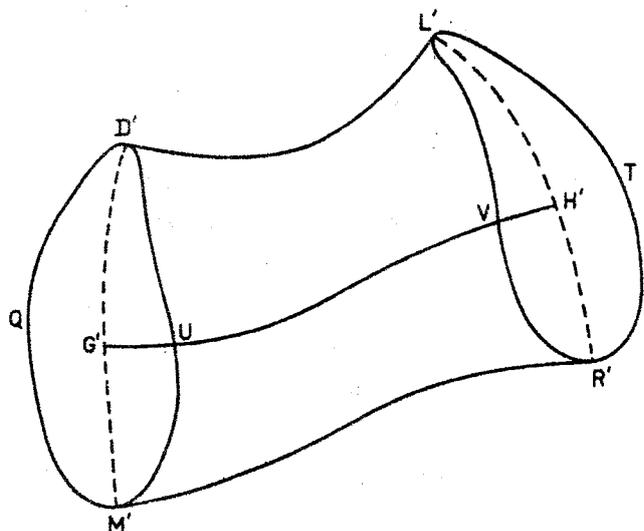


Abb.4 [13]

2. Fortsetzung Referat: Finsternisgebiete

Das Finsternisgebiet (Abb.4) besitzt eine nördliche Begrenzung D'L' und eine südliche Begrenzung M'R'. Dabei handelt es sich um die Projektionen der Linien DL und MR aus Abb.3 auf die Erdoberfläche. Weiters ist das Finsternisgebiet durch das Auf- (D'UM'Q) und Untergangsgebiet (L'TR'V) begrenzt. Auf dem Bogen D'UM'Q beginnt die Finsternis bei Sonnenaufgang, auf dem Bogen D'G'M' ist bereits das Finsternismaximum bei Sonnenaufgang zu sehen, und auf dem Bogen D'QM' endet die Finsternis bei Aufgang der Sonne. Ähnlich ist es für das Untergangsgebiet: Am Bogen L'VR' endet die Finsternis genau mit Sonnenuntergang, auf dem Bogen L'H'R' befindet sich das Finsternismaximum zu Sonnenuntergang und ein Beobachter auf der Linie L'TR' hat wohl wenig Freude, denn dort beginnt die Finsternis genau mit Sonnenuntergang.

Beispiel: Totale Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

Abb.5 zeigt den Gesamtverlauf der Finsternis, die dem Saros-Zyklus 136 angehörte (im absteigenden Knoten). Die Totalitätszone führte von Hawaii über Mexiko und Kolumbien nach Brasilien. Die maximale Totalitätsdauer betrug 6m58s (für den Punkt $\lambda = 105^{\circ}33.4'$, $\varphi = 22^{\circ}8.0'$); die Sonne stand dort schon fast exakt im Zenit (Sonnenhöhe 87°). Das Maximum der Sonnenhöhe erreichte einen Wert von $89^{\circ}53'$. Die Breite der Totalitätszone betrug bis zu 261km [15].

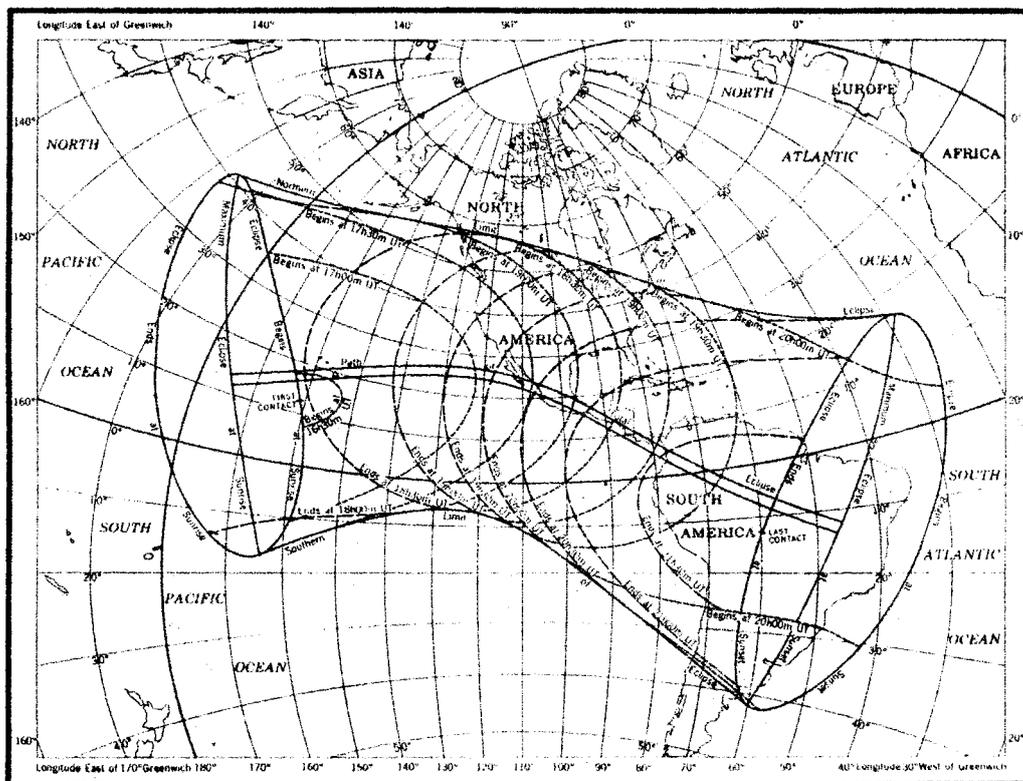


Abb.5 Totale Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991 ([9],1991)

2.2 TYP II

Finsternisgebiete vom Typ II sind ähnlich wie jene vom Typ I zentral (total, ringförmig oder ringförmig-total). Sie unterscheiden sich jedoch von Typ I insofern, da der Mondschatten

3. Fortsetzung Referat: Finsternisgebiete

nicht zur Gänze auf der Erdoberfläche ist, sondern im Norden (bzw. im Süden) über die Erde hinausreicht (Abb.6).

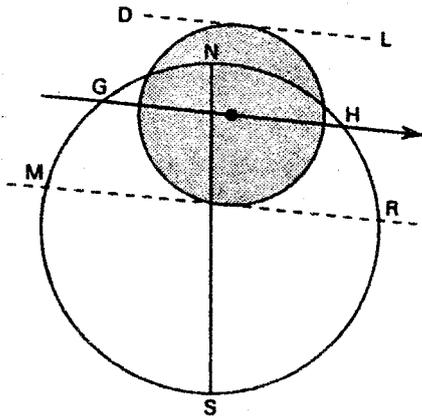


Abb.6 [13]

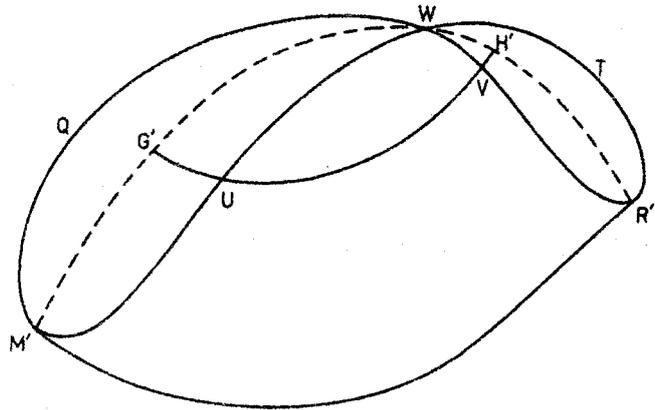


Abb.7 [13]

Es gibt auf der Karte dementsprechend nur eine südliche (bzw. eine nördliche) Begrenzungslinie (Abb.7). Auf- und Untergangsgebiet sind nicht mehr getrennt, sondern stoßen genau in einem Punkt W zusammen, welcher in der Polarregion liegt. Der Bogen M'WR' stellt nun das Finsternismaximum am Horizont dar. Die Linie G'H' ist wieder die Zentrallinie. Die gesamte Finsternis ist im Gebiet M'UWVR' zu sehen.

Beispiel: Totale Sonnenfinsternis vom 11. August 1999

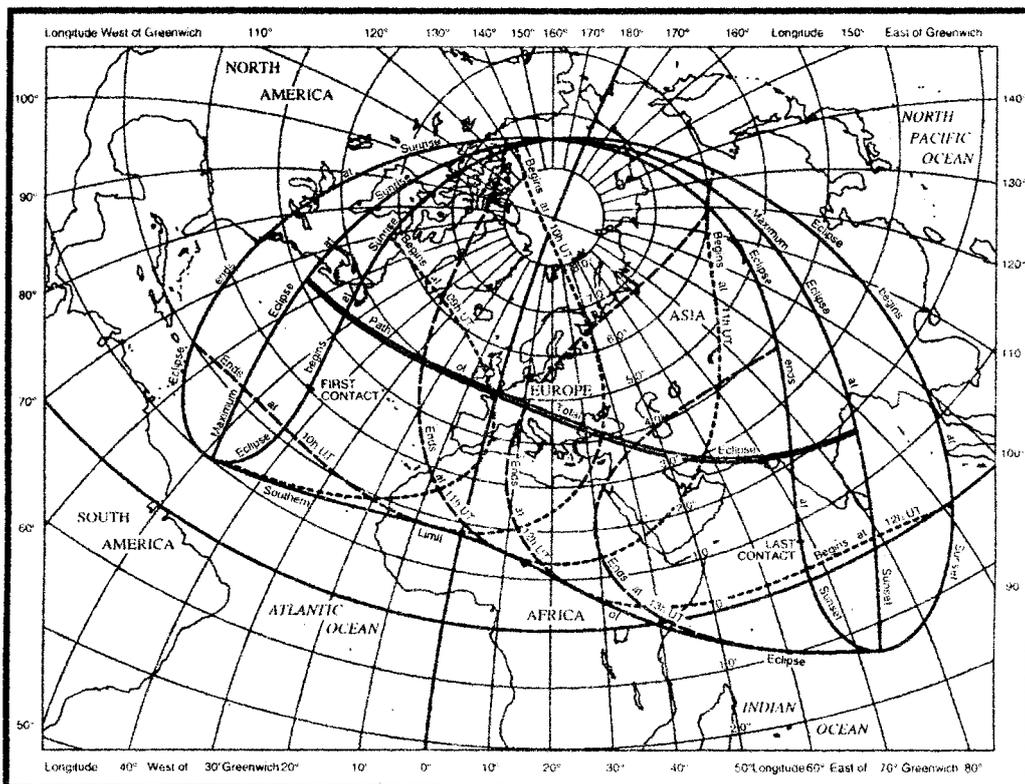


Abb.8 Totale Sonnenfinsternis vom 11. August 1999 ([9], 1999)

4. Fortsetzung Referat: Finsternisgebiete

Das Sichtbarkeitsgebiet für diese Finsternis ist vom Typ II (Abb.8). Die Totalitätszone beginnt im Atlantik östlich von New York, läuft über Mitteleuropa (und Österreich!) weiter nach Südwestasien und endet in Indien. Die Finsternis gehört zum Saros-Zyklus 145 und findet daher im aufsteigenden Knoten statt. Maximale Totalitätsdauer ist 2m27s für den Punkt $\lambda = 23^\circ \varphi = 45^\circ 30'$.

2.3 TYP III

Rückt die Linie GH über den nördlichen (oder südlichen) Rand der Erde hinaus (Abb.9), d.h. trifft der Kernschatten nicht mehr auf die Erdoberfläche, dann erhält man ein Finsternisgebiet vom Typ III. Die Erde wird nur von einem Teil des Halbschattens getroffen. Die Finsternis selbst ist partiell, es gibt nirgends eine Totalitätszone. Das Finsternisgebiet auf einer geographischen Karte (Abb.10) ist ähnlich wie im Fall von Typ II: Wieder treffen Auf- und Untergangsgebiet in einem Punkt W zusammen, jedoch fehlt hier die Totalitätslinie G'H'. Das Maximum der Finsternis ist im Punkt mit dem geringsten Abstand zur Schattenachse. In Abb.9 wird dieser Punkt mit Y markiert. Man erhält ihn durch Schneiden einer Geraden normal zu GH durch den Erdmittelpunkt mit der Kreislinie. Die Projektion Y' (Abb.10) liegt natürlich auf der Horizontkurve M'R'.

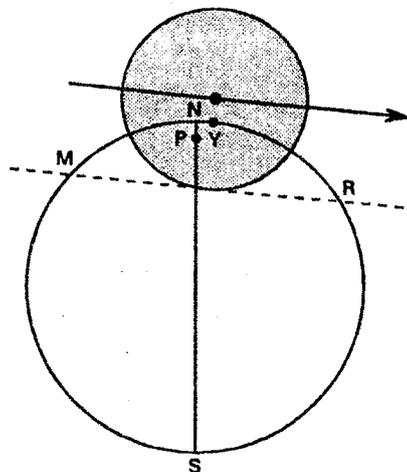


Abb.9 [13]

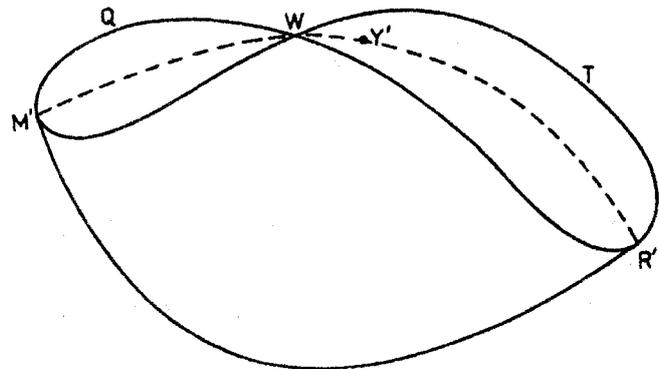


Abb.10 [13]

Beispiel: Partielle Sonnenfinsternis vom 1./2. September 1997

Diese Finsternis war über Australien, Neuseeland und der Antarktis zu sehen. Besonders zu beachten ist, daß es hier keine Zentrallinie gibt, da es sich um eine partielle Finsternis handelt. Zu sehen ist auch, daß der Punkt W in der Nähe des Südpols liegt.

5. Fortsetzung Referat: Finsternisgebiete

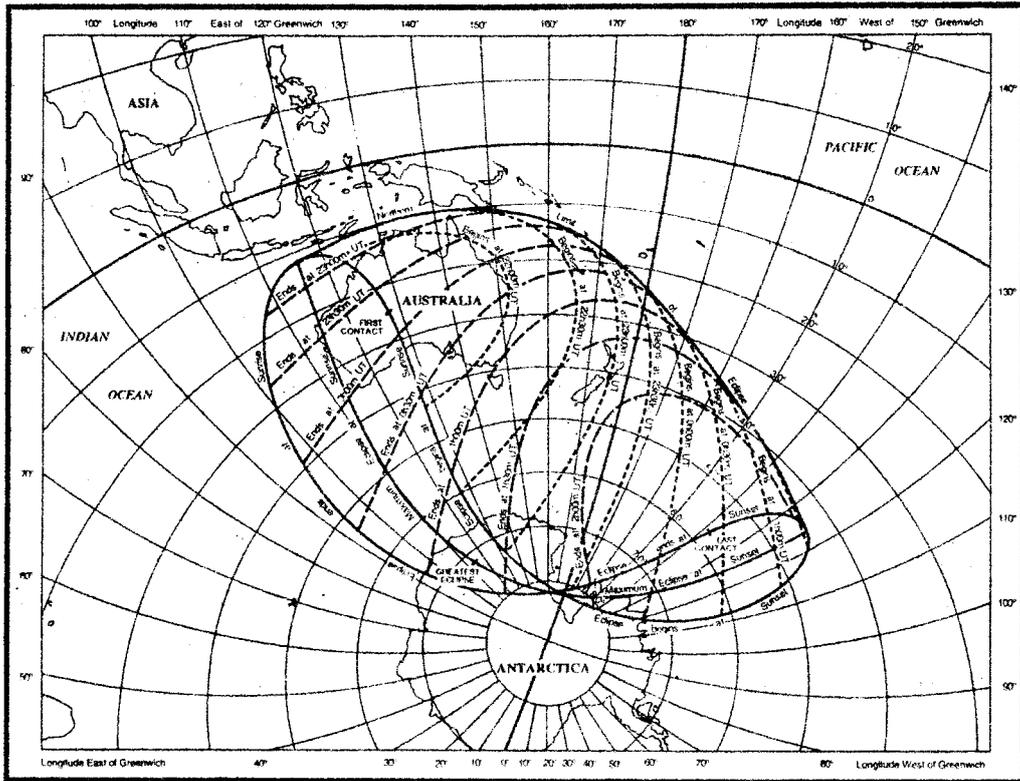


Abb.11 Partielle Sonnenfinsternis vom 1./2. September 1997 ([9],1997)

2.4 TYP IV

Ein Sonderfall einer zentralen Finsternis: Der Mond(halb)schatten ist zur Gänze auf der Erde. Doch im Gegensatz zu Typ I schneidet die nördliche (bzw. die südliche) Begrenzungslinie DL (MR) den Zentralmeridian N1S nicht (Abb.12). Man kann leicht erkennen, daß die nördliche (südliche) Begrenzungskurve in der Karte sehr kurz sein muß (Abb.13).

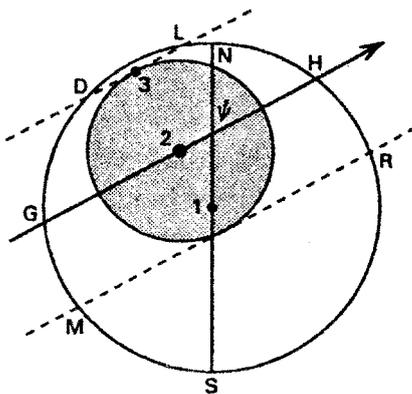


Abb.12 [13]

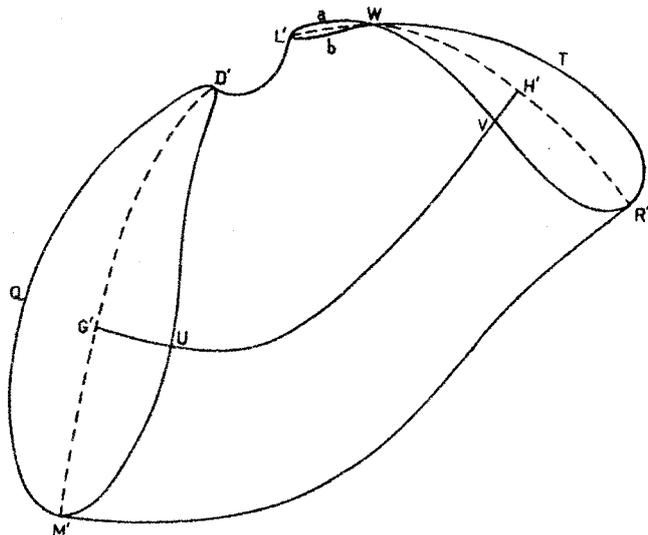


Abb.13 [13]

6. Fortsetzung Referat: Finsternisgebiete

Auf- und Untergangsgebiet haben eine kompliziertere Struktur als bei Typ I der Fall war. Am Bogen D'UM' beginnt die Finsternis bei Sonnenaufgang und auf dem Bogen D'QM' endet sie bei Sonnenaufgang in unserem Fall (Abb.13). Auf der Kurve WVR' endet die Finsternis, auf WTR' beginnt sie mit Sonnenuntergang. Das im Punkt W nun anhängende kleine Gebiet ist ein Aufgangsgebiet. Auf dem Bogen L'aW endet die Finsternis mit Sonnenaufgang, auf L'bW beginnt sie mit Sonnenuntergang. Die Kurven M'G'D' und L'W' sind nun jene, auf denen bereits das Maximum der Finsternis bei Sonnenaufgang am Horizont erscheint. Für Beobachter auf der Kurve WH'R' stellt sich das Maximum bei Sonnenuntergang ein.

Der kürzeste Abstand zwischen Erdmitte und Schattenachse γ (in Einheiten des Erdradius) ist in Abb.12 als Distanz zwischen den Punkten 1 und 2 gegeben. Für den gezeigten Fall ist $\gamma > 0$, die Schattenachse liegt nördlich der Erdmitte. ψ sei der Winkel zwischen SN und GH. Für das Auftreten einer Typ IV Finsternis gibt es zwei Bedingungen, die beide erfüllt sein müssen:

- 1) Der ganze Mond(halb)schatten muß über die Erde laufen:

$$|\gamma| + L_1 < 0.9972$$

- 2) Der nördlichste Punkt N (bzw. der südlichste Punkt S) soll vom Schatten im Verlauf der Finsternis erfaßt werden:

$$0.9972 \sin \psi < |\gamma| + L_1 \quad \text{daraus folgt:}$$

$$0.9972 \sin \psi < |\gamma| + L_1 < 0.9972$$

Der Wert 0.9972 berücksichtigt die Erdabplattung.

Beispiel: Ringförmige Sonnenfinsternis vom 4./5. Jänner 1992

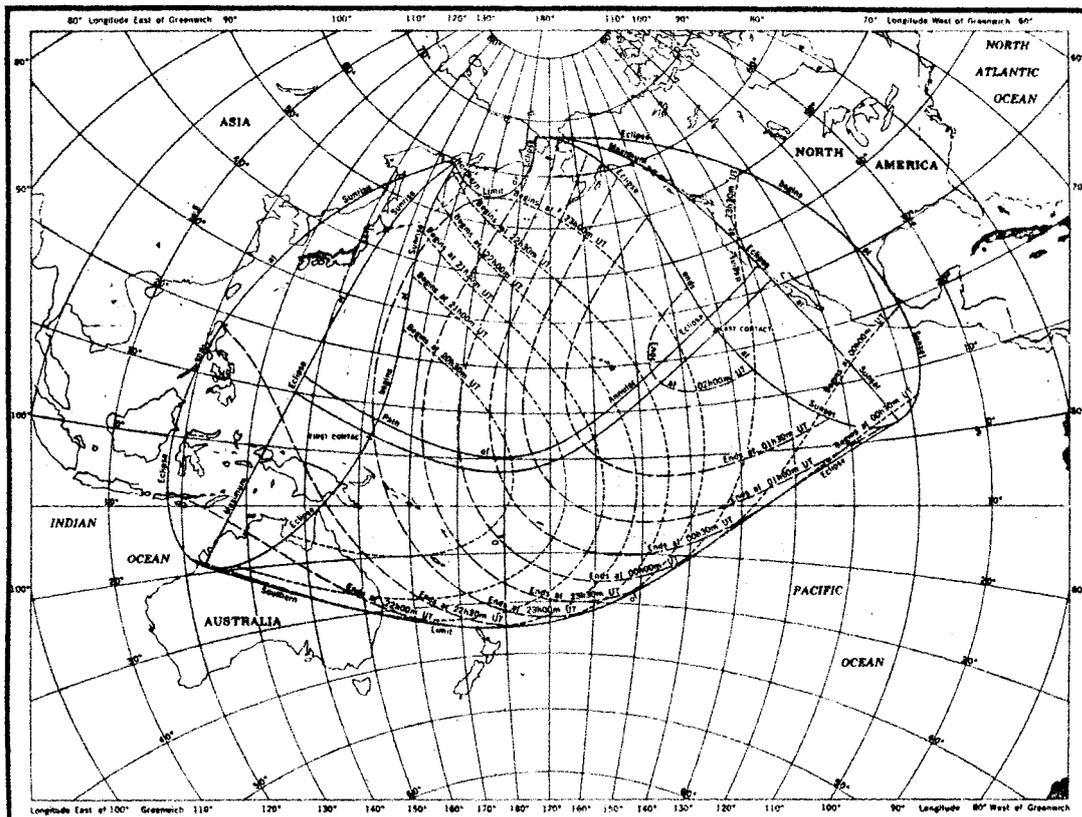


Abb.14: Ringförmige Sonnenfinsternis vom 4./5. Jänner 1992 ([9],1992)

7. Fortsetzung Referat: Finsternisgebiete

Die Zone ringförmiger Verfinsterung begann im Pazifischen Ozean (etwa 1500 km südlich von Japan) und gelangte zu Sonnenuntergang noch an die Küste Kaliforniens. Zu beachten ist die Spitze, die gerade noch im ostsibirischen Gebirgsland knapp vor der Beringstraße liegt. Ist der Wert von $|\gamma| + L_1$ nur sehr gering größer als $0.9972\sin\psi$, dann wird die Schleife $WaL'b$ so klein, daß sie auf der Karte nicht mehr sichtbar ist.

2.5 TYP V

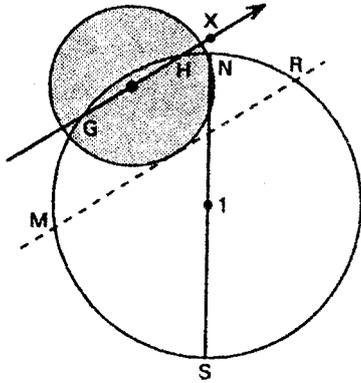


Abb.15 [13]

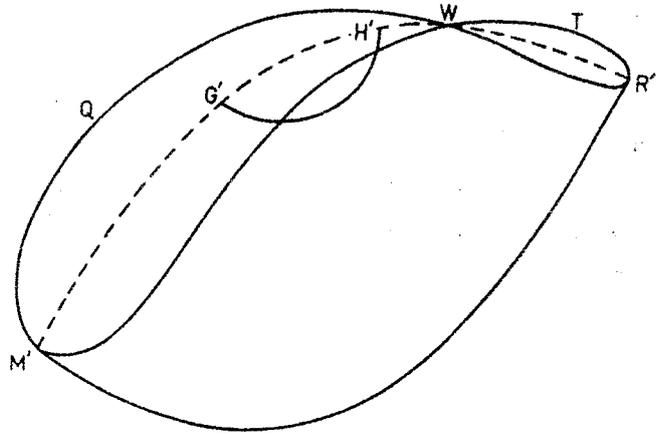


Abb.16 [13]

Beispiel: Ringförmige Sonnenfinsternis vom 26. Jänner 1990

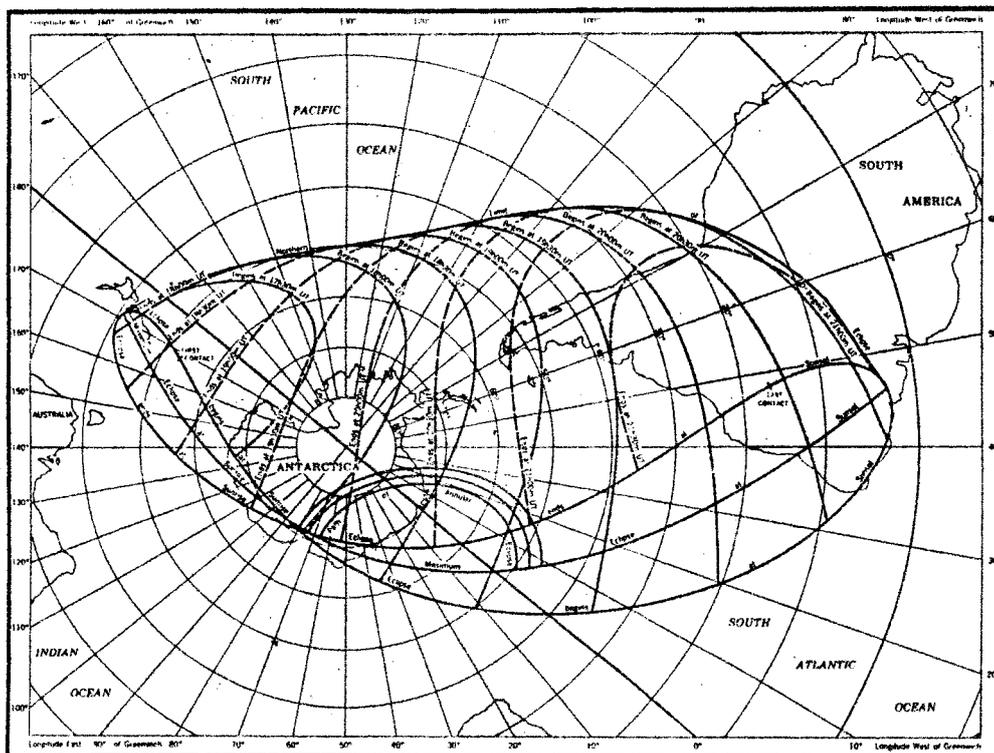


Abb.17: Ringförmige Sonnenfinsternis vom 26. Jänner 1990 ([8],1990)

8. Fortsetzung Referat: Finsternisgebiete

Die "Antikernschattenzone" begann über der Antarktis und endete im Südatlantik. Die ringförmige Finsternis war ausschließlich am Nachmittag zu sehen: Die Zentrallinie begann und endete auf der Untergangskurve.

Allgemein gibt es hier (Abb.15,16) keine zentrale Finsternis im lokalen Mittag, da die Zentrallinie den Zentralmeridian erst außerhalb der Erde schneidet - auf der Zentrallinie findet die Finsternis daher ausschließlich am Vormittag oder am Nachmittag statt. Die Bedingung, die für ein solches Ereignis erfüllt sein muß, lautet: $0.9972 \sin \psi < |\gamma| < 0.9972$

2.6 TYP VI

In diesem Fall trifft der Mond(halb)schatten die Erde nur in einem kleinen Bereich (Abb.18). Die Finsternis ist daher partiell. Die Schattenachse läuft außerhalb der Erde vorbei und der Schatten schneidet nicht den Zentralmeridian. Wie in (Abb.18) zu sehen ist, ist die Finsternis nur am Nachmittag zu beobachten. Das Maximum der Verfinsterung ist im Punkt Y. Abb.19 zeigt das Finsternisgebiet auf einer Karte. M'XR' ist die südliche Begrenzung der Finsternis. Auf dem Bogen M'TR' beginnt die Finsternis, auf M'QR' endet sie bei Sonnenuntergang. In diesem Fall gibt es kein Aufgangsgebiet. Die Bedingung lautet hier: $0.9972 \sin \psi < |\gamma| - L_1 < 0.9972$

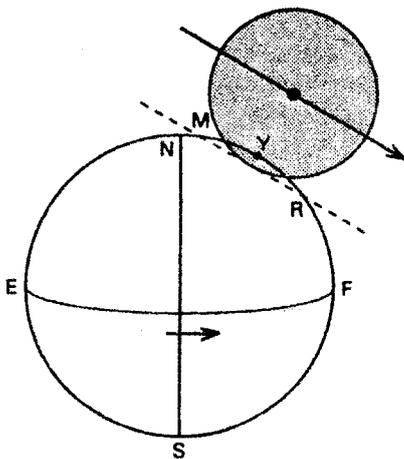


Abb.18 [13]

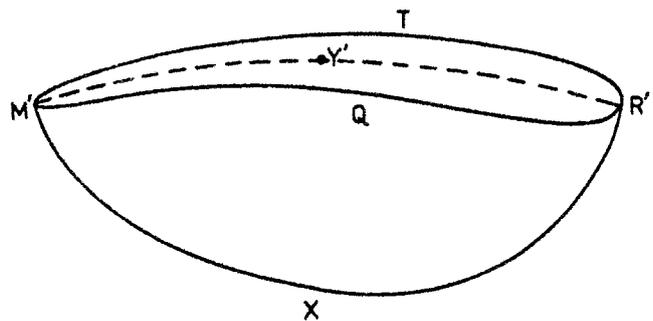


Abb.19 [13]

Beispiel: Partielle Sonnenfinsternis vom 12. September 1931

9. Fortsetzung Referat: Finsternisgebiete

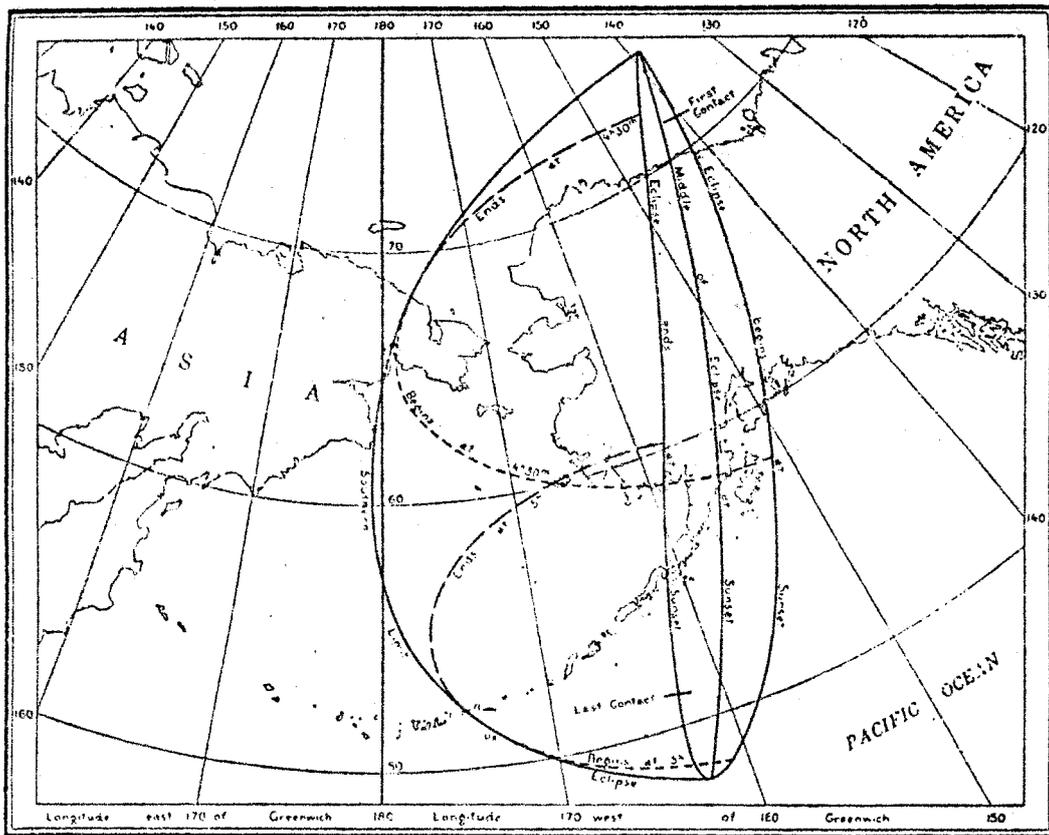


Abb.20: Partielle Sonnenfinsternis vom 12. September 1931 ([10]1931)

2.7 TYP VII

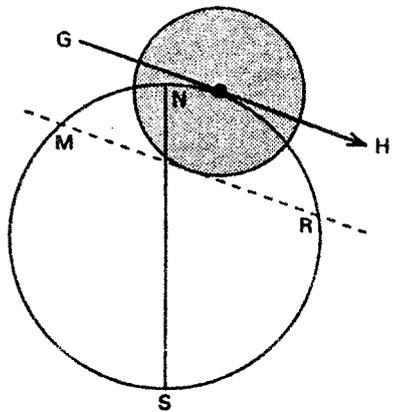


Abb.21 [13]

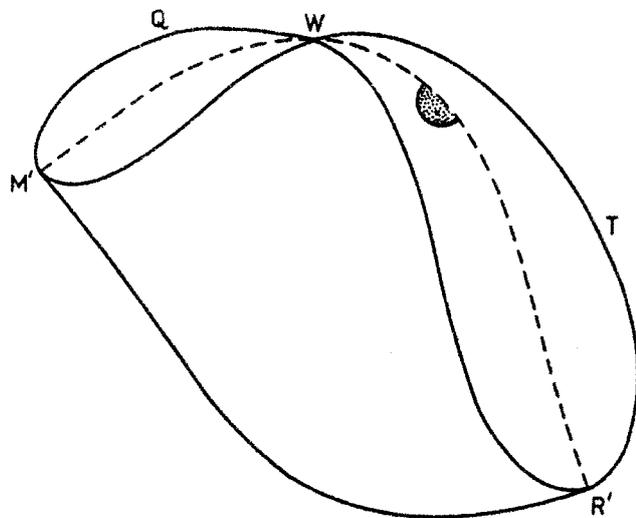


Abb.22 [13]

Dies ist ein ganz seltener Fall: Die Linie GH läuft knapp an der Erde vorbei, der Kernschatten des Mondes streift jedoch noch ein kleines Gebiet (Abb.21). Das

10. Fortsetzung Referat: Finsternisgebiete

Finsternisgebiet weist daher eine Totalitätszone ohne Zentrallinie auf (nicht zentral total oder nicht zentral ringförmig, falls der Mondschattenkegel nicht bis zur Erde reicht). In unserem Fall liegt dieses kleine Totalitätsgebiet im Untergangsgebiet (Abb.22). Die totale bzw. ringförmige Phase kann von diesem Gebiet nur in niedriger Höhe beobachtet werden.

Beispiel: Nicht zentrale ringförmige Sonnenfinsternis vom 29./30. April 1957

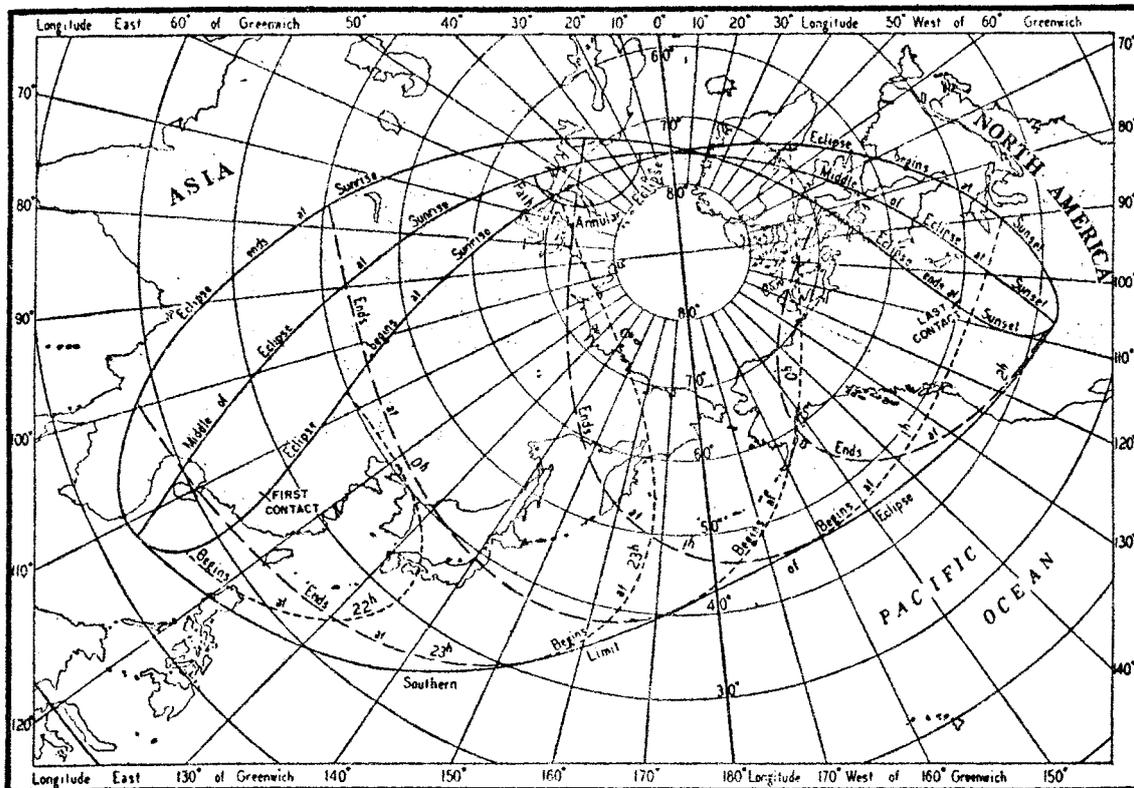


Abb.23: Nicht zentrale ringförmige Sonnenfinsternis vom 29./30. April 1957 ([10],1957)

2.8 Finsternis im Nord- und Südpunkt des Horizonts

Die Kurve, die das Maximum der Finsternis am Horizont angibt, muß nicht immer durch den Punkt W laufen. Das Sichtbarkeitsgebiet wird durch die Tangentialkurve XY erweitert (Abb.24). Im Gebiet 1 ist das Maximum der Finsternis sichtbar. Im Gebiet 2 sieht man zwischen Sonnenauf- und Sonnenuntergang Maximum der Finsternis bis zum Finsternisende. Im Gebiet 3 ist die Finsternis zwischen Sonnenauf- und Sonnenuntergang vom Beginn bis zum Maximum sichtbar. Auf der Kurve ACB steht nun die Sonne im Horizont, wobei in Punkt C das Maximum der Finsternis erreicht ist. Im Punkt W beginnt die Finsternis bei Sonnenaufgang und endet bei Sonnenuntergang. Definiert man Sonnenauf- bzw. Sonnenuntergang als Auftauchen bzw. Verschwinden des Mittelpunkts der Sonnenscheibe am Horizont, dann sind die Fälle a und b (Abb.25) möglich: Obwohl in a die Sonne bereits aufgegangen bzw. noch nicht untergegangen ist, ist die Finsternis nicht sichtbar, da sie unter dem Horizont stattfindet. In b ist per definitionem die Sonne noch nicht aufgegangen bzw. schon untergegangen. Trotzdem ist die Finsternis schon bzw. noch

11. Fortsetzung Referat: Finsternisgebiete

sichtbar. Nimmt man die Definition von Sonnenauf- bzw. Sonnenuntergang als das Auftauchen bzw. Verschwinden des oberen Sonnenscheibenrandes am Horizont, so zeigt Fall b, daß man die Finsternis noch vor Untergang bzw. nach Aufgang der Sonne sieht. Fall c zeigt ähnlich wie in a, daß die Finsternis nicht zu sehen ist, obwohl die Sonne bereits auf bzw. noch nicht untergegangen ist.

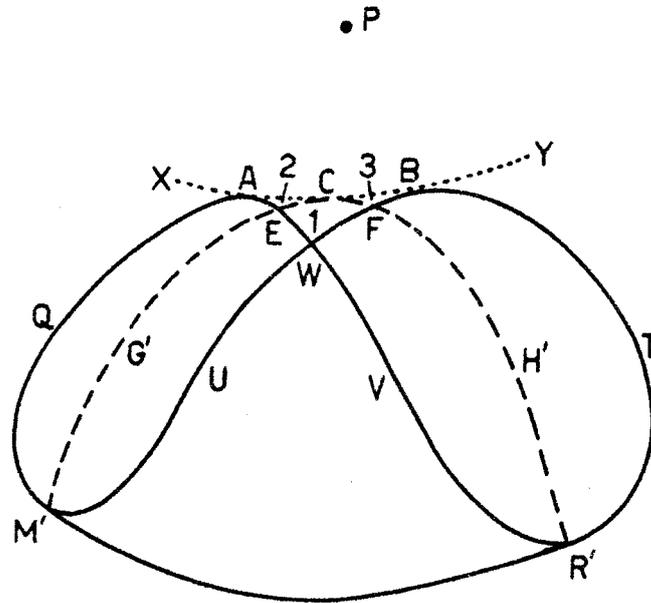


Abb.24 [13]

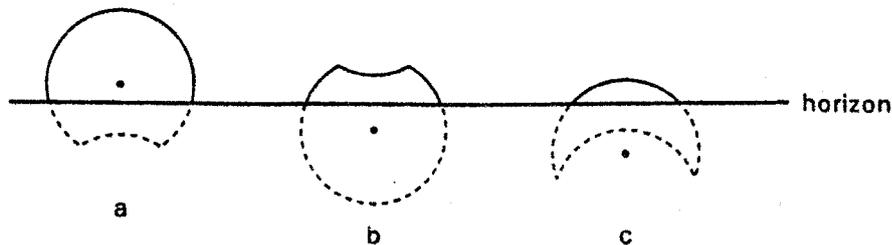


Abb.25 [13]

2.9 Entwicklung der Finsternisgebiete innerhalb eines Saros-Zyklus

Abb.26 zeigt, wie bei einem Übergang vom Sichtbarkeitsgebiet des Typs 2 zum Sichtbarkeitsgebiet des Typs 1 innerhalb eines Saros-Zyklus das Sichtbarkeitsgebiet vom Typ 4 zustande kommen kann. Die Trennung von Auf- und Untergangsgebiet (Typ 2) erfolgt nicht im Knotenpunkt W, sondern in seiner Nähe.

12. Fortsetzung Referat: Finsternisgebiete

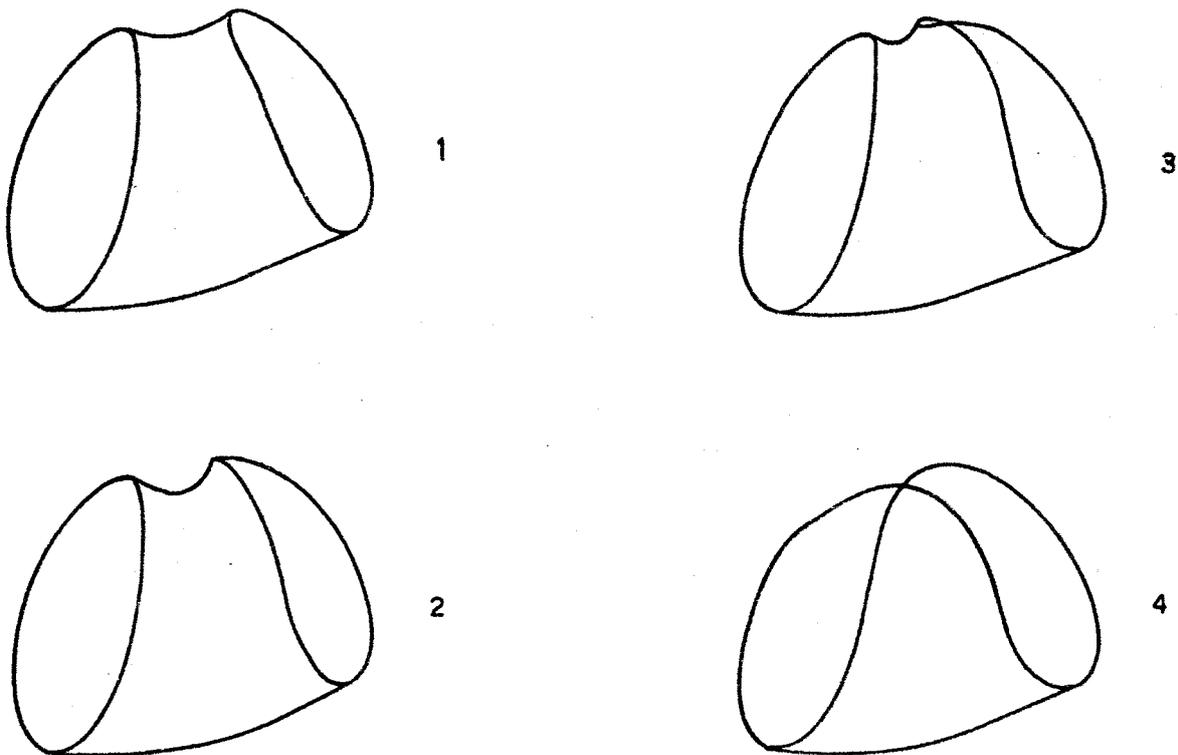


Abb.26 [14]

3 Auswahl von Finsternissen

TYP	Termine der Sonnenfinsternisse
I	1991 07 11, 1995 10 24, 1998 02 26, 1998 08 22, 2002 06 10
II	1983 06 11, 1992 06 30, 1997 03 09, 1999 02 16, 1999 08 11, 2001 06 21
III	1992 12 23/24, 1993 05 21, 1993 11 13, 1997 09 01/02, 2000 02 05
IV	1977 04 18, 1988 03 18, 1992 01 04, 2005 04 08, 2005 10 03, 2006 03 29
V	1985 11 12, 1986 10 03, 1990 01 26, 2003 11 23, 2008 02 07
VI	1902 04 08, 1935 01 05, 1971 07 22, 2083 07 15, 2098 10 24
VII	1967 11 02, 2014 04 29, 2043 04 09, 2043 10 03

4 Literatur

- [1] Mucke, H. (Hrsg.): Sternfreunde-Seminar. Wiener Planetarium 1979
- [2] Herrmann, J.: dtv-Atlas zur Astronomie. München 1973
- [3] Oppolzer, T. v.: Canon der Finsternisse. Band 52, Denkschriften der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Classe der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Wien 1887

13. Fortsetzung Referat: Finsternisgebiete

- [4] Ginzel, F. K.: Spezieller Kanon der Sonnen- und Mondfinsternisse für das Ländergebiet der klassischen Altertumswissenschaften und den Zeitraum von 900 vor Chr. bis 600 nach Chr. Mayer & Müller Berlin 1899
- [5] Meeus, J., Grosjean, C., Vanderleen, W.: Canon of the Solar Eclipses. Pergamon Press, Oxford 1966.
- [6] Mucke, H., Meeus, J.: Canon of Solar Eclipses –2003 to +2526. 2. Auflage, Astronomisches Büro, Wien 1992
- [7] Espenak, F.: 50 Year Canon of Solar Eclipses 1986-2035. NASA Reference Publ. 1579, July 1987 Revised
- [8] The Astronomical Almanac, US Government Washington/London
- [9] Astronomical Phenomena, US Government Washington/London
- [10] The Nautical Almanac and Astronomical Ephemeris, London
- [11] Bessel, W.F.: Astronomische Untersuchungen, 1842
- [12] Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac. University Press 1992
- [13] Meeus, Jean: Mathematical Astronomy Morsels. Willmann-Bell, Inc. 1997, S.56-S.87
- [14] Meeus, Jean: Eclipsgebieten. Overdruk Hemel en Dampkring 1969, S.87-99
- [15] Sterne und Weltraum 30[1991] Nr.7, S.468f

Silvia Haindl

1030 Wien, Hofmannsthalgasse 10/5/3

TAGES-BUSFAHRT ZUR TOTALEN SONNENFINSTERNIS

11.August 1999

Mit CARL ZEISS und dem Planetarium der Stadt Wien in die Nacht am Tag auf der Zentrallinie der totalen Sonnenfinsternis! Mit professionellen Erläuterungen, Spezialbrille für gefahrlose Beobachtung der Sonne, und Mittagsbuffet. Der Mond bedeckt die Sonne; silbergrüne Korona, Planeten und Sterne am Tag! Bei Schlechtwetter sind Ausweichmöglichkeiten vorgesehen. Fahrt auch bei Regenwetter, denn immer kann ein Wolkenloch die Sonne zeigen. Bei Schlechtwetter erleben wir aber auf alle Fälle 2^{min}20^s Nacht am Tag und sehen ein Ersatzprogramm mit dem Uraniastar-Planetarium. Erwachsene S 450.–, Kinder S 350.–: Buchungen an der Kasse des Planetariums, Wien 2, Oswald Thomas Platz, beim Riesenrad, Montag bis Freitag 8–14 und Sonntag von 14 –18 Uhr.

Fach-Voravorträge täglich 1.– 10. August: „Schwarze Sonne über Österreich“. Am 1.,7.,8. um 15, sonst 19 Uhr.– Nur am 1. im Anschluß: Multimediaschau „Totale Sonnenfinsternis über Südamerika“.

MULTIMEDIASCHAU IM WIENER PLANETARIUM:

TOTALE SONNENFINSTERNIS ÜBER SÜDAMERIKA

Sonntag, 1.August 1999, 15 Uhr, nach der Planetariumsschau „Schwarze Sonne über Österreich“. Für Seminarteilnehmer „Astronomische Finsternisse“ Teil des Seminars, sonst S 50.–/ S 25.–. Der bekannte österreichische Amateurastronom Hermann Koberger, der in Vilaflor auf Tenerife eine Privatsternwarte besitzt, vermittelt das aufregende Erlebnis einer totalen Sonnenfinsternis!

Tief beeindruckende Bild- und Tondokumente von Land und Leuten – Lima, Cuzco, Machu Picchu, La Paz, Titicacasee – und schließlich Beschreibung der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 3.November 1994 nahe Potosi mit hervorragenden Aufnahmen der Finsternis. Am Planetariumshimmel wird die Himmelslandschaft Boliviens und der zeitgeraffte Ablauf der Finsternis gezeigt.

Beilage: **Wissenschaftliche Beobachtungen von Sonnenfinsternissen**

In der Vergangenheit waren die Beobachtungen von Sonnenfinsternissen nur in den wenigen Minuten der Totalität möglich und dann nur in ganz schmalen Streifen, über die der Mondschatten hinwegzog. Dazu wurden oft jahrelang vorher schon umfangreiche Vorbereitungen getroffen, um die Wahl des Beobachtungsortes auf dem festen Boden möglichst optimal zu gestalten. In vielen Fällen erstreckte sich die Finsterniszone ja über das Wasser der Ozeane oder über gänzlich unwirtliche Gebiete mit unsicherem Wetter.

Außerdem war natürlich auf die Infrastruktur (Zugänglichkeit, Unterkunft, Verpflegung, Wasser, Strom, Hilfe bei Arbeiten usw.) Bedacht zu nehmen. Und immer wieder kam es vor, daß sich ein Beobachterteam ohne Ergebnisse auf den Heimweg machen mußte und außer der Enttäuschung der Teilnehmer noch die Vorwürfe der die Expedition finanzierenden Geldgeber zu verkraften hatte. Darüber gibt es ausführliche Geschichten in der Literatur.

Vor dem Weltraumzeitalter – bis dahin hatte man erst wenige Stunden Beobachtungszeit akkumuliert – gelang es lediglich mit speziell ausgestatteten Flugzeugen die allenfalls störende Bewölkung zu überfliegen und die Dauer der Finsternis durch das Mitfliegen im Mondschatten zu verlängern. Die ersten Höhenforschungsraketen ermöglichten die Untersuchung des kurzweiligen Strahlungsbereiches. Ganz ideal war es natürlich, wenn die Zentrallinie über eine etablierte Sternwarte hinwegzog, denn dann konnten deren Instrumente wertvolle Beiträge liefern; aber das war nur sehr selten der Fall. Der Aufbau gut ausgerüsteter stabiler Stationen war für die Expeditionen besonders in unbewohnten Gegenden (noch bevor man diese mit dem Flugzeug und dem Auto erreichen konnte) eine oft nur schwer zu bewältigende Aufgabe. Dementsprechend sind auch die Resultate zu beurteilen.

Es gab eine Menge von astrometrischen, astrophysikalischen und anderen Problemen, denen man bei einer Finsternis beizukommen trachtete. Hier sollen einige beschrieben werden, die auch heute durchaus aktuell sind.

1 Astrometrische Beobachtungen

1.1 „Timing“ der Finsternis

Zunächst ist man an der Kontrolle der Kontaktzeiten der Finsternis interessiert, womit man die Voraussagen der Theorie überprüfen will. Die Grundfrage geht um die Positionen und Bewegungen von Mond und Sonne, also um ein himmelsmechanisches Problem. In den Jahrbüchern und einschlägigen Publikationen sind diese Voraussagen meist in Weltzeit (UT) gegeben. Es muß aber berücksichtigt werden, daß die Korrektur ΔT , das ist die Differenz zwischen der terrestrischen dynamischen Zeit und der Weltzeit (TDT – UT), immer erst im Nachhinein bestimmt werden kann. Für die Berechnung der Finsternis von 1999 wurde $\Delta T = 64,6$ Sekunden angenommen. Eine wichtige Rolle spielt auch der Mondradius k (ausgedrückt in Einheiten des Äquatorhalbmessers der Erde); er wurde hier, damit die Sonne nicht durch die tiefsten Mondtäler noch durchscheinen kann, das heißt, damit sie wirklich total bedeckt ist, zu $k = 0,2722810$ für die Kernschattenphänomene angesetzt (für

1. Fortsetzung Beilage: Wissenschaftliche Beobachtung von Sonnenfinsternissen

Halbschatten gilt $k = 0,2725076$. Dieser kleine Unterschied macht aber für die Breite des Schattens auf der Erde schon viele Meter aus.

1.2 Der Einfluß des Mondrandes und der Sonnendurchmesser

Wie schon erwähnt, spielen Berge und Täler am Mondrand eine wesentliche Rolle bei der Bestimmung der Finsternisdauer. Das Randprofil führt je nach der momentan herrschenden Libration zu einem mehr oder weniger ausgeprägten „Perlschnurphänomen“, das man ins Kalkül ziehen muß, wenn man den Sonnendurchmesser aus der Bedeckungsdauer ableiten will. Es ist noch immer eine offene Frage, ob der Sonnendurchmesser wirklich unveränderlich ist. Bisher scheint das der Fall zu sein, aber die Genauigkeit der Messungen muß noch erhöht werden. Das versucht man durch Beobachtungen zu erreichen, die man an den Rändern der Finsterniszone durchführt.

Für diese astrometrischen Beobachtungen braucht man eine Videokamera am Fernrohr oder zur Aufnahme des projizierten Sonnenbildes, genaue Zeitsignale (auf 0,1 Sek) und exakte Kenntnis der geographischen Position (auf 30m genau) und der Seehöhe (auf 20m genau).

1.2 Der Einsteineffekt (Lichtablenkung im Schwerefeld)

Durch die Anziehungskraft der Sonne werden die nahe an ihr vorbeigehenden Lichtstrahlen dahinter stehender Sterne zum Sonnenrand hin abgelenkt. Diese Ablenkung, die nach der Theorie am Sonnenrand 1,75 Bogensekunden betragen soll, kann bei totalen Finsternissen bestimmt werden. Sie ist schwer zu messen, weil die Sonnenkorona die schwachen Sterne überstrahlt und hellere Sterne nahe dem Sonnenrand sehr selten zu finden sind. Zur Beobachtung dieses Einsteineffektes braucht man unbedingt ein fix aufgestelltes Teleskop (am besten wäre eines an einer Sternwarte), an dem das Himmelsfeld zur Zeit der Verfinsterung und zirka ein halbes Jahr vorher oder nachher am Nachthimmel photographiert wird. Der Unterschied beider Felder ergibt dann ein Maß für die gesuchte Ablenkung. Höchste astrometrische Genauigkeit ist erforderlich und alle teleskopischen und atmosphärischen Fehlereinflüsse müssen sorgfältig eliminiert werden. Mir ist nicht bekannt, ob solche Messungen jetzt schon in CCD-Technik gemacht werden.

1.3 Entdeckung von kosmischen Kleinkörpern nahe der Sonne

Immer wieder hat man auf alle möglichen Weisen versucht, noch unbekannte Körper unseres Sonnensystems in der Nähe der verfinsterten Sonne zu entdecken, zum Beispiel seinerzeit den hypothetischen Planeten Vulkan. Daraus ist zwar nichts geworden, aber einige Kometen hat man schon in der Sonnenumgebung gefunden. Das kann man heute, wenn auch unter wohl anderen Bedingungen, ebenso vom Weltraum aus tun.

2 Physikalische Beobachtungen der Sonnenatmosphäre

Erst seit relativ kurzer Zeit kann man die äußersten Schichten der Sonne, nämlich die obere Chromosphäre, die Protuberanzen und die Korona auch außerhalb natürlicher Verfinsterungen beobachten, nämlich mit Hilfe „künstlicher“ Sonnenfinsternisse in Koronographen, das sind Instrumente auf der Erde oder im Weltraum, welche die leuchtende Sonnenscheibe durch eine Blende abdecken und nur das „Rundherum“ sichtbar machen.

2. Fortsetzung Beilage: Wissenschaftliche Beobachtungen bei Sonnenfinsternissen

Wenngleich die Erdatmosphäre durch Lichtstreuung den Himmel rund um die Sonne aufhellt, so bietet doch eine totale Finsternis Gelegenheit zur Lösung verschiedenster Aufgaben vom Boden aus.

2.1 Form und Helligkeit der Korona

Form und Helligkeit der Korona sind sehr stark von der zeitlichen Stellung der Finsternis im Sonnenzyklus abhängig und wiederholen sich nicht streng. Man hat dies früher mit Zeichnungen und dann ausgiebig photographisch untersucht, wobei das Problem darin liegt, den enormen Helligkeitsunterschied zwischen der inneren und der äußeren Korona in meßbarer und reproduzierbarer Weise zu überbrücken. Heute kann dies mit elektronischen Mitteln viel besser gemacht werden. Als Ergebnis kann erwartet werden:

- Verteilung der Koronastrahlen nach heliographischer Position,
- Form, d.h. die Abplattung der Korona und
- Trennung der Korona in ihre wesentlichen Bestandteile, Staub und Elektronen, bzw. hochionisierte Gase, wenn man auch noch Polarisationsfilter in verschiedenen Farbbereichen vorsetzt.
- Dichte, Temperatur und Dynamik der Korona.

2.2 Spektraluntersuchungen am Sonnenrand

Während des Vorüberziehens des Mondes vor der Sonnenscheibe kann man die zu uns gelangende Strahlung im spektral zerlegten Licht bis an den äußersten Sonnenrand in Abhängigkeit von der Höhe über der Photosphäre verfolgen („Mitte-Rand-Variation“). Das nur für wenige Sekunden aufblitzende „Flashspektrum“ erlaubt uns, aus der Stärke und Dauer der auftretenden Emissionslinien (bei hoher räumlicher, zeitlicher und spektraler Auflösung) das Vorkommen und Verhalten der einzelnen Elemente in verschiedenen Höhen der Sonnenatmosphäre zu bestimmen. Damit lassen sich wieder Aussagen machen über Temperatur und Dichte in der dünnen Übergangsschicht von der Chromosphäre zur Korona.

Auch die Protuberanzen und die kleinen Spikulen können rund um die Sonne gut untersucht werden, was ihre Form, Bewegung und ihre spektralen Eigenschaften betrifft. Alle diese Beobachtungen müssen natürlich auf den Radiowellenbereich und – vom Weltraum aus – auf das kurzwellige und Röntgengebiet ausgedehnt werden

3 Meteorologie und erdnahe Weltraum

Für uns Menschen ist die Abnahme der Tageshelligkeit während einer totalen Finsternis ein eindrucksvolles, vielfach emotional empfundenes Erlebnis. So fehlen die warmen Dämmerungsfarben beim Fortschreiten der Finsternis, die Gesichter werden leichenblaß. Wenn – abhängig vom Zustand der Atmosphäre über dem Beobachtungsort und von der Sonnentätigkeit im allgemeinen – der Himmel immer dunkler wird, wenn man über ebene Flächen den Mondschatten heranziehen sieht und schließlich am Himmel die hellen Planeten und erste Sterne sichtbar werden, dann halten wohl viele den Atem an. Auch bei einer großen Menschenansammlung tritt völlige Stille ein, bis nach wenigen Minuten der volle Glanz der Sonne wieder ins Auge sticht.

3. Fortsetzung Referat: Wissenschaftliche Beobachtungen von Sonnenfinsternissen

Wissenschaftliche Untersuchungen betreffen die Registrierung der Himmelshelligkeit im Zenit, bzw. rund um die Sonne oder in anderen Himmelsgegenden sowie eine sorgfältige Messung der Lufttemperatur am Beobachtungsort nach meteorologischen Standards. Je nach den lokalen Umständen und der Tageszeit der Finsternis kann es empfindlich kühler werden, vielfach wird die normale Tagestemperatur nicht wieder erreicht. Auf ebenen Flächen kann auch die atmosphärische Erscheinung der „fliegenden Schatten“ beobachtet, besser noch mit der Videokamera aufgenommen werden.

Sehr schwierig sind freilich Messungen von Temperatur und Luftdruck, des Erdmagnetfeldes und des Verhaltens der Ionosphäre während einer Finsternis. Auch die Fragen des Lufthimmelsleuchtens (Dayglow, Airglow) bis zum Zodiakallicht sind nur wenigen Experten vorbehalten.

4 Biologische Beobachtungen

Erfahrungsgemäß reagieren auch niedere Lebewesen auf eine totale Sonnenfinsternis. Biologen stellen ein ungewöhnliches Verhalten von Tieren und Pflanzen fest: Vögel hören zu singen auf, die großen (freilebenden) Tiere verkriechen sich, Insekten ändern ihre Aktivität; die Blüten von Pflanzen schließen sich,

Die ganze Natur nimmt Kenntnis von einem Jahrhundertereignis.

Emer.o.Univ.–Prof.Dr.Hermann Haupt, Graz.

Österreich–Wettervorschau zur totalen Sonnenfinsternis 1999 08 11

Dazu haben unser Autor und Dr.Albert Sudy (ZAMG, Regionalstelle Graz–Thalerhof) eine lokal detaillierte Beurteilung im „Sternenboten“, 493, (8/1997), p.146–150, Astronomisches Büro, A–1238 Wien, verfaßt, aus der wir die Zusammenfassung hier wiedergeben:

„Insgesamt kann gesagt werden: Wenn man die taggenauen Werte von Graz–Messendorf betrachtet, findet man im Zeitraum 1987–1996 keinen 11.August mit der 14 Uhr–Bewölkung Null, wohl aber ist an 6 von 10 Tagen die Bewölkung nicht größer als 3/10 der Himmelsfläche. Zu bedenken ist freilich auch, daß die Monatsmittelwerte der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien und die Angaben des Beobachters in Graz–Messendorf jeweils für 14 Uhr gelten, die Satellitendaten aber für den der Finsternis zeitlich am nächsten liegenden Überflug. Die Mitte der Finsternis tritt in Österreich zwischen 11h40 und 11h45 MEZ ein.

Allgemein kann die Empfehlung ausgesprochen werden, die hier als stärker bewölkt ausgewiesenen Gebiete in größerer Seehöhe oder mit hoher Gewitterhäufigkeit zu meiden und – wenn man nicht stationär aufgestellte Geräte benützt – entlang der Finsterniszone mobil zu bleiben, um kleinräumigen Störungen kurzfristig ausweichen zu können. So sollte, wenn auch vielleicht in Wolkenlücken, wenigstens zu 60% ein passables Finsterniswetter zu erwarten sein.“

Die von Carl Zeiss und dem Planetarium der Stadt Wien ausgeschriebene Tages–Busfahrt zur Zentrallinie der Finsternis (siehe Referat „Finsternisgebiete“) berücksichtigt dies!

Referat: Die Beobachtung einer Sonnenfinsternis

Die totale Sonnenfinsternis vom 11. August 1999 dürfte uns Mitteleuropäern bei der Beobachtung kaum Schwierigkeiten bereiten, wenn man von der Unsicherheit der Wetterlage absieht. Doch selbst bei bewölktem Himmel kann das Erlebnis immer noch sehr beeindruckend sein, wie das 1980 bei meiner Keniareise der Fall war.

Dieses Mal fallen lange und umständliche Anreisen, limitiertes Fluggepäck, Durchleuchtungsschikanen beim Filmmaterial und viele andere Erschwernisse weg. Beobachter, die ihre Sternwarte in der Totalitätszone haben, können ihre schweren Geräte einsetzen. Anreisende haben die Möglichkeit, sich schon lange vorher einen günstigen Platz in reizvoller Umgebung zu suchen. Im Auto können sie selbst ein größeres Instrumentarium problemlos transportieren – eine Idealsituation!

Erfahrene Sonnenfinsternisbeobachter brauchen keine Tips oder Ratschläge; sie wissen alles selbst aus eigenen, bisweilen leidvollen Erfahrungen. Wenn man sich etwa zur Fotografie der Totalität zu viel vornimmt und dann in der Hektik des Zeitdrucks einiges durcheinander bringt oder vergisst, sitzt einem der Schreck in den Gliedern und beim nächsten Mal plant man anders.

Wer aber nur gelegentlich am astronomischen Himmel beobachtet oder zum ersten Mal eine totale Sonnenfinsternis erlebt, sollte sich vorher gut informieren: In der Literatur, durch das Studium der neuen Astrojahrbücher, die ausführlich über die kommende Finsternis berichten und bei erfahrenen Beobachtern. Ihre gut gemeinten Ratschläge, die ja auf Erfahrung basieren, sollte man auch beherzigen!

Im Grund braucht man sich aber keine Sorgen zu machen, ob die Beobachtung erfolgreich sein wird. Wenn man keine extremen Ansprüche an die fotografischen Ergebnisse stellt und kein Mammutprogramm absolvieren will, ist alles gut in den Griff zu bekommen. Einzige Unsicherheit ist das Wetter, und wer seine Chancen verbessern möchte, reist am besten weiter nach Osteuropa oder Asien.

Beobachtungsinstrumente

1. Visuell

Jedes Fernrohr, gleich ob Refraktor oder Reflektor, kann erfolgreich eingesetzt werden.

1. Fortsetzung Referat: Die Beobachtung einer Sonnenfinsternis

Um die partiellen Phasen zu verfolgen, genügt eine preiswerte Filter- und Schutzfolie vor dem Objektiv (Solarscreen, Mylarfolie, Polymer Plus Sonnenfilterfolie) oder ein speziell bedampftes Objektivfilter zur Licht- und Wärmereduzierung.

Wenn mehrere Beobachter gleichzeitig die partiellen Phasen betrachten wollen, kann das Sonnenbild auch ohne Schutzfilter durch ein Okular auf eine weiße Fläche projiziert werden.

Absolut unverzichtbar zur Beobachtung der Totalität ist ein guter Feldstecher, am besten auf ein stabiles Stativ montiert. Der Anblick der verfinsterten Sonne ist hier am beeindruckendsten!

2. Fotografisch

Die Minimalausrüstung besteht aus einer guten Kleinbild-Spiegelreflexkamera mit Teleobjektiv, Brennweite ca. 200 – 1000 mm (bewährt haben sich Spiegelobjektive mit 500 oder 1000 mm Brennweite), einem stabilen Stativ, Drahtauslöser, Farbfilm mit 100 – 400 ASA und einer Filterfolie zum Fotografieren der partiellen Phasen.

Besser ist es natürlich, mehrere Kameras mit motorischem Filmtransport und verschiedenen Brennweiten gleichzeitig einzusetzen. Doppeldrahtauslöser erleichtern das gleichzeitige Auslösen der Apparate.

Brennweiten:

- **Extrem kurze Brennweiten (14-20 mm, Fischaugobjektive):**

Übersichtsaufnahmen bis zum Horizont, Stimmungsaufnahmen mit Wolken, Gebäuden, Kirchtürmen usw.

- **Kurze Brennweiten (28-50 mm):**

Übersichtsaufnahmen, Sonne mit Planeten Venus und Merkur und hellen Fixsternen, Reihenaufnahmen durch Mehrfachbelichtung im Abstand von 10-20 Minuten

- **Mittlere Brennweiten (400-800 mm):**

Aufnahmen der äußeren Korona

- **Lange Brennweiten (ab 1000 mm):**

Fotografie der Chromosphäre und der Protuberanzen. Wichtig: Wegen der rosaroten Farbe der Protuberanzen sollte hier ein geringempfindlicher Farbfilm mit hoher Farbsättigung eingesetzt werden.

Beobachtungstechnik

1. Visuell

Worauf nicht oft genug hingewiesen werden kann: Die partiellen Phasen dürfen

2. Fortsetzung Referat: Die Beobachtung einer Sonnenfinsternis

nie ohne Schutzfilter beobachtet werden, weder mit freiem Auge noch durch Feldstecher oder Fernrohr! Wenn die Totalität mit Fernrohr oder Feldstecher ohne elektrische Nachführung betrachtet wird, ist es günstig, diese Geräte etwas vorzustellen, damit die Sonne während der totalen Verfinsterung das Gesichtsfeld nicht verlassen kann.

2. Fotografisch

Die Kameras müssen auf stabile Stative oder mit kräftigen Klemmen an eine Nachführung montiert werden. Exakte Scharfeinstellung auf Unendlich ist absolut wichtig, eventuell kann man dazu eine vergrößernde Einstelllupe am Kamerasucher verwenden.

Bei Apparaten mit Spiegelvorauslösung wird zuerst der Spiegel hochgeklappt und dann ausgelöst. Mit einem Doppeldrahtauslöser kann man gleichzeitig zwei Kameras auslösen. Erleichternd und zeitsparend ist ein motorischer Filmtransport.

Genauere Belichtungszeiten einzuhalten ist nicht wichtig. Durch unterschiedliche Sichtbedingungen müssen sowieso verschieden lange Belichtungen gemacht werden, um nach der Entwicklung die besten Bilder auszuwählen. Empfehlenswert ist es deshalb, die Belichtungszeit auf „B“ zu stellen. Durch verschieden langes Drücken des Drahtauslösers können die Zeiten variiert werden, ohne dass man im schwachen Licht der Totalität mit der Taschenlampe die Belichtungseinstellungen ändern muss.

Überhaupt sollte man die Bedienung der Kameras so weit wie möglich vereinfachen oder automatisieren. Die Totalitätsdauer von etwa 2 Minuten ist sowieso sehr kurz!

Feinkörniges scharfes Filmmaterial von 25-100 ASA sollte man dann verwenden, wenn die Kameras elektrisch nachgeführt werden. Ohne Nachführung sind Blende und Brennweite des Objektivs für die nötige Filmempfindlichkeit entscheidend.

Ohne Nachführung gilt für die Totalität:

Wegen Bewegungsunschärfe darf nicht länger belichtet werden

bei $f = 200 \text{ mm}$ bis zu 3 Sekunden

bei $f = 500 \text{ mm}$ bis zu 1 Sekunde

bei $f = 1000 \text{ mm}$ bis zu $\frac{1}{2}$ Sekunde

Belichtungsbeispiele bei klarem Himmel, mittags während der Totalität:

Blende/Öffnungsverhältnis 1:8

3.Fortsetzung Referat: Die Beobachtung einer Sonnenfinsternis

Chromosphäre/Protuberanzen: 1/125 – 1/500 Sekunde

Innere Korona: 1/10 – 1/25 Sekunde

Äußere Korona: ½ - 2 Sekunden

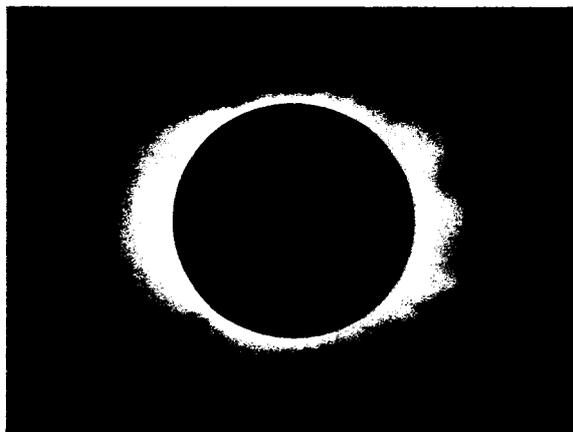
Diesiger oder wolkiger Himmel erfordert natürlich entsprechend längere Belichtungen.

Für die partiellen Phasen können die Belichtungszeiten mit Schutzfilter durch vorherige Tests an der unverfinsterten Sonne ermittelt werden.

Schlussbemerkung

Bei sorgfältig geplanter Arbeitsweise gibt es also kaum Probleme, die totale Sonnenfinsternis zu fotografieren. Man muss nur etwas experimentieren und darf sich nicht auf eine bestimmte Einstellung verlassen. Aber das ist ja allgemein so in der Fotografie: Je mehr Variationen bei den Aufnahmen, desto größer die Wahrscheinlichkeit eines optimalen Ergebnisses. Man sollte auch einige Male die Abfolge der Aktivitäten in der kurzen Zeit von zwei Minuten durchexerzieren.

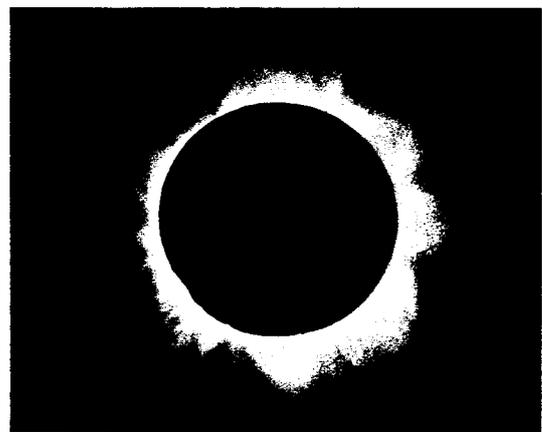
Dabei darf man nicht vergessen, dass das schönste Erlebnis dieses Naturspektakels in der Ausgewogenheit von visueller Instrumentenbeobachtung, freisichtiger Betrachtung und fotografischer Dokumentation besteht. Denn dann war das Ereignis nicht nur auf die paar Minuten beschränkt, sondern wird sich noch weit hinein in die Zukunft ziehen, vielleicht bis zur nächsten totalen Sonnenfinsternis.



Minimumskorona

30. Juni 1973

aufgenommen in der Wüste Sahara
bei klarem Himmel



Maximumskorona

16. Februar 1980

aufgenommen in Kenia / Afrika
bei bewölktem Himmel

Referat: **Sonnenfinsternisse – Erfahrung und Erleben**

Wenn man so wie ich dem Beobachten und Erleben von Sonnenfinsternissen einmal verfallen ist, dann weiß man aus verschiedenen Jahrbüchern schon Jahre vorher, wo in aller Welt Sonnenfinsternisse stattfinden, die für einen „in Frage kommen“ und dabei nicht zur Durchführung von Forschungsaufgaben verpflichtet.

Vorarbeiten

Die Voruntersuchungen des Umfeldes sollten möglichst wirklich alle Parameter erfassen, die menschlicher, technischer, zeitlicher und letztlich auch finanzieller Natur sind. Deshalb fängt man schon lange vorher mit einer Projektliste an, welche die nachfolgende Planung erheblich erleichtert und nichts vergessen läßt. Die von der NASA zwei bis drei Jahre im voraus herausgegebenen Eclipse Bulletins für totale und ringförmige Sonnenfinsternisse ermöglichen dann schon eine sehr genaue Präzisierung aller Finsternisumstände.

Vorhabenreihung nach Wichtigkeit

Bei allem Verständnis, daß man in den wenigen Minuten der Totalität so viele Aufnahmen, Beobachtungen und Experimente wie nur möglich ausführen möchte, verhindert die vor Ort eigentlich jeden erfassende Aufregung die Durchführung von vielem, was man sich vorgenommen hat. Eine Prioritätenreihung hilft, wenigstens einige wichtige Dinge sicher zu haben und andere, unwichtigere Vorhaben notfalls ohne großes Bedauern zu Gunsten des Gesamterlebnisses fallen zu lassen.

Nicht dem Instrumentarium das Erleben opfern!

Gleichgültig, wie ein jeder etwa sein fotografisches Instrumentarium gewählt hat, ein Fernglas von etwa 10facher Vergrößerung macht das Geschehen während der Totalität geradezu räumlich-plastisch erlebbar. Die Zeit dafür sollte man sich unbedingt gönnen!

Tiefe Beeindruckung

Zumindest bei den ersten erlebten totalen Finsternissen ist das emotionale Erleben tief beeindruckend und die Erinnerung daran hält Jahre hindurch an.

Der Himmel verdunkelt sich bis zur Mondscheinnacht und die Natur präsentiert darin ihr unübersehbar großartiges Schauspiel. Die Sonnenverdunkelung wird geradezu unfaßbar empfunden und treibt einem zwanghaft auf eine höhere Bewußtseinsebene. Gleichzeitig werden unterschiedliche Erlebnisse visueller, akustischer und emotionaler Art vermittelt:

Es ist das großartige, hautnahe Teilhaben, das Eingebundensein in ein kosmisches Ereignis, mit dem, sollte man meinen, ein lautes Weltgeschrei verbunden sein müßte. Aber nein – still und leise sterben Licht und Farben der Umgebung dahin und lassen wie zum Trost um die dunkle Sonnenscheibe, die wie ein schwarzes Loch im Himmel erscheint, eine faszinierend leuchtende Korona erblühen.

Die wohl zutreffendste, schönste und ergreifendste Beschreibung des Erlebens einer totalen Finsternis hat Adalbert Stifter (23. Oktober 1805 Oberplan, Böhmen – 28. Januar 1868 Linz) in

1. Fortsetzung Referat: Sonnenfinsternisse – Erfahrung und Erleben

seinen Skizzen „Aus dem alten Wien“ verfaßt; sie ist auch in dem Buch „Schwarze Sonne – Roter Mond“ von R.Kippenhahn und W.Knapp, DVA, Stuttgart 1999, wiedergegeben. Der Dichter wohnte 1842–1848 im „Kornhäuselturm“, Seitenstettengasse 2, Wien 1; auf dessen Dach erlebte er am 8. Juli 1842 die totale Sonnenfinsternis. Daran erinnert eine dort angebrachte und am 29. Mai 1994 anlässlich des 25jährigen Clubbestehens enthüllte Gedenktafel:



Aus Adalbert Stifters Bericht

„Ich stieg um 5 Uhr auf die Warte des Hauses 495 in der Stadt, von wo aus man die Übersicht nicht nur über die ganze Stadt hat, sondern auch über das Land um dieselbe, bis zum fernsten Horizonte, an dem die ungarischen Berge wie zarte Luftbilder dämmern.“

„Seltsam war es, daß dieses unheimliche, klumpenhafte tiefschwarze verrückte Ding, das langsam die Sonne wegfraß, unser Mond sein sollte, der schöne sanfte Mond, der sonst die Nächte so florig silbern beglänzte; aber doch war er es, und im Stemenrohr erschienen auch seine Ränder mit Zacken und Wulsten besetzt, den furchtbaren Bergen, die sich auf dem uns so freundlich lächelnden Runde türmen.

Endlich wurden auch auf Erden die Wirkungen sichtbar, und immer mehr, je schmaler die am Himmel glühende Sichel wurde; der Fluß schimmerte nicht mehr, sondern war ein taftgraues Band, matte Schatten lagen umher, die Schwalben wurden unruhig, der schöne sanfte Glanz des Himmels erlosch, als liefe er von einem Hauche matt an. Ein kühles Lüftchen hob sich und stieß gegen uns, über den Auen starrte ein unbeschreiblich seltsames, aber bleischweres Licht, über den Wäldern war mit dem Lichterspiele die Beweglichkeit verschwunden, und Ruhe lag auf ihnen, aber nicht die des Schlummers, sondern die der Ohnmacht – und immer fahler goß sich's über die Landschaft, und diese wurde immer starrer – die Schatten unserer Gestalten legten sich leer und inhaltslos gegen das Gemäuer, die Gesichter wurden aschgrau – erschütternd war dieses allmälige Sterben mitten in der noch vor wenigen Minuten herrschenden Frische des Morgens. Wir hatten uns das Eindämmern wie etwa ein Abendwerden vorgestellt, nur ohne Abendröte; wie geisterhaft aber ein Abendwerden ohne Abend-

2. Fortsetzung Referat: Sonnenfinsternisse – Erleben und Erfahrung

röte sei, hatten wir uns nicht vorgestellt, aber auch außerdem war dieses Dämmern ein ganz anderes, es war ein lastend unheimliches Entfremden unserer Natur; gegen Südost lag eine fremde gelbrote Finsternis und die Berge, selbst das Belvedere wurden von ihr eingetrunkent – die Stadt sank zu unseren Füßen immer tiefer, wie ein wesenloses Schattenspiel hinab, das Fahren und Gehen und Reiten über die Brücke geschah, als sähe man es in einem schwarzen Spiegel – die Spannung stieg aufs höchste – einen Blick tat ich noch in das Sternenrohr, er war der letzte; so schmal, wie mit der Schneide eines Federmessers in das Dunkel geritzt, stand nur mehr die glühende Sichel da, jeden Augenblick zum Erlöschen, und wie ich das freie Auge hob, sah ich auch, daß bereits alle Anderen die Sonnengläser weggetan, und bloßen Auges hinaufschauten – sie hatten auch keines mehr nötig; denn nicht anders, als wie der letzte Funke eines erföschenden Dochtes, schmolz eben auch der letzte Sonnenfunken weg, wahrscheinlich durch die Schlucht zwischen zwei Mondbergen zurück – es war ein ordentlich trauriger Augenblick – deckend stand nun Scheibe auf Scheibe – und dieser Moment war es eigentlich, der wahrhaft herzzermalmend wirkte – das hatte keiner geahnet – ein einstimmiges „Ah“ aus aller Munde, und dann Totenstille, es war der Moment, da Gott redete, und die Menschen horchten.

Hatte uns früher das allmälige Verblässen und Einschwinden der Natur gedrückt und verödet und hatten wir uns das nur fortgehend in eine Art Tod schwindend gedacht: so wurden wir nun plötzlich aufgeschreckt und emporgerissen durch die furchtbare Kraft und Gewalt der Bewegung, die da auf einmal durch den ganzen Himmel lag: die Horizontwolken, die wir früher gefürchtet, halfen das Phänomen erst recht bauen, sie standen nun wie Riesen auf, von ihrem Scheitel rann ein fürchterliches Rot, und in tiefem kalten schweren Blau wölbten sie sich schwer und drückten den Horizont – Nebelbänke, die schon lange am äußersten Erdsäume gequollen, und bloß mißfärbig gewesen waren, machten sich nun gelten, und schauderten in einem zarten furchtbaren Glanze, der sie überlief – Farben, die nie ein Auge gesehen, schweiften durch den Himmel: – der Mond stand mitten in der Sonne, aber nicht mehr als schwarze Scheibe, sondern gleichsam halb transparent wie mit einem leichten Stahlschimmer überlaufen, rings um ihn kein Sonnenrand, sondern ein wundervoller, schöner Kreis von Schimmer, bläulich, rötlich, in Strahlen auseinander brechend, nicht anders, als gösse die oben stehende Sonne ihre Lichtflut auf die Mondkugel nieder, daß es rings auseinander spritze – das Holdeste, was ich je an Lichtwirkung sah! – Draußen weit über das Marchfeld hin lag schief eine lange spitze Lichtpyramide gräßlich gelb, in Schwefelfarbe flammend, und unnatürlich blau gesäumt; es war die jenseits des Schattens beleuchtete Atmosphäre, aber nie schien ein Licht so wenig irdisch und so furchtbar, und von ihm floß das aus, mittelst dessen wir sahen. Hatte uns früher Eintönigkeit verödet, so waren wir jetzt erdrückt von Kraft und Glanz und Massen – unsere eigenen Gestalten hafteten darinnen wie schwarze, hohle Gespenster, die keine Tiefe haben; das Phantom der Stephanskirche hing in der Luft, die andere Stadt war ein Schatten, alles Rasseln hatte aufgehört, über der Brücke war keine Bewegung mehr; denn jeder Wagen und Reiter stand, jedes Auge schaute zum Himmel – nie, nie werde ich jene zwei Minuten vergessen – es war die Ohnmacht eines riesenhaften Körpers, unserer Erde.

Wie heilig, wie unbegreiflich und wie furchtbar ist jenes Ding, das uns stets umflutet, das wir seelenlos genießen, und das unseren Erdball mit solchem Schaudern überzittern macht, wenn es sich entzieht – die Luft wurde kalt, empfindlich kalt, es fiel Tau, daß Kleider und Instrumente feucht waren – die Tiere entsetzten sich, was ist das schecklichste Gewitter, es ist

3. Fortsetzung Referat: Sonnenfinsternisse – Erfahrung und Erleben

lärmender Trödel gegen diese todesstille Majestät – mir fiel Lord Byrons Gedicht ein, „Die Finsternis“, wo die Menschen Häuser anzünden, Wälder anzünden, um nur Licht zu sehen –, aber auch eine solche Erhabenheit, ich möchte sagen, Gottesnähe war in der Erscheinung dieser zwei Minuten, daß dem Herzen nicht anders war, als müsse er irgendwo stehen.“ ...

*„Nie, nie in meinem ganzen Leben war ich so erschüttert, von Schauer und Erhabenheit so erschüttert, wie in diesen zwei Minuten, es war nicht anders, als hätte Gott auf einmal ein deutliches Wort gesprochen und ich hätte es verstanden. Ich stieg von der Warte herab, wie vor tausend und tausend Jahren etwa Moses von dem brennenden Berge herabgestiegen sein mochte, verwirren und betäubten Herzens.“ ... *)*

Festhalten des Ereignisses

Die eindeutige Definition des Fotos als Dokument eines sichtbaren Vorganges in einer genauen örtlichen und zeitlichen Zuordnung läßt natürlich dann bei fast allen Finsternisbesuchern die Kameras hektisch klicken, die alten Schmalfilmkameras surren und jetzt die Videokamera laufen. Es ist der eminente Moment, der nicht nur scheinbar beschleunigt abläuft, sondern auch noch unter dem Druck des Unwiederholbaren liegt.

Jetzt zeigt sich, wie realistisch Planung und Selbsteinschätzung gegenüber der Wirklichkeit bestehen. Auch versierte Beobachter geraten immer wieder in den bekannten zeitlichen Finsternisstreß und vergessen schon mal angesichts der Größe des ablaufenden Geschehens aufs Durchatmen. Die Zeit tropft zwar nur, aber dieses Tropfen ist nicht einmal um Sekunden zu bremsen!

Viel zu schnell ist der Augenblick da, wenn beim dritten Kontakt der erste Sonnenstrahl durch ein tief eingeschnittenes Mondtal wie flüssige Eisenschmelze hervorquillt und sich dann zügig nach und nach immer mehr Sonnenfläche aus dem Mondrand hervorschiebt.

Sofern man nicht alle Vorhaben durchziehen konnte, grollt die Seele, aber letztendlich ist man dankbar, wenn das Wetter hielt und man dabeigewesen sein konnte – und, wenn sich dann der Streß verliert, ein angenehmes Erfolgsgefühl aufkommt. Dies hält lange, solange an, als die hoffentlich korrekt entwickelten Aufnahmen und Filme existieren und man auf ihnen viele Jahre danach immer noch etwas scheinbar nicht Gesehenes entdeckt; und es macht Sehnsucht, über eine nächste Sonnenfinsternis nachzudenken ...

Nomogramme zur Finsternisfotographie

Die beiden Nomogramme sollen bei Aufnahmen von Sonnen- und Mondfinsternissen helfen. Sie stammen aus praktischer Erfahrung und sind wie folgt zu benutzen:

Die **Empfindlichkeit** des verwendeten Films wird auf der waagrechten Skala links gewählt. Von diesem Punkt senkrecht nach unten bis zur schrägen **Objektlinie** gehen und von dort waagrecht nach rechts weiter bis zur Mitte der Spalte **Lichtwert**. Dann nach rechts oben in Richtung der Felderdiagonalen weiter bis zu einem Punkt, der senkrecht unter der auf der waagrechten Spalte rechts gewählten **Blende (Öffnungsverhältnis)** liegt. Von dort waagrecht weiter bis in die Spalte **Zeit**, wo die zugehörige **Belichtungszeit** abzulesen ist.

Weil sich die beiden Nomogramme auf durchschnittliche Luftdurchsicht und Objekthelligkeiten (Höhe über dem Horizont, ...) beziehen, bieten sie Richtwerte. Es ist daher immer empfehlenswert, zusätzlich Aufnahmen mit entsprechend veränderten Einstellungen zu machen.

4.Fortsetzung Referat: Sonnenfinsternisse – Erfahrung und Erleben

Sonnenfinsternis – Belichtungszeiten bei durchschnittlichen Bedingungen

Filmempfindlichkeit						Lichtwert		Blende (Öffnungsverhältnis)					Zeit	
ASA	800	400	200	100	50	25	16	11	8	5.6	4	2.8	2	
DIN	30	27	24	21	18	15								sec
							20							1/ 2000
							19							1/ 1000
							18							1/ 500
							17							1/ 200
							16							1/ 100
							15							1/ 50
							14							1/ 25
							13							1/ 10
							12							1/ 5
							11							1/ 2
							10							1
							9							2
							8							4
							7							8
							6							15

Beispiel: 18°DIN → Chromosphäre → Lichtwert 14 → = Blende 11 --- 1/100 sec
 oder → = Blende 8 --- 1/200 sec , usw.

Dazu vergleiche man die Hinweise und Angaben, die Hans Bernhard in seinem Referat „Die Beobachtung einer Sonnenfinsternis“ gibt – insbesondere die dort für Blende 8 und die Filmempfindlichkeit 25 und 100 ASA genannten Belichtungszeiten!

5.Fortsetzung Referat: Sonnenfinsternisse – Erfahrung und Erleben

Mondfinsternis – Belichtungszeiten bei durchschnittlichen Bedingungen

Filmempfindlichkeit		Lichtwert					Blende (Öffnungsverhältnis)					Zeit		
ASA	800	400	200	100	50	25	16	11	8	5.6	4	2.8	2	
DIN	30	27	24	21	18	15								
							10							sec 1
							9							2
							8							4
							7							8
							6							15
							5							30
							4							min 1
							3							2
							2							4
							1							8
														15

Beispiel: 18°DIN → teilbeleuchtete Mondscheibe → Lichtwert 3 → = Blende 4 --- 4sec
 oder → = Blende 2.8 -- 2sec

Hermann Koberger, Privatsternwarte, Rohrwies 2, A-4871 Zipf

*) Anmerkung der Redaktion

Stifters Bericht erschien in 3 Fortsetzungen in: Wiener Zeitschrift für Kunst, Theater und Mode, Jg.1842, 3.Quartal, 14., 15., 16.Juli (Wiener Stadt- und Landesbibliothek, Inv.A 10728).

Lokale Daten der totalen Sonnenfinsternis 1842 07 08 nach dem „Canon der Sonnenfinsternisse, -2003 bis +2526“ für Wien (16°23,1'E, 48°12,7'N, 194m, mittlere / wahre Ortszeit):

Anfang, am rechten Oberrand der Sonne	5h51,6 / 5h47,0	Azimet 72°	Höhe 15°
Maximum (Größe 1,008, Dauer Totalität 2,0min)	6 50,3 / 6 45,7	83	24
Ende, am linken Unterrand der Sonne	7 53,9 / 7 49,3	94	35

Aquarelle: Historisches Museum der Stadt Wien, Rudolf v.Alt (Inv.105390); Johann Christian Schöller (Inv.65303 u. 75716, eines in Kippenhahn/Knapp, p.113); Carl Agricola (Inv.97738).

Referat: **Zur totalen Sonnenfinsternis 1999 08 11**

Es werden die Ephemeriden-Grundlagen, ΔT sowie Globaldaten behandelt und für Österreich lokale Angaben geboten, auch zu den Finsternissen 1842 07 08 und 2081 09 03.

1 Bewegungstheorien von Sonne und Mond

1.1 Vorbemerkung

Die Bewegungstheorien von Sonne und Mond sind die Voraussetzung für jede genauere Berechnung von Finsternissen. Zunächst beruhten sie auf rein bewegungsmäßigen Grundlagen und erst ab Ende des 17. Jahrhunderts auf der Vorstellung von Kraftwirkungen zwischen den Himmelskörpern, auf der klassischen Mechanik. Diese stellte sich dann im 20. Jahrhundert als Sonderfall der relativistischen Mechanik heraus.

Etwa ab der Mitte des 20. Jahrhunderts brachten hochstabile Uhren zusammen mit phänomenologischen Daten aus der Gegenwart bis zurück in möglichst ferne Zeiten die Unregelmäßigkeiten der Erddrehung und damit die Ungleichförmigkeit der Weltzeit UT ans Licht. So kam es zur Einführung einer von der Erddrehung unabhängigen Zeitskala. Als (terrestrische) dynamische Zeit DT, im Prinzip gleichbedeutend mit der früheren Ephemeridenzeit ET, ist sie nun das Zeitargument der himmelskundlichen Bewegungstheorien. Um beispielsweise den in dynamischer Zeit berechneten Verlauf einer Sonnenfinsternis in die Wirklichkeit zu übertragen, muß der Unterschied $\Delta T = DT - UT$ an dieser Stelle der Zeitskala bekannt sein.

Besonders genau konnten Mondort sowie Form und Lage des Mondkörpers seit 1971 durch Lasermessungen bestimmt werden, die mit drei Laserspiegeln (LRRR) ausgeführt wurden, die mit Apollo 11, 14 und 15 auf den Mond gebracht worden waren. Damit ergaben sich Mondörter, die auf wenige Dezimeter genau waren. Zusammen mit optisch, durch Radar und von den Raumsonden gewonnenen Daten lieferten sie die Start- und Stützwerte für eine Schritt für Schritt ausgeführte Ephemeridenrechnung von Sonne, Mond und Planeten.

Es ist aber wichtig anzumerken:

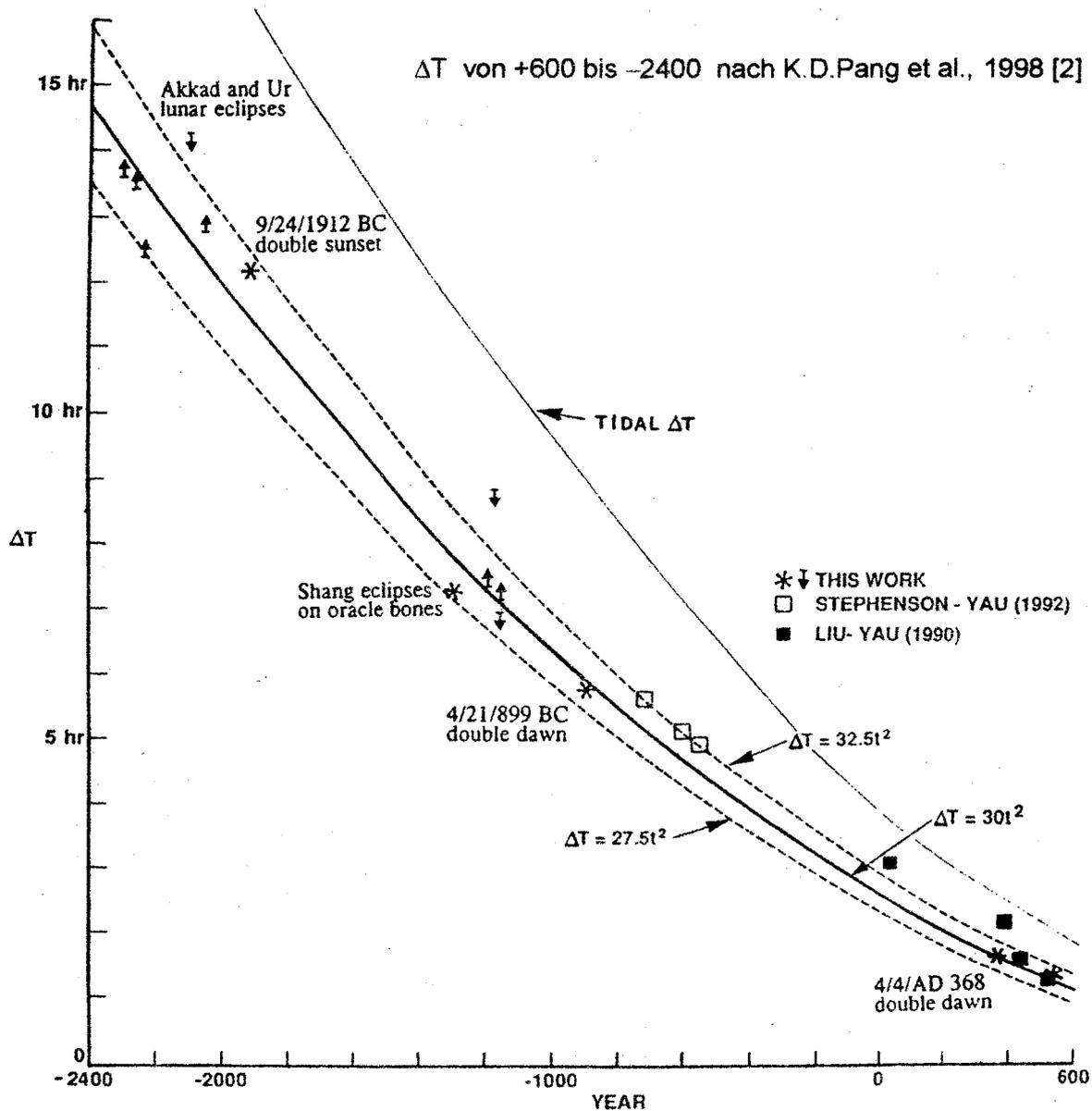
Die Genauigkeit der folgend genannten Ephemeriden läßt sich nur insofern in die Wirklichkeit umsetzen, als die Sicherheit im Unterschied $\Delta T = DT - UT$ dies erlaubt. Bei Sternbedeckungen und Sonnenfinsternissen schlägt auch das mit steigendem Zeitabstand von der Gegenwart immer schlechter faßbare Mondrandprofil (bis zu einigen Bogensekunden) zu Buche.

2 Delta T

Aus Beobachtungen ist ΔT ab +1620 bis etwa 1800 auf die Zeitsekunde, von da bis etwa +1860 auf die Zehntel- und bis zur Gegenwart auf die Hundertstel Zeitsekunde bekannt [1]. Außerhalb dieses Bereichs müssen Näherungswerte für ΔT verwendet werden, deren Unsicherheit – wenngleich fallweise gering – bis zu vielen Zeitminuten anwachsen kann.

Eine neue Arbeit [2] bestätigt erfreulicherweise den für den „Canon of Solar Eclipses, –2003 to +2526“ [3] (und für „Uraniastar 1.1“ Standard, optional für Forschungszwecke änderbar [4]) gewählten Ansatz. Man beachte besonders den mit steigendem Gegenwartsabstand wachsenden Streubereich!

1. Fortsetzung Referat: Zur totalen Sonnenfinsternis 1999 08 11



Für die totale Sonnenfinsternis 1999 08 11 wurde im Österreichischen Himmelskalender [5] nach [6] noch $\Delta T = +65$ Zeitsekunden und im Eclipse Bulletin [7] $+64,6$ Zeitsekunden verwendet. Neueste Beobachtungen ergeben demgegenüber für 1998 11 01 $+63,39$, 1999 01 01 $+63,47$, 02 01 $+63,50$, 03 01 $+63,53$ und für 04 01 $+63,57$ Zeitsekunden [8]. Daraus ergibt sich für den Finsternistermin als wahrscheinlicher Wert $\Delta T = +63,7$ Zeitsekunden.

3 Moderne Sonnen- und Mondephemeriden

3.1 DE200 / LE200

Schritt für Schritt – durch simultane numerische Integration im Jet Propulsion Laboratory – berechnet, stellen sie die derzeit genauesten Ephemeriden für Sonne, Mond und Planeten dar („Development-Ephemeris“ / „Lunar-Ephemeris“). Allerdings mußten im System der Astronomischen Konstanten (IAU 1976) einige Änderungen vorgenommen werden, um den

2. Fortsetzung Referat: Zur totalen Sonnenfinsternis 1999 08 11

Beobachtungsergebnissen bestmöglich zu entsprechen. Wegen der Fehlerfortpflanzung bei jedem Rechenschritt ist aber ihre hohe Genauigkeit nur im Bereich von 1850 bis 2050 zu halten. Weil zum Übergang von der Rechnung in die Beobachtung ΔT zurück bis 1620 aus anderweitigen Beobachtungen verlässlich bekannt ist, eignen sich diese Ephemeriden bestens vor allem für Aufgaben in Gegenwartsnähe, z.B. für die Reduktion von aktuellen Beobachtungen oder kurzfristige Vorausdaten, wie in astronomischen Jahrbüchern [1] oder Sonnenfinsternis-Bulletins [7]. *Sie beruhen also auf direkten Beobachtungen.*

3.2 VSOP 87 / ELP 2000/82

Im Bureau des Longitudes, Paris, wurde von Bretagnon-Francou / Chapront-Touzé und Chapront eine analytische Anpassung an DE200 / LE200 vorgenommen (Variations Séculaires des Orbites Planétaires" / „Ephémérides Lunaires Parisiennes“) und deren Orte gewissermaßen als „Beobachtungen“ betrachtet. Dazu wurden noch als förderlich angesehene Beobachtungen aus möglichst fernen Zeiten herangezogen. Diese Ephemeriden gestatten eine Anwendung auch in fernen Zeiten, sind aber nicht so genau wie DE200 / LE 200.

3.3 Newcomb / ILE

Von Newcomb und Brown-Eckert-Vondrak („Tables of the Sun“ / „Improved Lunar Ephemeris“) stammen Ephemeriden, welche die vielen winzigen, vor allem durch die Laserspiegel auf dem Mond gewonnenen Terme noch nicht enthalten. Sie ermöglichen ebenfalls Anwendung in großer Zeitferne. Die Unterschiede gegenüber den anderen genannten Ephemeriden sind in Gegenwartsnähe unbedeutend und selbst im Altertum, wegen der dort vorhandenen Unsicherheit in ΔT , sind sie durch Beobachtungen nicht sicher unterscheidbar. Es wird deutlich, wie *außerordentlich nahe sich die modernen Ephemeriden bereits gekommen sind.*

4 Vorausangaben 1999 08 11

4.1 Bessel-Elemente und Sichtbarkeitsgebiet

Eine Karte mit dem weltweiten Sichtbarkeitsgebiet unserer Finsternis findet sich hier im Referat „Finsternisgebiete“ aus dem „Astronomical Almanac 1999“ [1], ferner im Eclipse Bulletin [7] und im „Fifty Year Canon of Solar Eclipses, 1986 to 2035“ [9] und in guter Näherung, zur ersten Orientierung vor der Rechnung mit den Bessel'schen Elementen, im „Canon of Solar Eclipses, -2003 to +2526“ [3], wiedergegeben hier im diesbezüglichen Referat.

Bessel-Elemente			Südliche Grenzlinie [12]		
			Länge	UT	Breite
T0 (ET)	11.00				
X0	0.07005	$\Delta T = 63,7s$	°		°
X1	0.54430	nach [3]	0	10h22m	+17.3
Y0	0.50259	mit	10	9h51m	+17.7
Y1	-0.11849	Korrektur	20	9h30m	+16.8
M0	343.687		30	9h17m	+14.9
M1	15.0030		40	9h10m	+12.5
D0	15.327		290	12h58m	-12.9
D1	-0.0120		300	12h57m	- 9.6
L10	0.54245		310	12h51m	- 5.5
L11	0.00012		320	12h39m	- 0.6
L20	-0.00366		330	12h17m	+ 4.9
L21	0.00012		340	11h44m	+10.6
TAN F1	0.004613		350	11h 2m	+15.0
TAN F2	0.004590		360	10h22m	+17.3

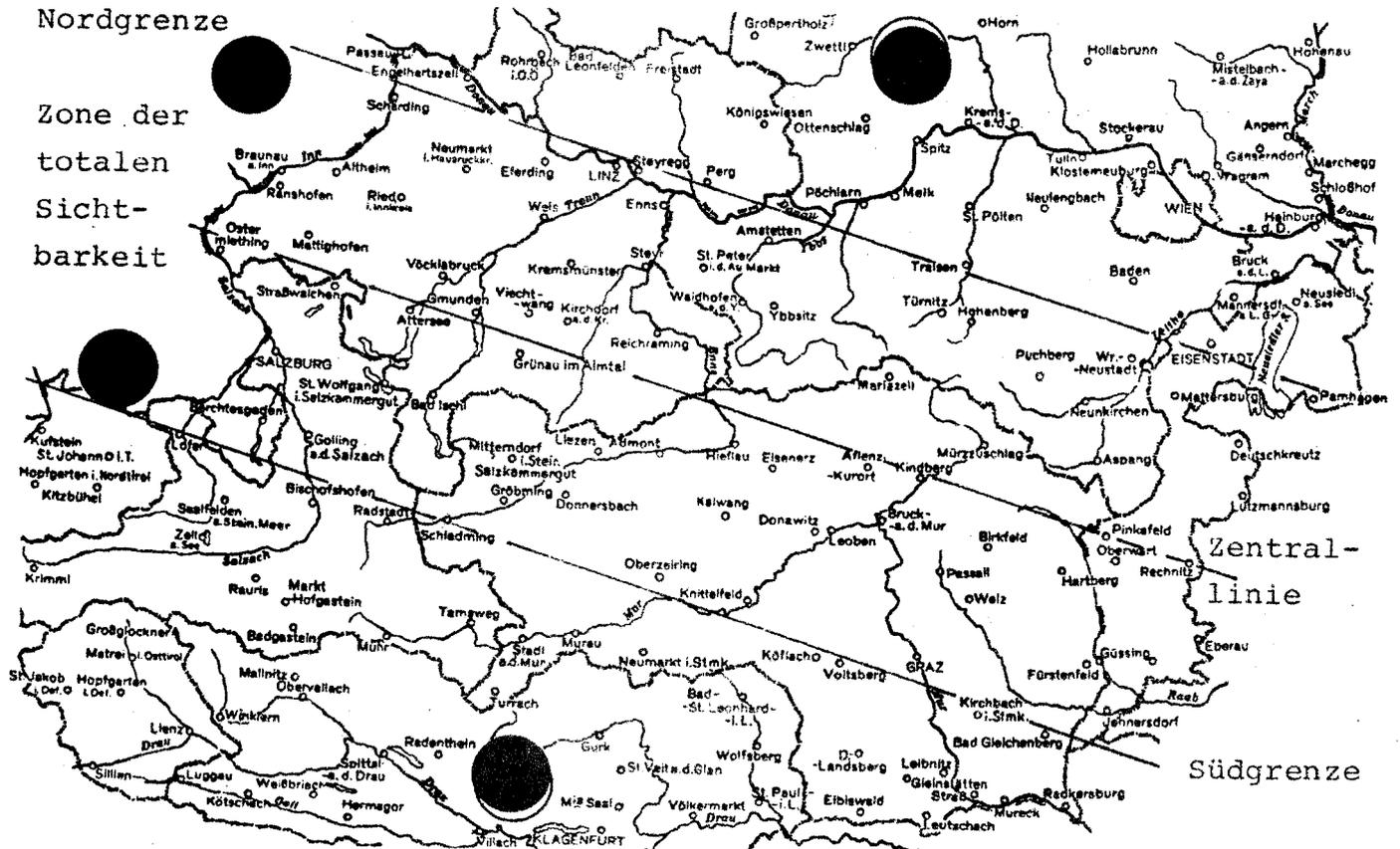
3.Fortsetzung Referat: Zur totalen Sonnenfinsternis 1999 08 11

Zentrallinie [3], [12]

Für Ort mit der geographischen Länge, Breite: H Sonnenhöhe und Dauer der Totalität

UT	Länge	Breite	H	Dauer	UT	Länge	Breite	H	Dauer
9h30.4m	+ 65° 2'	+41° 3'	0°	0.8	11h 6.0m	- 25°38'	+44°37'	59°	2.4
9h34.0m	+ 48° 2'	+45°27'	14°	1.1	11h10.0m	- 27°28'	+43°57'	59°	2.4
9h38.0m	+ 40°13'	+47° 6'	20°	1.3	11h14.0m	- 29°15'	+43°17'	59°	2.4
9h42.0m	+ 34°14'	+48° 9'	25°	1.4	11h18.0m	- 31° 2'	+42°34'	58°	2.3
9h46.0m	+ 29°10'	+48°54'	29°	1.5	11h22.0m	- 32°46'	+41°50'	57°	2.3
9h50.0m	+ 24°40'	+49°25'	32°	1.6	11h26.0m	- 34°30'	+41° 5'	57°	2.3
9h54.0m	+ 20°35'	+49°47'	35°	1.7	11h30.0m	- 36°13'	+40°18'	55°	2.3
9h58.0m	+ 16°49'	+50° 2'	38°	1.8	11h34.0m	- 37°56'	+39°29'	54°	2.2
10h 2.0m	+ 13°18'	+50°10'	40°	1.9	11h38.0m	- 39°39'	+38°39'	53°	2.2
10h 6.0m	+ 9°59'	+50°13'	43°	1.9	11h42.0m	- 41°23'	+37°47'	51°	2.1
10h10.0m	+ 6°51'	+50°11'	45°	2.0	11h46.0m	- 43° 9'	+36°53'	50°	2.1
10h14.0m	+ 3°53'	+50° 5'	47°	2.1	11h50.0m	- 44°56'	+35°57'	48°	2.0
10h18.0m	+ 1° 3'	+49°55'	49°	2.1	11h54.0m	- 46°46'	+34°59'	46°	2.0
10h22.0m	- 1°39'	+49°42'	50°	2.2	11h58.0m	- 48°39'	+33°59'	44°	1.9
10h26.0m	- 4°14'	+49°26'	52°	2.2	12h 2.0m	- 50°37'	+32°56'	42°	1.8
10h30.0m	- 6°43'	+49° 7'	53°	2.3	12h 6.0m	- 52°42'	+31°50'	39°	1.7
10h34.0m	- 9° 7'	+48°45'	55°	2.3	12h10.0m	- 54°54'	+30°41'	37°	1.7
10h38.0m	- 11°25'	+48°21'	56°	2.3	12h14.0m	- 57°17'	+29°27'	34°	1.6
10h42.0m	- 13°38'	+47°55'	57°	2.3	12h18.0m	- 59°54'	+28° 8'	31°	1.5
10h46.0m	- 15°47'	+47°27'	58°	2.4	12h22.0m	- 62°52'	+26°42'	27°	1.4
10h50.0m	- 17°52'	+46°56'	58°	2.4	12h26.0m	- 66°21'	+25° 6'	23°	1.3
10h54.0m	- 19°53'	+46°24'	59°	2.4	12h30.0m	- 70°45'	+23°13'	18°	1.1
10h58.0m	- 21°51'	+45°50'	59°	2.4	12h35.9m	- 87°18'	+17°34'	0°	0.7
11h 2.0m	- 23°46'	+45°14'	59°	2.4					

Totalitätszone in Österreich [5]



4. Fortsetzung Referat: Zur totalen Sonnenfinsternis 1999 08 11

Hauptpunkte der Finsternis 1999 08 11 (Mittwoch) nach [3], mit Klammerwerten nach [1]:

Zentralität im Sonnenaufgang 9h30,4 UT 65°02'W/41°03'N (9h30,3 65°05'W/41°02'N)
 Zentralität im wahren Mittag 10h51,2 UT 18°31'E/46°46'N (10h51,2 18°31'E/46°47'N)
 Zentralität im Sonnenuntergang 12h35,9 UT 87°18'E/17°34'N (12h35,9 87°18'E/17°33'N)

4.2 Lokale Daten im Vergleich

Hier werden die Vorausdaten für die österreichischen Landeshauptstädte zusammengestellt, wie sie mit den jeweils verwendeten geographischen Positionen und ΔT berechnet und veröffentlicht wurden. Uhrzeiten in Mitteleuropäischer Sommerzeit MESZ.

Eclipse Bulletin von Espenak [7], Grundlage DE200/LE200, aber *ohne* die Korrektur von Massenmitte auf Figurenmitte des Mondes, daher hier auf Zeitsekunden gerundet, mit $\Delta T = 64,6s$ (Ecl.Bull.).

Homepage der Linzer Astronomischen Gemeinschaft, Raab [10], Grundlage VSOP 87 / ELP 2000/82, Meeus, Elements of Solar Eclipses, 1951–2200 [11], *mit* der genannten Korrektur und $\Delta T = 64,0s$ (Elements).

Österreichischer Himmelskalender 1999, Mucke [5], Grundlage Newcomb / ILE, Mucke-Meeus, Canon of Solar Eclipses, –2003 to +2526 [5], *ohne* die genannte Korrektur, mit $\Delta T = 65,0s$ (HK 1999).

Hier, Grundlage Newcomb / ILE, Mucke-Meeus [3], *mit* Korrektur und $\Delta T = 63,7s$ (Canon).

Ort	Lage Ort	Anfang	Tot.Anf.	Maximum	Tot.End.	Ende	Dauer
	° ' "	h m s	h m s	h m s	h m s	h m s	s
Eisenstadt							
Ecl.Bull.	1632e 4751n	11 24 02		12 47 02		14 09 41	
Elements	1631e 4751n	11 24 01				14 09 40	
HK 1999	1631,3e 4750,8n	11 24 00		12 46 59		14 09 39	
Canon	1631,3e 4750,8n	11 24 02		12 47 01		14 09 40	
Wien							
Ecl.Bull.	1620e 4813n	11 23 47		12 46 28		14 08 55	
Elements	1623e 4813n	11 23 53				14 09 00	
HK 1999	1623,1e 4812,7n	11 23 51		12 46 32		14 08 58	
Canon	1623,1e 4812,7n	11 23 53		12 46 34		14 09 00	
St.Pölten							
Ecl.Bull.	1537e 4812n	11 22 38		12 45 15		14 07 50	
Elements	1538e 4812n	11 22 40				14 07 51	
HK 1999	1537,7e 4812,4n	11 22 38		12 45 14		14 07 49	
Canon	1537,7e 4812,7n	11 22 39		12 45 16		14 07 50	
Graz							
Ecl.Bull.	1527e 4705n	11 22 09	12 44 57	12 45 33	12 46 09	14 08 56	72
Elements	1522e 4705n	11 22 01	12 44 50		12 45 59	14 08 48	69
HK 1999	1526,1e 4704,0n	11 22 06	12 44 58	12 45 30	12 46 03	14 08 54	66
Canon	1526,1e 4704,0n	11 22 07	12 44 56	12 45 32	12 46 08	14 08 55	62

5.Fortsetzung Referat: Zur totalen Sonnenfinsternis 1999 08 11

Ort	Lage Ort		Anfang	Tot.Anf.	Maximum	Tot.Anf.	Ende	Dauer
	°	°	h m s	h m s	h m s	h m s	h m s	s
Klagenfurt								
Ecl.Bull.	1418e	4637n	11 20 12		12 43 44		14 07 35	
Elements	1418e	4637n	11 20 12				14 07 35	
HK 1999	1418,4e	4637,3n	11 20 11		12 43 43		14 07 34	
Canon	1418,4e	4637,3n	11 20 13		12 43 44		14 07 35	
Linz								
Ecl.Bull.	1418e	4818n	11 20 36	12 42 41	12 42 56	12 43 11	14 05 39	30
Elements	1416e	4818n	11 20 33	12 42 39		12 43 07	14 05 37	27
HK 1999	1418,2e	4817,3n	11 20 34	12 42 36	12 42 55	12 43 13	14 05 39	37
Canon	1418,2e	4817,3n	11 20 36	12 42 46	12 42 57	12 43 07	14 05 40	20
Salzburg								
Ecl.Bull.	1302e	4748n	11 18 28	12 39 55	12 40 57	12 41 58	14 04 11	122
Elements	1303e	4748n	11 18 30	12 39 56		12 42 01	14 04 13	124
HK 1999	1302,6e	4748,4n	11 18 28	12 39 54	12 40 56	12 41 58	14 04 10	124
Canon	1302,6e	4748,4n	11 18 30	12 39 55	12 40 57	12 42 01	14 04 12	126
Innsbruck								
Ecl.Bull.	1124e	4716n	11 15 47		12 38 15		14 02 01	
Elements	1124e	4716n	11 15 48				14 02 01	
HK 1999	1124,3e	4715,9n	11 15 46		12 38 14		14 02 00	
Canon	1124,3e	4715,9n	11 15 48		12 38 16		14 02 01	
Bregenz								
Ecl.Bull.								
Elements	943e	4730n	11 13 21				13 58 55	
HK 1999	943,3e	4729,8n	11 13 20		12 35 12		13 58 54	
Canon	943,3e	4729,8n	11 13 21		12 35 14		13 58 56	

Der Vergleich ist in mehrfacher Hinsicht lehrreich:

Es zeigt sich erneut, wie nahe sich die Grundlagen der drei Ephemeriden gekommen sind. Dort, wo fast die gleichen Ortskoordinaten verwendet wurden, sind die Unterschiede der unabhängigen Systeme besonders gering. Zwischen HK 1999 und Canon zeigt sich klar das um 1,3s verschiedene ΔT und auch die Korrektur von Massen- auf Figurenmitte des Mondes; die Ortskoordinaten dazu beziehen sich auf die „Mitte“ des verbauten Bereichs.

Die obige Liste zeigt deutlich, wie sehr die Zeitsekunde in den Uhrzeiten an die geographische Länge, Breite und Seehöhe des Beobachtungsortes gebunden ist; deshalb wurde die folgende „Gebrauchsliste“ auf die Zehntelzeitminute (System „Canon“ wie oben, aber hier Ortskoordinaten auf nächste volle Bogenminute) beschränkt. P Positionswinkel der Kontaktstelle, vom Nordpunkt der Sonnenscheibe über OSW gezählt, also die Richtung Sonnenmitte zu Mondmitte; H Sonnenhöhe; Dauer Totalitätsdauer.

Ausdruckgrundlage wie bei Grenz- und Zentrallinie: Diskette zum „Canon of Solar Eclipses, -2003 to +2526“, Programmator: Karl Silber, Eisner-Sternwarte, Gmunden [12].

4.3 Sonnenfinsternis 1999 08 11: Totalität in Österreich

Ort	Anfang MESZ	P °	H °	Maximum MESZ	Größe ☉ ϕ = 1	H °	Dauer min	Ende MESZ	P °	H °	Länge °	Breite °	Seehöhe m
Ostermiething	11h18.2m	285	+50	12h40.5m	1.013	+57	2.3	14h 3.6m	108	+56	1250e	4803n	423
Braunau/Inn	11h18.7m	285	+50	12h40.8m	1.008	+56	2.1	14h 3.7m	108	+55	1303e	4816n	351
Ranshofen	11h18.6m	285	+50	12h40.7m	1.009	+56	2.2	14h 3.7m	108	+55	1301e	4814n	380
Salzburg	11h18.5m	286	+50	12h41.0m	1.008	+57	2.1	14h 4.2m	108	+56	1303e	4748n	424
Mattighofen	11h18.8m	285	+50	12h41.0m	1.011	+57	2.3	14h 4.0m	108	+56	1309e	4807n	554
Altheim	11h18.9m	285	+50	12h41.1m	1.007	+56	2.0	14h 4.0m	108	+55	1314e	4815n	370
Schärding	11h19.3m	285	+50	12h41.4m	1.000	+56	0.3	14h 4.1m	109	+55	1327e	4828n	318
Straßwalchen	11h18.9m	285	+50	12h41.2m	1.014	+57	2.3	14h 4.3m	108	+56	1315e	4759n	543
Ried/Innkreis	11h19.3m	285	+50	12h41.6m	1.007	+57	2.0	14h 4.5m	108	+55	1329e	4813n	433
Golling/S.	11h18.7m	286	+50	12h41.3m	1.004	+57	1.6	14h 4.6m	108	+56	1311e	4737n	483
Attersee	11h19.3m	285	+50	12h41.8m	1.014	+57	2.3	14h 4.9m	108	+56	1333e	4756n	494
Neumarkt/H.	11h19.7m	285	+50	12h42.0m	1.004	+57	1.6	14h 4.8m	109	+55	1344e	4816n	388
St. Wolfgang/S.	11h19.1m	286	+50	12h41.7m	1.008	+57	2.1	14h 4.9m	108	+56	1327e	4744n	549
Vöcklabruck	11h19.5m	285	+50	12h42.0m	1.011	+57	2.3	14h 5.0m	108	+55	1340e	4801n	430
Bad Ischl	11h19.4m	286	+50	12h42.0m	1.009	+57	2.2	14h 5.3m	108	+56	1338e	4743n	469
Gmunden	11h19.7m	285	+50	12h42.2m	1.013	+57	2.3	14h 5.3m	108	+56	1348e	4755n	490
Eferding	11h20.2m	285	+50	12h42.5m	1.001	+57	0.8	14h 5.2m	109	+55	1402e	4819n	271
Wels	11h20.1m	285	+50	12h42.5m	1.005	+57	1.8	14h 5.4m	109	+55	1402e	4810n	317
Bad Aussee	11h19.6m	286	+50	12h42.3m	1.007	+57	2.0	14h 5.6m	108	+56	1347e	4737n	659
Viechtwang	11h20.0m	285	+50	12h42.5m	1.012	+57	2.3	14h 5.6m	108	+55	1358e	4755n	510
Grünau/Almtal	11h19.9m	286	+50	12h42.6m	1.014	+57	2.3	14h 5.6m	108	+55	1358e	4751n	528
Schladming	11h19.4m	286	+51	12h42.3m	1.001	+57	0.7	14h 5.7m	107	+56	1342e	4724n	749
Kremsmünster	11h20.3m	285	+50	12h42.8m	1.008	+57	2.1	14h 5.7m	109	+55	1408e	4803n	384
Mitterndorf/St.	11h19.8m	286	+51	12h42.6m	1.007	+57	2.0	14h 5.9m	108	+56	1356e	4734n	809
Linz	11h20.6m	285	+50	12h42.9m	1.000	+57	0.5	14h 5.7m	109	+55	1418e	4817n	266
Gröbming	11h19.8m	286	+51	12h42.6m	1.004	+57	1.6	14h 6.0m	108	+56	1355e	4728n	770
Kirchdorf/Kr.	11h20.2m	285	+51	12h42.8m	1.011	+57	2.3	14h 5.8m	108	+55	1408e	4755n	450
Steyregg	11h20.7m	285	+50	12h43.0m	1.000	+57	0.1	14h 5.8m	109	+55	1421e	4817n	259
Enns	11h20.8m	285	+51	12h43.3m	1.001	+57	0.9	14h 6.0m	109	+55	1428e	4813n	281
Steyr	11h20.7m	285	+51	12h43.2m	1.006	+57	1.8	14h 6.1m	109	+55	1425e	4804n	310
Donnersbach	11h20.1m	286	+51	12h43.0m	1.005	+57	1.8	14h 6.3m	108	+56	1408e	4728n	713
Liezen	11h20.3m	286	+51	12h43.2m	1.009	+57	2.2	14h 6.4m	108	+56	1415e	4735n	664
Reichraming	11h20.7m	285	+51	12h43.4m	1.010	+57	2.2	14h 6.4m	109	+55	1428e	4754n	356
St. Peter/Au	11h21.0m	285	+51	12h43.6m	1.005	+57	1.8	14h 6.4m	109	+55	1437e	4803n	350
Admont	11h20.7m	286	+51	12h43.6m	1.010	+57	2.3	14h 6.8m	108	+55	1428e	4735n	640
Waidhofen/Ybbs	11h21.3m	285	+51	12h43.9m	1.006	+57	1.9	14h 6.8m	109	+55	1447e	4758n	362

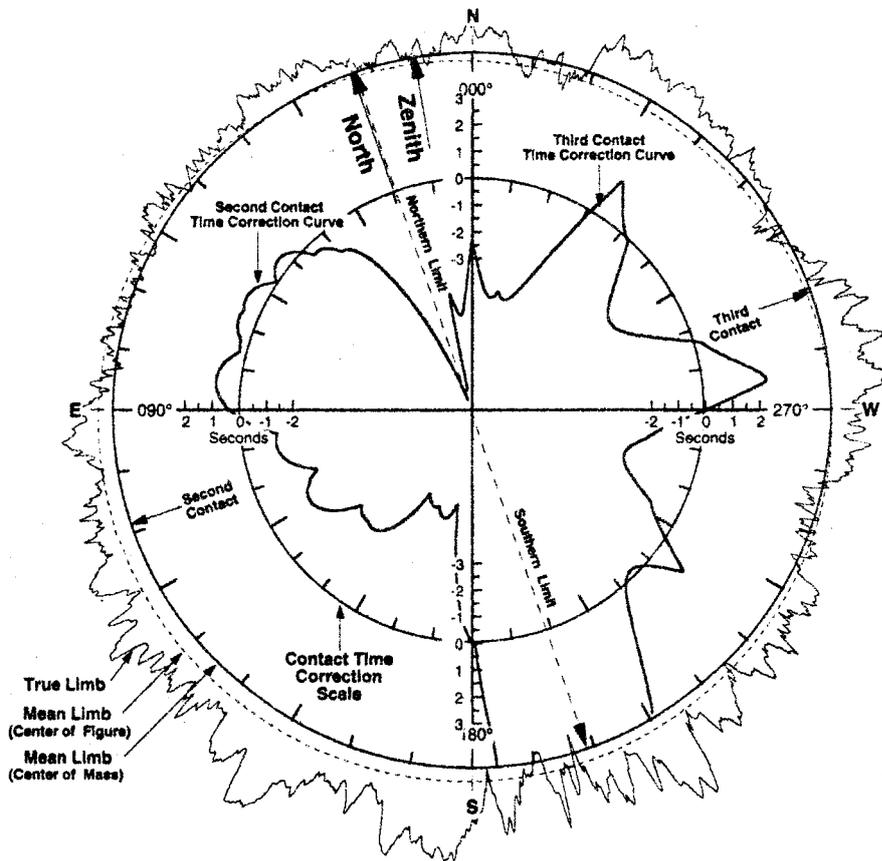
4.3 Sonnenfinsternis 1999 08 11: Totalität in Österreich

Ort	Anfang MESZ	P °	H °	Maximum MESZ	Größe ⊙ϕ = 1	H °	Dauer min	Ende MESZ	P °	H °	Länge ° ' "	Breite ° ' "	Seehöhe m
Amstetten	11h21.4m	285	+51	12h44.0m	1.001	+57	0.9	14h 6.7m	109	+55	1452e	4808n	281
Oberzeiring	11h20.6m	286	+51	12h43.8m	1.001	+58	1.0	14h 7.2m	108	+56	1430e	4715n	932
Ybbsitz	11h21.5m	285	+51	12h44.2m	1.006	+57	1.9	14h 7.0m	109	+55	1455e	4757n	414
Hieflau	11h21.1m	286	+51	12h44.0m	1.013	+57	2.3	14h 7.2m	108	+55	1445e	4737n	503
Kalwang	11h21.1m	286	+51	12h44.2m	1.008	+58	2.1	14h 7.4m	108	+55	1446e	4726n	755
Eisenerz	11h21.3m	286	+51	12h44.3m	1.012	+57	2.3	14h 7.5m	108	+55	1453e	4733n	736
Knittelfeld	11h21.2m	286	+51	12h44.4m	1.003	+58	1.4	14h 7.8m	108	+56	1450e	4714n	643
Donawitz	11h21.6m	286	+51	12h44.7m	1.008	+58	2.1	14h 8.0m	108	+55	1504e	4723n	556
Leoben	11h21.6m	286	+51	12h44.8m	1.008	+58	2.2	14h 8.0m	108	+55	1506e	4723n	541
Mariazell	11h22.1m	285	+51	12h45.0m	1.008	+57	2.1	14h 7.9m	109	+55	1520e	4747n	868
Aflenz Kurort	11h21.9m	286	+51	12h44.9m	1.013	+58	2.4	14h 8.0m	108	+55	1514e	4732n	763
Türnitz	11h22.4m	285	+51	12h45.2m	1.002	+57	1.3	14h 8.0m	109	+55	1530e	4757n	466
Bruck/Mur	11h21.9m	286	+52	12h45.1m	1.011	+58	2.3	14h 8.3m	108	+55	1517e	4725n	491
Hohenberg	11h22.6m	285	+51	12h45.4m	1.003	+57	1.4	14h 8.2m	109	+55	1538e	4754n	488
Kindberg	11h22.2m	286	+52	12h45.3m	1.014	+58	2.4	14h 8.4m	108	+55	1527e	4731n	565
Mürzzuschlag	11h22.6m	286	+52	12h45.7m	1.010	+58	2.2	14h 8.7m	109	+55	1541e	4737n	669
Passail	11h22.3m	286	+52	12h45.6m	1.009	+58	2.2	14h 8.8m	108	+55	1532e	4718n	653
Graz	11h22.1m	287	+52	12h45.5m	1.002	+58	1.2	14h 8.9m	108	+55	1526e	4704n	350
Puchberg	11h23.0m	285	+52	12h46.0m	1.004	+57	1.6	14h 8.8m	109	+55	1555e	4748n	598
Birkfeld	11h22.6m	286	+52	12h45.8m	1.012	+58	2.3	14h 9.0m	108	+55	1542e	4722n	623
Weiz	11h22.5m	286	+52	12h45.8m	1.007	+58	2.1	14h 9.1m	108	+55	1538e	4713n	456
Neunkirchen	11h23.3m	285	+52	12h46.3m	1.004	+57	1.7	14h 9.1m	109	+55	1605e	4744n	371
Wr.Neustadt	11h23.6m	285	+52	12h46.6m	1.001	+57	0.9	14h 9.3m	109	+55	1615e	4749n	265
Aspang	11h23.3m	286	+52	12h46.4m	1.009	+58	2.2	14h 9.4m	109	+55	1606e	4734n	498
Hartberg	11h23.0m	286	+52	12h46.4m	1.012	+58	2.3	14h 9.5m	108	+55	1558e	4718n	359
Pinkafeld	11h23.3m	286	+52	12h46.6m	1.014	+58	2.4	14h 9.7m	109	+55	1608e	4723n	399
Oberwart	11h23.4m	286	+52	12h46.8m	1.013	+58	2.4	14h 9.9m	109	+55	1612e	4718n	315
Mattersburg	11h23.8m	285	+52	12h46.9m	1.002	+57	1.2	14h 9.6m	109	+54	1624e	4745n	263
Fürstenfeld	11h23.2m	287	+52	12h46.7m	1.006	+58	1.9	14h10.0m	108	+55	1605e	4703n	276
Jennersdorf	11h23.3m	287	+52	12h46.9m	1.003	+58	1.5	14h10.2m	108	+55	1608e	4657n	242
Güssing	11h23.6m	287	+53	12h47.1m	1.007	+58	2.1	14h10.4m	108	+55	1619e	4703n	318
Rechnitz	11h23.8m	286	+52	12h47.2m	1.013	+58	2.4	14h10.2m	109	+55	1626e	4719n	348
Deutschkreuz	11h24.1m	286	+52	12h47.3m	1.004	+58	1.7	14h10.1m	109	+54	1637e	4737n	192
Lutzmannsburg	11h24.1m	286	+52	12h47.4m	1.008	+58	2.1	14h10.3m	109	+55	1637e	4728n	206
Eberau	11h23.8m	286	+53	12h47.4m	1.009	+58	2.2	14h10.5m	108	+55	1628e	4706n	214

4.3 Sonnenfinsternis 1999 08 11: Partialität in Österreich

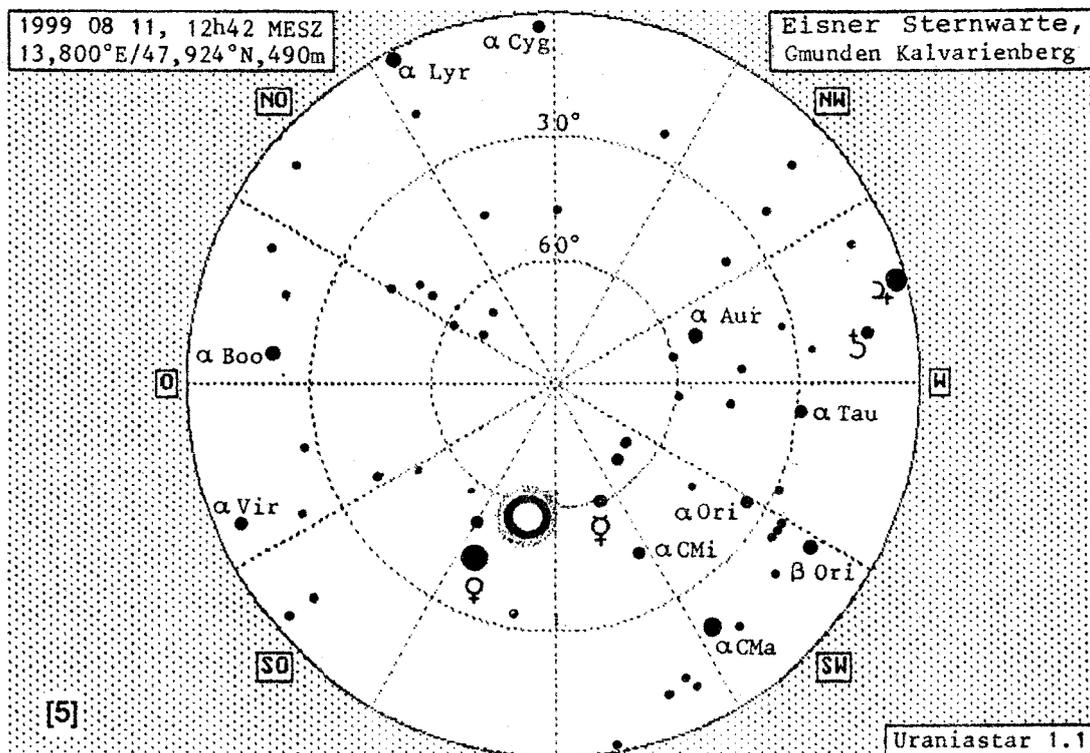
Ort	Anfang MESZ	P °	H °	Maximum MESZ	Größe Ø = 1	H °	Dauer min	Ende MESZ	P °	H °	Länge ° ' "	Breite ° ' "	Seehöhe m
Engelhartszell	11h19.8m	285	+50	12h41.9m	0.998	+56	-	14h 4.5m	109	+55	1344e	4830n	302
Bad Leonfelden	11h20.7m	284	+50	12h42.8m	0.994	+56	-	14h 5.4m	109	+55	1418e	4831n	750
Freistadt	11h21.0m	284	+50	12h43.2m	0.993	+56	-	14h 5.7m	109	+55	1430e	4831n	560
Waidhofen/Th.	11h22.3m	284	+51	12h44.4m	0.980	+56	-	14h 6.6m	110	+54	1517e	4849n	510
Zwettl/NÖ	11h22.0m	284	+51	12h44.3m	0.987	+56	-	14h 6.6m	110	+54	1510e	4836n	518
Pöchlarn	11h22.0m	285	+51	12h44.6m	0.997	+57	-	14h 7.2m	109	+55	1513e	4813n	216
Krems	11h22.7m	284	+51	12h45.1m	0.989	+57	-	14h 7.5m	110	+54	1536e	4825n	210
Retz	11h23.3m	284	+51	12h45.5m	0.978	+56	-	14h 7.6m	110	+54	1557e	4845n	252
St. Pölten	11h22.7m	285	+51	12h45.3m	0.995	+57	-	14h 7.9m	109	+54	1538e	4812n	271
Hadres	11h23.6m	284	+51	12h45.9m	0.978	+56	-	14h 8.0m	110	+54	1608e	4843n	194
Tulln	11h23.4m	285	+51	12h45.9m	0.989	+57	-	14h 8.3m	110	+54	1603e	4820n	180
Drasenhofen	11h24.4m	284	+51	12h46.7m	0.973	+56	-	14h 8.7m	111	+54	1639e	4846n	224
Wien	11h23.9m	285	+52	12h46.6m	0.990	+57	-	14h 9.0m	110	+54	1623e	4813n	194
Baden	11h23.6m	285	+52	12h46.4m	0.996	+57	-	14h 9.0m	110	+54	1614e	4800n	232
Hohenau	11h24.8m	284	+52	12h47.2m	0.976	+57	-	14h 9.2m	111	+54	1654e	4837n	155
Eisenstadt	11h24.0m	285	+52	12h47.0m	0.999	+57	-	14h 9.7m	109	+54	1631e	4751n	182
Hainburg/Donau	11h24.8m	285	+52	12h47.6m	0.988	+57	-	14h 9.9m	110	+54	1657e	4809n	161
Neusiedl/See	11h24.6m	285	+52	12h47.5m	0.994	+57	-	14h10.0m	110	+54	1651e	4757n	131
Bregenz	11h13.3m	287	+48	12h35.2m	0.982	+56	-	13h58.9m	106	+57	943e	4730n	410
Schruns	11h13.5m	287	+48	12h35.7m	0.971	+57	-	13h59.6m	105	+57	955e	4705n	690
Nauders	11h14.3m	287	+49	12h36.7m	0.969	+57	-	14h 0.8m	105	+57	1030e	4654n	1394
Landeck	11h14.5m	287	+49	12h36.8m	0.976	+57	-	14h 0.7m	106	+57	1034e	4708n	810
Reutte	11h14.8m	286	+48	12h37.0m	0.987	+57	-	14h 0.6m	106	+57	1043e	4729n	853
Innsbruck	11h15.8m	287	+49	12h38.3m	0.984	+57	-	14h 2.0m	106	+57	1124e	4716n	574
Brennerpaß	11h15.9m	287	+49	12h38.5m	0.977	+57	-	14h 2.4m	106	+57	1130e	4700n	1374
Kufstein	11h17.1m	286	+49	12h39.5m	0.997	+57	-	14h 3.0m	107	+56	1210e	4735n	499
Lofer	11h17.9m	286	+50	12h40.4m	0.999	+57	-	14h 3.9m	107	+56	1242e	4735n	626
Lienz	11h17.8m	287	+50	12h40.9m	0.980	+58	-	14h 4.8m	106	+57	1246e	4650n	680
Bischofshofen	11h18.6m	286	+50	12h41.4m	0.998	+57	-	14h 4.9m	107	+56	1313e	4725n	556
Spittal/Drau	11h19.0m	287	+51	12h42.2m	0.983	+58	-	14h 6.0m	107	+57	1330e	4648n	560
Klagenfurt	11h20.2m	288	+52	12h43.7m	0.983	+58	-	14h 7.6m	107	+56	1418e	4637n	446
Völkermarkt	11h20.8m	287	+52	12h44.3m	0.986	+58	-	14h 8.1m	107	+56	1438e	4640n	462
Voitsberg	11h21.7m	287	+52	12h45.0m	0.999	+58	-	14h 8.5m	108	+56	1509e	4703n	395
Gleinstätten	11h22.0m	287	+52	12h45.6m	0.993	+58	-	14h 9.2m	107	+56	1522e	4645n	308
Gleichenberg	11h22.9m	287	+52	12h46.5m	0.999	+58	-	14h 9.9m	108	+55	1555e	4652n	317
Radkersburg	11h23.0m	287	+53	12h46.7m	0.995	+58	-	14h10.3m	108	+55	1559e	4641n	208

4.4 Mondrandprofil und Unterschied Mondmassenmitte / Mondfigurenmitte



Einen Begriff von den Einflüssen des Randprofils und des Unterschiedes von Massen- und Figurenmitte gibt auch die nebenstehende Abbildung aus [7]. Sie gilt für den Ort $22^{\circ}50,6'e/45^{\circ}32,6'n$ 0m auf der dort angegebenen Zentrallinie und bezieht sich auf 11h00m00s UT, d.h. Maximum der Finsternis. Topozentrische Libration $L = +4,81^{\circ}$, $B = -0,18^{\circ}$; siehe dazu [5], p.6 und p.51.

4.5 Himmelsanblick in Österreich bei Totalität



5 Letzte und nächste in Österreich totale Sonnenfinsternis

Die beiden zeitlich der totalen Sonnenfinsternis 1999 08 11 benachbarten und in Österreich total sichtbaren Sonnenfinsternisse waren jene von 1842 07 08 und 2081 09 03. Sie verliefen für Österreich folgendermaßen [3], [12], mit $\Delta T = 0,0s$ (1842) und $4,2s$ (2081). Symbole wie in Abschnitt 4.

5.1 Totale Sonnenfinsternis 1842 07 08

Sie war an einem Freitag in der Osthälfte Österreichs in den Morgenstunden im Nordnordosten total sichtbar; Ausschnitte aus dem Erlebnisbericht Adalbert Stifters finden sich im Referat „Sonnenfinsternisse – Erfahrung und Erleben“.

Ort	Anfang MESZ	P °	H °	Maximum MESZ	Größe $\odot \emptyset = 1$	H °	Dauer min	Ende MESZ	P °	H °
Eisenstadt	6h45.8m	275	+14	7h44.5m	1.018	+24	2.6	8h48.2m	97	+35
Wien	6h46.2m	275	+15	7h44.9m	1.008	+24	2.0	8h48.5m	98	+35
St. Pölten	6h46.2m	275	+14	7h44.6m	1.002	+24	1.1	8h48.0m	98	+34
Graz	6h44.8m	276	+13	7h43.1m	1.016	+23	2.5	8h46.5m	96	+34
Klagenfurt	6h44.4m	276	+12	7h42.2m	1.014	+22	2.4	8h45.1m	96	+33
Linz	6h46.4m	274	+13	7h44.4m	0.989	+23	-	8h47.2m	98	+33
Salzburg	6h45.9m	274	+12	7h43.4m	0.991	+22	-	8h45.8m	98	+32
Innsbruck	6h45.5m	274	+11	7h42.4m	0.990	+20	-	8h44.1m	98	+31
Bregenz	6h46.0m	273	+10	7h42.4m	0.970	+19	-	8h43.5m	99	+29

5.2 Totale Sonnenfinsternis 2081 09 03

Sie wird an einem Mittwoch in der Westhälfte Österreichs in den frühen Vormittagsstunden im Ostsüdosten total sichtbar sein.

Ort	Anfang MESZ	P °	H °	Maximum MESZ	Größe $\odot \emptyset = 1$	H °	Dauer min	Ende MESZ	P °	H °
Eisenstadt	8h41.0m	299	+23	9h46.0m	0.978	+33	-	10h55.0m	128	+42
Wien	8h41.1m	298	+23	9h46.0m	0.968	+33	-	10h54.7m	128	+42
St. Pölten	8h40.6m	298	+23	9h45.3m	0.973	+33	-	10h53.9m	128	+41
Graz	8h39.9m	300	+23	9h44.9m	1.010	+33	3.0	10h54.0m	126	+42
Klagenfurt	8h39.0m	301	+22	9h43.9m	1.031	+32	4.2	10h52.8m	124	+42
Linz	8h39.8m	298	+22	9h44.1m	0.979	+32	-	10h52.4m	127	+41
Salzburg	8h38.9m	299	+21	9h43.0m	1.001	+31	1.2	10h51.1m	126	+40
Innsbruck	8h37.7m	300	+20	9h41.5m	1.027	+30	4.0	10h49.4m	124	+40
Bregenz	8h37.0m	300	+18	9h40.2m	1.028	+28	4.0	10h47.5m	123	+38

Literatur

- [1] The Astronomical Almanac for the Year 1999, Nautical Almanac Offices, Washington & London, 1998.
- [2] Pang, K.D., Yau, K.K., Chau, H.-H.: Postglacial Rebound and Other Influences on the Earth's Secular Rotation Rate, from Analysis of Ancient Eclipse Records. Georesearch Forum Vols. 3-4, 459-488, 1998, Trans Tech Publications, Schweiz.

11.Fortsetzung Referat: Zur totalen Sonnenfinsternis 1999 08 11

- [3] Mucke, H., Meeus, J., Canon of Solar Eclipses –2003 to +2526, Astronomisches Büro, A–1238 Wien, Hasenwartg.32, 2.Auflage, Wien 1992.
- [4] Pietschnig, M., Vollmann, W.: Uraniastar© 1.1, Diefenbachg.45-47/1/9, A-1150 Wien, Gerichtsg.20/23, A–1210 Wien, 1995
- [5] Mucke, H.: Österreichischer Himmelskalender 1999. Astronomisches Büro, A–1238 Wien, 1998.
- [6] The Astronomical Almanac for the Year 1998, Nautical Almanac Offices, Washington & London, 1997.
- [7] Espenak, F., Anderson, J.: Total Solar Eclipse 1999 August 11 („Eclipse–Bulletin“). NASA Reference Publication 1398, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, USA, 1997
- [8] Meeus, J.: Persönliche Mitteilungen, 1998/1999.
- [9] Espenak, F.: Fifty Year Canon of Solar Eclipses 1986–2035. NASA Reference Publication 1178 Revised, NASA Scientific and Technical Information Office, Washington 1987. Globalkarten: Erdumriß und Finsternis–Zwischengrößen zu verbessern.
- [10] Raab, H.: Homepage der Linzer Astronomischen Gemeinschaft <http://www.pLANet.co.at/LAG/sofi99/sofi99.html>. Datengrundlage [11].
- [11] Meeus, J.: Elements of Solar Eclipses 1951–2200, Willmann–Bell, Richmond VA, USA, 1989.
- [12] Silber, K.: Programm–Diskette zu Mucke / Meeus, Canon of Solar Eclipses –2003 to +2526 [3]. Eisner–Sternwarte Gmunden, Kalvarienberg, c/o Cumberlandpark 16, A–4810 Gmunden, 1999. Wird zusammen mit [3] geliefert.

Prof.Hermann Mucke, Hasenwartgasse 32, A–1238 Wien

Referat: Beobachtung der Sonne mit SOHO

Dieses Referat behandelt die Mission, bisherige Entdeckungen und aktuelle Ergebnisse der Raumsonde SOHO. Grundtatsachen zur Sonne siehe Literatur Punkt 6.

1. Einleitung

In den letzten Jahren verlagerte sich die Sonnenforschung zunehmend von der Erde in den Weltraum. Konnte früher die Beobachtung von Sonne und Sonnenfinsternissen hauptsächlich mit folgenden Instrumenten

- Spektroheliographen/Spektroheliokopen
- Helioskopen
- Spektroskopen
- Koronographen
- Interferenzfiltern / Polarisationsfiltern (Lyot-Filter, H α -Filter usw.)

ausschließlich von der Erde aus erfolgen, so bietet das Raumfahrtzeitalter inzwischen ungleich größere Möglichkeiten unseren Heimatstern genauer zu untersuchen. Als besonders erfolgreich hat sich inzwischen die 1996 gestartete Raumsonde SOHO herausgestellt, die im folgenden nun näher beschrieben werden soll.

2. Das wissenschaftliche Umfeld

Die Intensivierung der Sonnenforschung in den letzten Jahren erklärt sich jedoch nicht nur aus wissenschaftlichen Interesse, sondern wird auch durch die zunehmende Empfindlichkeit unserer technischen und ökologischen Systeme (Ozonloch) bedingt.

So kam es während des letzten Sonnenfleckenmaximums 1989 - 1991 durch Sonnenstürme in Kanada und Schweden zu Elektrizitätsausfällen. Einige Satelliten wurden zerstört bzw. beschädigt und Computer fielen aufgrund des Einschlags von solaren Partikeln aus.

Auch im ersten Halbjahr 1997 kam es aufgrund von großen erdgerichteten koronalen Massenauswürfen (CME's) zu Störungen. Diese Bursts treffen das Erdmagnetfeld, verursachen Magnetstürme, und beeinträchtigen dabei Energie und Telekommunikation. Die Vorhersage von Magnetstürmen ist aus diesen Gründen sehr wichtig und daher ein wesentliches Ziel von SOHO.

Es muß hier jedoch deutlich gemacht werden, daß zur Beobachtung der Sonne und der Analyse ihres Verhaltens der **gemeinsame** Einsatz der Instrumente auf SOHO und anderen Raumsonden, sowie Kooperation mit Sonnenobservatorien und Beobachtungsprogrammen auf der Erde von größter Wichtigkeit ist.

Der folgende Absatz gibt daher eine kurze Auswahl der bedeutendsten, erdgebundenen Beobachtungsprogramme für die Sonne wieder.

1. Fortsetzung Referat: Beobachtung der Sonne mit SOHO

- **GONG** Global Oscillations Network Group
An diesem Programm ist auch das Institut für Astronomie an der Universität Graz unter Prof. Hanslmeier beteiligt!
- **BISON** Birmingham Solar Oscillations Network
- **HIDHN** High Degree Helioseismology Network
- **IRIS** International Research on the Inside of the Sun
- **LOWL** Low Degree Observations

SOHO ist wie gesagt keineswegs die einzige Sonnensonde, wie die folgende historische bzw. aktuelle Auflistung von Forschungsaktivitäten zeigt. Besonders an den in den letzten Jahren stark zugenommenen Starts von Missionen kann man ermessen, wieviel Bedeutung die Sonnenforschung mit Hilfe von außerhalb der Erde stationierten Sonden und Satelliten inzwischen besitzt.

- **Skylab (Start 1973)**
Mit Hilfe von Koronographen, Röntgen - und UV Spektrographen konnten die koronalen Löcher, der Sonnenwindstrom, sowie koronale Massenauswürfe beobachtet werden.
- **Helios-Sonden (Start 1974, 1976)**
Frühe Missionen zur Messung der Eigenschaften des Sonnenwindes und der inneren Heliosphäre (Bereich bis 1 AE).
- **YOHKOH (Start 1991)**
Wurde gebaut, um die hochenergetischen Phänomene auf der Sonne, insbesondere Flares und andere kurzzeitige koronale Störungen zu studieren.
- **GEOTAIL (Start 1992)**
Ihr Ziel ist das Studium des Erdmagnetgürtels und zwar sowohl der erdnahen (8 Erdradien), als auch der erdfernen Regionen (200 Erdradien). Die Geotail-Mission mißt dafür den globalen Energiefluß und dessen Transformation in den Magnetgürtel.
- **ULYSSES (Start 1992)**
Flog über beide Sonnenpole, um die bisher unerreichbaren Regionen der Heliosphäre zu beobachten. Dazu vermaß sie das heliosphärische Magnetfeld, Radiowellen und Partikel die von der Sonne emittiert werden.
- **WIND (Start 1994)**
Das wissenschaftlichen Ziel ist das Sammeln von Daten über Plasma und energetische Partikel für ionosphärische und magnetosphärische Studien. Weiters werden die fundamentalen Plasmaprozesse, die im ernahen Sonnewind auftreten, untersucht.
- **POLAR(Start 1996)**
Auch hier erfolgt eine Messung von Plasma und energetischen Partikeln in den Polarregionen. Eine weitere Aufgabe ist die Erforschung der Charakteristika der Nordlichter und die Rolle der Ionosphäre im magnetosphärischen Energie-Gleichgewicht.
- **ACE (Start 1997)**
Umfassende Studien über Sonnenwind, Sonnenaktivität, Koronaform, Partikelbeschleunigung und Teilchenursprung. Dazu mißt ACE die elementare und isotopische Zusammensetzung, sowie den Ladungsstatus von Ionen.
- **TRACE (Start 1998)**
Diese Sonde wurde gebaut um den quantitativen Zusammenhang zwischen den Magnetfeldstrukturen auf der Sonnenoberfläche und ihren assoziierten Plasmastrukturen in der äußeren Sonnenatmosphäre zu beobachten.

2. Fortsetzung Referat: Beobachtung der Sonne mit SOHO

Zu bemerken ist jedoch, daß keine der angeführten Sonden und Satelliten auch nur annähernd so erfolgreich war bzw. ist, wie die im folgenden genauer beschriebene

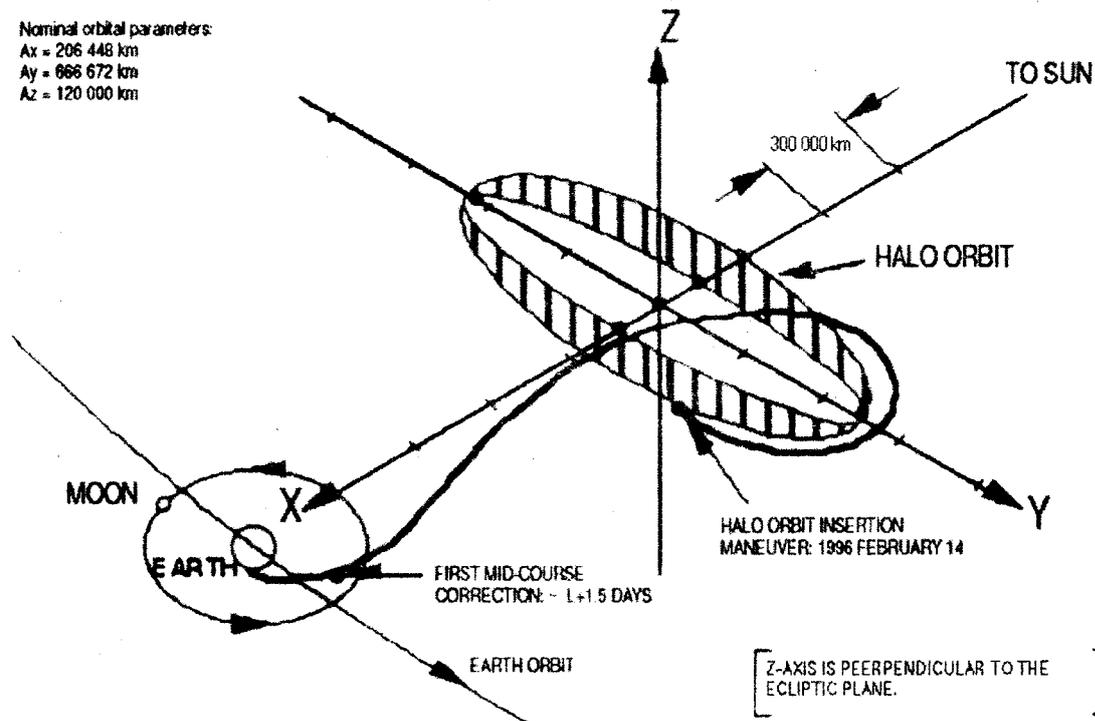
SOHO (Solar and Heliospheric Observatory)

3. Die Raumsonde

SOHO ist Teil des ISTP Programms (International Solar-Terrestrial Physics), einer globalen Bestrebung die Sonne zu beobachten, deren Mechanismen zu verstehen und den Einfluß auf unsere Umgebung zu erforschen. Die ISTP Mission beinhaltet mehr als 20 Satelliten gekoppelt mit bodengestützten Observatorien und Forschungsstätten, welche es erlauben die Sonne, die Erde und den dazwischen liegenden Raum mit beispielloser Genauigkeit zu studieren. ISTP ist eine Gemeinschaftsprogramm von NASA, ESA, Japan's Institute for Astronautical Science und Rußlands Space Research Institute.

Die Sonde wurde am 2. Dezember 1995 mit einer Atlas II Centaur Rakete vom Kennedy Space Center (Florida) aus erfolgreich gestartet und am 14. Februar 1996 in eine Halobahn um den Librationspunkt L1 gebracht. In dieser Bahn bewegt sich SOHO auf einer Ellipse mit Halbachsen von einigen 100.000 km und einer Umlaufzeit von etwa 6 Monaten. Der Punkt L1 liegt zwischen Sonne und Erde, bei einem Erdbstand von 1.5 Millionen Kilometern. Er zeichnet sich dadurch aus, daß sich bei ihm die Anziehungskräfte von Sonne und Erde sowie die Zentrifugalkraft in der Sonnenumlaufbahn aufheben und daß daher eine Raumsonde dort mit geringen Treibstoffmengen dauerhaft positioniert werden kann. Eine Halobahn um L1 wurde gewählt, damit SOHO von der Erde aus gesehen nicht direkt vor der Sonne steht, da dies für den Empfang der Sendesignale ungünstig wäre.

Nominal orbital parameters:
Ax = 206 448 km
Ay = 666 672 km
Az = 120 000 km



SOHO orbit schematic

3. Fortsetzung Referat: Beobachtung der Sonne mit SOHO

Die SOHO Mission ist bis zum Jahre 2003 finanziell abgesichert, aber der Treibstoffvorrat (für Kurskorrekturen) würde wahrscheinlich noch länger reichen. Die Telemetrie ging am 25. Juni 1998 bei einem Test des Lageregelungssystems verloren. Die intensiven Versuche von NASA und ESA SOHO danach wieder in Betrieb zu nehmen waren erfolgreich und die Sonnenbeobachtungen konnten mit Unterbrechungen ab November 1998 wieder durchgeführt werden.

In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu betonen, daß SOHO seine Mission im April 1998 erfolgreich abgeschlossen hat und danach eine Verlängerungsphase (Sekundärmission) begann, von der wesentliche Erkenntnisse während der zunehmenden Sonnenaktivität im neuen Fleckenzklus erwartet werden.

4. Die Instrumente

Auf SOHO befinden sich viele der bereits in der erdgebundenen Sonnenbeobachtung bewährten Geräte (wenn auch in etwas modifizierter Form). Dazu zählen Spektrometer, Koronographen, Interferenzfilter, Radiometer und Spezialteleskope. Weiters gibt es Instrumente zur Messung von Schwingungen und Partikeldetektoren.

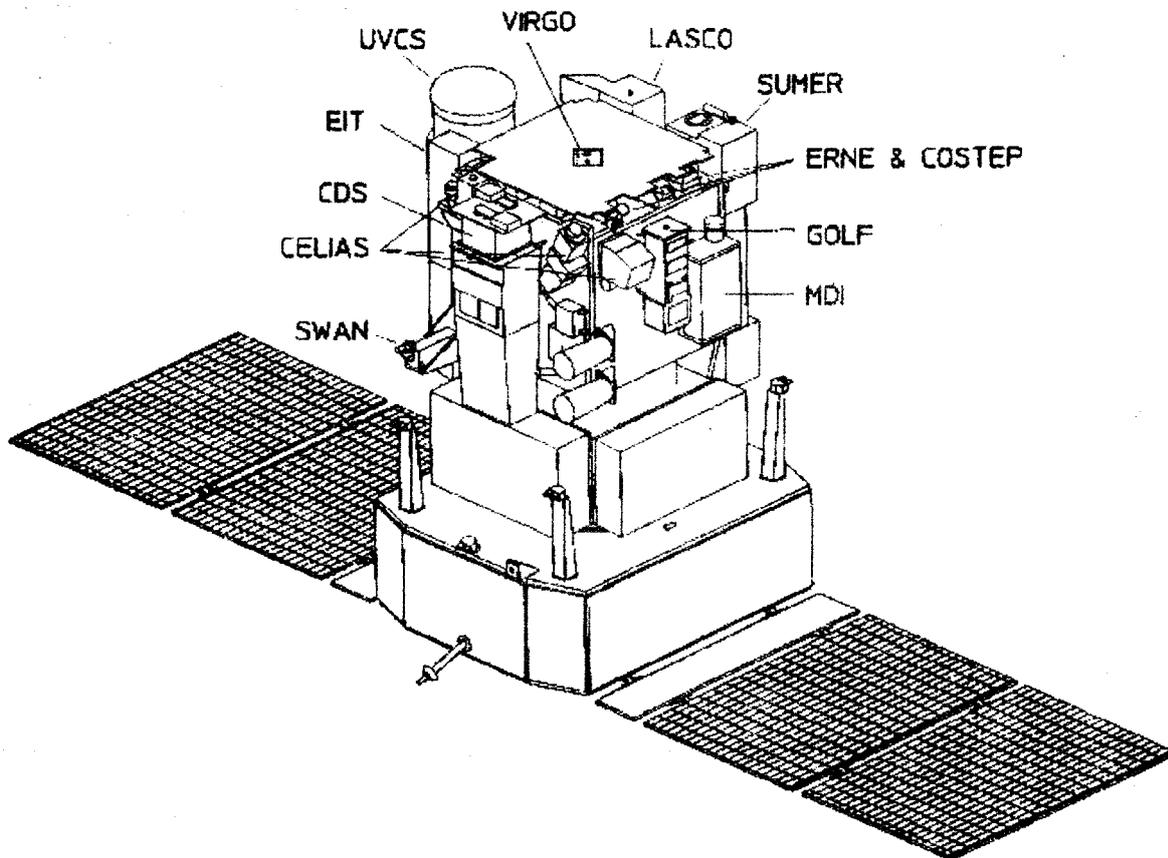
Für diese zwölf wissenschaftlichen Meßgeräte an Bord von SOHO bringt nun die Position L1 die wesentlichen Vorteile, daß erstens die Sonne ununterbrochen ohne störende Einflüsse der Erde oder ihrer Magnetosphäre beobachtet werden kann und zweitens die gleichmäßige Sonneneinstrahlung zur sehr stabilen thermischen Verhältnissen führt. Für die Sonde scheint sozusagen das ganze Jahr über die Sonne. Nur die jahreszeitlichen Schwankungen des Abstands Sonne - Erde bewirken auch für SOHO eine Schwankung des Sonnendurchmessers um etwa 30 Bogensekunden.

Hier nun eine alphabetische Zusammenstellung aller an Bord befindlichen Instrumente und deren primäres wissenschaftliches Forschungsziel:

INSTRUMENT	BEZEICHNUNG	ZIEL
CDS	Coronal Diagnostics Spectrometer	Korona
CELIAS	Charge, Element and Isotope Analysis System	Sonnenwind
COSTEP	Comprehensive Suprathermal and Energetic Particle Analyzer	Sonnenwind
EIT	Extreme ultraviolet Imaging Telescope	Korona
ERNE	Energetic and Relativistic Nuclei and Electron experiment	Sonnenwind
GOLF	Global Oscillations at Low Frequencies	Helioseismik
LASCO	Large Angle and Spectrometric Coronagraph	Korona
MDI	Michelson Doppler Imager	Helioseismik
SUMER	Solar Ultraviolet Measurements of Emitted Radiation	Korona
SWAN	Solar Wind Anisotropies	Sonnenwind
UVCS	Ultraviolet Coronagraph Spectrometer	Korona
VIRGO	Variability of Solar Irradiance and Gravity Oscillations	Helioseismik

4. Fortsetzung Referat: Beobachtung der Sonne mit SOHO

Die Sonde ist aus zwei Modulen aufgebaut. Das Service-Modul bildet den unteren Teil des Raumfahrzeugs. Es stellt Energie, thermische Kontrolle und Telekommunikation für das ganze Raumfahrzeug zur Verfügung und steuert auch die Solarsegel. Das Nutzlast-Modul sitzt daüber und enthält alle beschriebenen Meßinstrumente.



5. Die Forschungsziele

Die Raumsonde SOHO widmet sich nun folgenden drei wissenschaftlichen Hauptgebieten:

5.1. Erforschung des Sonneninneren

GOLF und VIRGO ermöglichen lange, kontinuierliche Serien von Schwingungsmessungen über die gesamte Sonnenscheibe. Auch Fließgeschwindigkeiten und Strahlungswerte werden aufgezeichnet. Dies ermöglicht Rückschlüsse auf den internen Aufbau des Sonnenkerns. MDI mißt Schwingungen auf der Sonnenoberfläche mit hoher Bogenauflösung. Dabei können wertvolle Erkenntnisse über die Konvektionszone, der Schicht knapp unter der Oberfläche, gewonnen werden.

5.2. Erforschung der Sonnenatmosphäre (Korona)

SUMER, CDS, EIT, UVCS, und LASCO bilden eine Kombination von Teleskopen, Spektrometern und Koronographen, welche die heiße Atmosphäre der Sonne, die weit in den Raum hinausreichende Korona, beobachten. Während SUMER, CDS und EIT nur für die innere Korona zuständig sind, vermessen UVCS und LASCO sowohl die inneren, als auch die äußeren Koronaschichten. Sie ermöglichen Messungen von Temperatur, Dichte,

5. Fortsetzung Referat: Beobachtung der Sonne mit SOHO

Zusammensetzung und Beschleunigungsvorgänge mit hoher Auflösung und verfolgen die Entwicklung diverser Strukturen mit großer Genauigkeit.

5.3. Erforschung des Sonnenwindes

CELIAS, COSTEP und ERNE analysieren Ladungsstatus und isotopische Zusammensetzung der Ionen im Sonnenwind. Auch werden andere von der Sonne erzeugte energetische Partikel in diesen Kenngrößen untersucht. SWAN dagegen erzeugt Karten der Wasserstoffdichte in der Heliosphäre, welche die großflächige Erforschung des Sonnenwindstromes erlauben.

6. Beobachtungen, Entdeckungen und Forschungsergebnisse

6.1. Sonnenbeben

Wissenschaftler haben zum ersten Mal gezeigt, daß solare Flares seismische Wellen im Sonneninneren hervorrufen, die stark an die Erdbeben unseres Planeten erinnern. Die Forscher untersuchten ein durch eine Flare erzeugtes Sonnenbeben, das die 40.000-fache Zerstörungskraft des Bebens von San Francisco (1906) besaß. Die freigesetzte Energie wäre ausreichend, um die USA für 20 Jahre mit Strom zu versorgen und ist vergleichbar mit einem Erdbeben der Stärke 11,3.

Die seismische Signatur dieses Bebens fand sich in den Daten von MDI und obwohl die Flare von durchaus moderater Größe war, setzte sie dennoch diese ungeheure Energie frei.

Das beobachtete Sonnenbeben zeigt verblüffende Ähnlichkeit mit den, durch einen ins Wasser geworfenen Stein, hervorgerufenen konzentrischen Kreisen. Die Sonnenwellen breiteten sich allerdings eine volle Stunde über die Fläche des 120-fachen Erddurchmessers aus, bevor sie im heißen Hintergrund der Photosphäre verschwanden.

Im Gegensatz zu Wasserwellen, die sich mit konstanter Geschwindigkeit ausbreiten, beschleunigten sich die Sonnenbebenwellen mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 35.000 km/h auf über 400.000 km/h bevor sie ausklangen.

Schon früh wurde nach dem Vorhandensein von durch Flares hervorgerufenen seismischen Wellen geforscht; mangels einer geeigneten Theorie jedoch, wußte man nicht genau, wo und wie man suchen sollte.

Erst vor einigen Jahren haben die Sonnenforscher Kosovichev und Zharkova eine Theorie entwickelt, die erklären kann, wie eine Flare die im Raum über der Sonne explodiert, gleichzeitig eine starke seismische Welle im Sonneninneren hervorrufen kann. Entsprechend diesem anerkannten Modell der solaren Flares, werden hochenergetische Elektronen erzeugt. Diese werden in eine Magnetflußröhre geschleust (ein unsichtbarer Tunnel aus magnetischer Energie) und produzieren Röntgenstrahlen, Mikrowellen und eben eine Schockwelle, die auch die Oberfläche aufheizt.

Die Wissenschaftler haben die Theorie nun dahingehend verfeinert, daß sie nun Aussagen über Natur und Größe der Schockwellen treffen können, die dieser Strom von energetischen Elektronen auslöst, wenn sie auf die Sonnenatmosphäre niederschlagen.

6. Fortsetzung Referat: Beobachtung der Sonne mit SOHO

Obwohl die Theorie den richtigen Weg in das Gebiet der zu findenden seismischen Wellen wies, stellte sich dennoch heraus, daß diese 10 mal stärker, als vorausgesagt waren. Mehr noch, sie waren so intensiv, daß sie bereits in den Rohdaten (nicht aufbereitet) von SUMER nachweisbar waren.

Diese Wellen scheinen Kompressionswellen, ähnlich den durch Erdbeben hervorgerufenene „P-Wellen“ zu sein und wandern durch das ganze Sonneninnere. Von den Wissenschaftlern wird außerdem vermutet, daß sie durch Rekombination auf der der auslösenden Flare gegenüberliegenden Sonnenseite eine schwache Kopie des originalen Wellenmusters auslösen können.

Da man nun also weiß, wie diese Wellen zu finden sind, können die Wissenschaftler auch diverse Aussagen über die Zustände im Sonneninneren treffen.

6.2. Der magnetische Teppich

Eine Lösung für eines der größten Sonnenrätsel stellt der sogenannte magnetische Teppich dar. Diese Struktur hat nämlich große Bedeutung dafür, wie die für die Koronaaufheizung benötigte Energie entsteht. Seit vor 55 Jahren die Koronatemperatur zum ersten Mal gemessen wurde, haben Forscher nach einer befriedigenden Erklärung gesucht, warum die Temperatur in der Korona auf bis zu 3 Mio. K ansteigt, die sichtbare Oberfläche der Sonne jedoch nur 6000 Grad heiß ist.

Physikalisch ist es nämlich unmöglich, thermische Energie von der kälteren Oberfläche in die viel heißere Korona zu transferieren. Daher muß der Energietransport in Form von Wellen oder magnetischer Energie vor sich gehen. Bis zum Einsatz von SOHO jedoch konnten keine wie immer gearteten Messungen, die für die Koronaaufheizung notwendige Energien nachweisen.

Nun gibt es deutliche Beweise für den magnetischen Energietransport von der Sonnenoberfläche in die darüber liegende Korona. Die Magnetfeldbögen (Loops) des magnetischen Teppichs stellen genug Energie zur Verfügung, um diese enormen Temperaturen in der Korona zu erzeugen. Insbesondere beinhaltet bereits einer dieser Loops, soviel Energie, wie ein großes Kraftwerk in einer Million Jahre erzeugen würde.

Der magnetische Teppich ist nun folgendermaßen aufgebaut. Auf der Sonnenoberfläche existieren viele Magnetfeldkonzentrationen mit beiden Polaritäten (Nord und Süd). Jeder Punkt hat einen Durchmesser von etwa 8000 km. Diese Konzentrationen bauen nun die Magnetbögen auf, in dem zwischen zwei Punkten von entgegengesetzter Polarität Magnetfeldverbindungen existieren (Loops). Diese Punkte sind praktisch die „Fußabdrücke“ der hufeisenförmigen Loops, die von der Sonnenoberfläche bis in die Korona reichen. Obwohl klein im Vergleich zur Sonne, würde dennoch jeder dieser Bögen die Erde umschließen können.

Diese magnetischen Bögen interagieren nun untereinander und produzieren dabei durch elektrische bzw. magnetische Kurzschlüsse Energie. Diese sehr starken elektrischen Ströme, die durch diese Kurzschlüsse verursacht werden, heizen nun die Korona auf einige Millionen Grad auf. Bilder von EIT und CDS (siehe Blinkers), zeigen wie die heißen Gase in der sich fortlaufend ändernden Korona mit den aus dem Sonneninneren kommenden Magnetfeldern reagieren.

7. Fortsetzung Referat: Beobachtung der Sonne mit SOHO

Die Beobachtungen mit MDI zu diesem Thema ermöglichen zeitlich lange, sehr detaillierte und gut geeichte Bilder der Magnetfelder auf der sichtbaren Sonnenscheibe (Photosphäre). Sie dokumentieren auch die sich schnell ändernden Eigenschaften des magnetischen Teppichs, welcher aus zehntausenden versprengten Magnetfeldkonzentrationen besteht.

Die Wissenschaftler von SOHO haben nun das Erscheinen und Verschwinden einer großen Anzahl dieser kleinen Konzentrationen auf der Sonnenoberfläche beobachtet und dabei herausgefunden, daß das Muster des magnetischen Teppichs alle 40 Minuten wechselt.

Es ist allerdings bisher nicht bekannt, wie ein solch kurzfristiger Effekt vom solaren Dynamo, tief im Sonneninneren (siehe solarer Dynamo) gesteuert werden kann. Dies legt den Verdacht nahe, daß bisher unbekannte Prozesse auf bzw. in der Nähe der solaren Oberfläche am Werk sind und diese Bögen auf der ganzen Sonne erzeugen. Eventuell steuert die turbulente Konvektionszone unter der Photosphäre diese Prozesse.

Die gewonnenen Daten unterstreichen die Wichtigkeit einer langen Untersuchung der wechselnden Verhältnisse auf der Sonne von einem geeigneten Punkt im Raum aus, insbesondere da die beschriebenen Prozesse auch die Flares, den koronalen Massenausstoß und kleinere Phänomene, wie die chromosphärischen und koronalen Mikroflares, erklären könnten.

6.3. Blinkers

Auf Bildern des Instrumentes CDS sieht man in der Supergranulation (sie entsteht durch die Auf- und Abwärtsbewegungen der Konvektionszone) auch viele helle Flecken. Diese Strukturen sind in Wahrheit höchst veränderlich und Ausgangspunkt von kurzen Blitzen, auch Blinkers genannt.

Das Erscheinungsbild eines dieser Blinker zeigt sich als helle Explosion (etwa in Erdgröße), wobei zu bemerken ist, daß dessen Existenz weder kurz vorher, noch kurz nacher, beobachtet werden kann. Dies ist ein typisches Merkmal für Blinkers. Im Gegensatz zu üblichen Sonnenereignissen, wie z.B. einer solaren Flare, strahlt der Blinker nur ein Millionstel deren Energieemission ab. Die Schätzungen dazu liegen bei einer Größenordnung von 100 Megatonnen (7 große H-Bomben).

Bei diesen Vorgängen werden wir also Zeuge von ultravioletten Entladungen bei Temperaturen von einigen 100.000 Grad und einer Dauer von wenigen Minuten bis zu einer Stunde. Es handelt sich dabei um elektrisch geladenen Wasserstoff bzw. Helium, das nach der Explosion über der Sonnenoberfläche wieder auf diese zurücksinkt.

Weiters zeigt sich, daß bis zu 3000 dieser Blitze zeitgleich auf der ganzen Sonnenscheibe verteilt auftreten können. Dieses solare Feuerwerk aus Blitzen repräsentiert nun die kurzzeitigen Prozesse in der Sonnenatmosphäre, welche fundamental für die Arbeitsweise der Korona sind.

Aufgrund der Anzahl dieser Explosionen, kann angenommen werden, daß diese die Korona auf über 2 Mio. Grad aufheizen und eventuell den Sonnenwind beschleunigen. Wenn dem so ist, so kann die Entdeckung der Blinkers eine Erklärung für diese bislang ungelösten Fragen geben.

8. Fortsetzung Referat: Beobachtung der Sonne mit SOHO

Die zugrundeliegenden Prozesse für Blinkers sind wohl in den komplexen magnetischen Strukturen (siehe magnetischer Teppich) zu suchen. Hier wird durch fortdauernden Aufbau und Zerfall von Magnetfeldbögen Energie in die umgebenden solaren Gase gepumpt.

6.4. Hochbeschleunigte Jets (Gasstrahlen)

Vor einigen Jahren hat man schmale Gasstrahlen im Ultraviolett innerhalb der Sonnenatmosphäre gefunden, welche von der Sonne weg oder zu ihr hin strömen (im Umfang ca. 1500 km). CDS hat nun auch Jets höherer Temperaturen beobachtet, die man bis in die höheren Atmosphärenschichten zurückverfolgen kann. Es handelt sich dabei um kleine Taschen aus Gas (im Durchmesser etwa 1.000 km), die entlang von Magnetfeldbögen in die solarere Atmosphäre beschleunigt werden. Sie laufen um die Loops herum und das mit einer Geschwindigkeit von einigen 100 km/s. Die Besten dieser Beispiele sind dramatisch; man sieht dort wie einzelne Jets um die großen Magnetfeldbögen richtiggehend herumschießen. Was sie beschleunigt ist bisher allerdings unbekannt; es bedeutet aber daß störende Kräfte in der Atmosphäre am Werk sein müssen.

6.5. Hot loops and cold loops (heiße und kalte Bögen)

Die Sonne verhält sich wie ein flüssiger Magnet mit großen magnetischen Bögen, die heiße Gase (Plasma) in der Atmosphäre halten. Interessant sind aber die großen Temperaturunterschiede in den einzelnen Strukturen. Einerseits herrschen Temperaturen über 2 Mio. Grad, in den niederen Schichten fallen sie jedoch unter 10.000 Grad. Wie auch immer - CDS Bilder zeigen, daß große magnetische Bögen Plasma mit jeglicher Temperatur beinhalten können und daß jeder Bogen effektiv von seinen nächst heißeren oder kälteren Nachbarbogen abgeschirmt ist.

6.6. Überraschende Temperaturverteilung in der Sonne

Durch Messungen von Oszillationen im Sonneninneren mit MDI, stießen die Forscher auf eine interessante Tatsache. Die Temperaturverteilung innerhalb der einzelnen Schichten in der Sonne ist nicht exakt so wie erwartet. Besonders bemerkenswert ist, daß die Temperatur im Kern der Sonne um 0,1% geringer ist, als die angenommenen 15 Mio. Grad. Obwohl diese Diskrepanz sehr gering ist, impiziert dies jedoch, daß die Kernreaktionen im Sonnenkern derzeit sozusagen nicht auf „vollen Touren“ laufen. Der nun gefundene etwas kühlere Kern könnte nun erklären, warum die Sonne in ihrer Energieproduktion über lange Perioden schwankt.

6.7. Plasmaströme und Winde in der Sonne

Wissenschaftler haben im Sonneninneren Ströme (Flüsse) aus heißen elektrisch geladenen Gas (Plasma) gefunden. Auch fanden sich Strukturen ähnlich unseren Winden, die Gas unter der heißen Sonnenoberfläche transportieren.

Diese Beobachtungen könnten dazu beitragen den Sonnenfleckenzyklus und die damit verbundene erhöhte Sonnenaktivität besser zu verstehen, welche die Erde ja nachhaltig beeinflussen (Energie - und Kommunikationsstörungen).

Im speziellen fanden sich Bewegungen ähnlich unseren Wettermustern in der Erdatmosphäre. Mehr noch, auch eine komplett neue Entdeckung wurde gemacht, und zwar Jet-ähnliche Bewegungen nahe den Polen. Da diese sich innerhalb der Sonne befinden, können sie von außen nicht gesehen werden.

9. Fortsetzung Referat: Beobachtung der Sonne mit SOHO

Diese polaren Ströme sind von kleinem Ausmaß (verglichen mit der ganzen Sonne), aber sehr groß im Verhältnis zu den irdischen atmosphärischen Jet-Strömungen. Sie umhüllen die Sonne ab etwa 75 Grad Breite und bestehen aus flachen, ovalen Regionen (etwa 27.000 km im Durchmesser), wo sich die Gase etwa 10% schneller (130 km/h), als ihre Umgebung bewegen. Obwohl diese Strukturen die kleinsten jemals im Sonneninneren beobachteten Einheiten sind, könnten sie aufgrund ihrer Größe dennoch zwei Erdkugeln aufnehmen.

Zusätzlich fanden sich auch die erwähnten Winde, ähnlich den Passatwinden. Die Sonnenrotation nimmt bekannterweise vom Äquator zu den Polen hin kontinuierlich ab. MDI-Wissenschaftler haben nun herausgefunden, daß in den nördlichen und südlichen Hemisphären mehrere Strömungsgürtel existieren, die sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten relativ zueinander bewegen. Sechs dieser Gasbänder bewegen sich geringfügig schneller als die umgebenden Gase. Die solaren Gürtel haben eine Breite von 60.000 km und sie stellen insbesondere auch jene Bereiche dar, in denen sich die solaren Winde um etwa 16 km/h schneller als ihre Umgebung bewegen. Die ersten Anhaltspunkte für diese Gürtel wurden schon in den achtziger Jahren gefunden; die MDI-Forscher haben jedoch gezeigt, daß es sich dabei nicht nur um eine Oberflächenbewegung handelt, sondern daß diese Gürtel bis 20.000 km in die Tiefe reichen.

In einem Punkt sind diese Gürtel ähnlich den farbigen Wolkenbändern des Jupiter: wie dessen Streifen beginnen sie in den mittleren Breiten. Von dort bewegen sie sich während des 11-jährigen Sonnenzyklus stufenweise in Richtung Äquator. Es scheint als ob sie einen Bezug zu den Sonnenfleckformationen haben, weil diese sich gerne an den Rändern dieser Zonen formieren.

Man spekuliert auch darüber, daß die Differenzen in der Geschwindigkeit an den Kanten dieser Bänder mit der Erzeugung des Magnetfeldzyklus gekoppelt sind, der ja periodisch die Sonnenaktivität erhöht.

Schließlich haben die Forscher entdeckt, daß in der äußersten Schicht des Sonnenballs (Tiefe 24.000 km) eine Strömung sich langsam aber kontinuierlich vom Äquator in Richtung der Pole bewegt. Diese ist mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h zwar relativ langsam, aber doch schnell genug, um ein Objekt innerhalb eines Jahres vom Äquator zu den Polen transportieren zu können. Diese Tatsache ist merkwürdig, da die Richtung dieses Flusses (Nord-Süd) entgegen der Gürtelströmungen (Ost-West) gerichtet ist.

Das Vorhandensein dieser Bewegung wurde schon früher beobachtet/vermutet, aber niemand wußte wie tief diese Strömung ist. Mit einem Volumen von nur 4% des Sonneninhaltes, hat diese Struktur vielleicht jedoch einen entscheidenden Einfluß auf die Sonnenaktivität.

6.8. Tornados

Auf der Sonne gibt es auch rotierende Stürme, die deutlich größer und schneller als auf der Erde sind. Diese unerwartete Entdeckung machten die britischen Wissenschaftler des CDS-Experiments. Inzwischen haben sie mehr als ein Dutzend solcher Ereignisse auf der Sonne gefunden.

Sie erscheinen besonders oft in der Nähe der Sonnenpole und sind so groß wie die Erdkugel. Die Windgeschwindigkeiten in diesen Tornados liegen relativ konstant bei 15 km/s,

10. Fortsetzung Referat: Beobachtung der Sonne mit SOHO

können aber auch das 10-fache erreichen, was Windgeschwindigkeiten bis zu 500.000 km/h bedeutet (zum Vergleich die Tornados auf der Erde erreichen 400-500 km/h).

Die Messungen wurden mit Hilfe des Dopplereffekts durchgeführt. Dazu wurden die Emissionslinien von heißen Sauerstoffatomen (250.000 Grad) beobachtet, die sich, je nachdem ob sich das Gas in Richtung auf die Erde zu oder von ihr weg bewegt, nach links oder rechts verschoben. Das CDS Instrument ist für solche Messungen besonders geeignet, weil es auf diese Variationen sehr empfindlich reagiert.

In den erhaltenen Bildern sieht man wie sich das heiße Gas in den Tornados spiralförmig und mit zunehmender Geschwindigkeit von der Sonne wegbewegt. Diese Ereignisse müssen in der Sonnenatmosphäre weitreichende Effekte hervorrufen.

Die neu entdeckten Tornados könnten auch eine Ursache für den schnellen Sonnenwind darstellen, besonders für den „Schnellen“, der ja aus den relativ kühlen koronalen Löchern fließt (siehe Quellen des Sonnenwindes). Als nächsten Schritt wird man daher versuchen auch einen Bezug zwischen den solaren Tornados und dem schnellen Sonnenwind herzustellen.

6.9. Die Granulation

Durch Messungen von Strömungen und Wellen im Sonneninneren konnte nun der erste direkte Beweis für die Strukturierung der Konvektionszone erbracht werden. Es handelt sich dabei um die bekannte Granulation, die ja in etwa 1500 km großen Zellen die ganze Sonne umschließt. Diese sind typischerweise in größeren Einheiten organisiert, die auch Supergranulation genannt wird (etwa 25.000 km im Durchmesser). Die theoretischen Berechnungen dieser Supergranulation schlossen auf eine Dicke im Verhältniss von etwa 30% der Breite. Wie auch immer, die MDI Messungen ergeben eine pfannenartige Ausformung mit einer Dicke von etwa 10% der Breite.

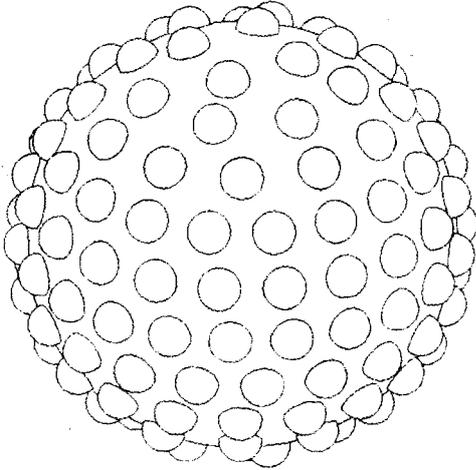
6.10. Das chromosphärische Netzwerk

Ist eine Struktur aus hellen Zellgrenzen und dunklen Zentren. Die Netzwerkstruktur wird von den Supergranulationszellen hervorgerufen, die besonders in den Ca II Spektraheliogrammen sichtbar sind. Dabei ist von großer Bedeutung, daß diese Struktur sowohl in den ruhigen Zonen, als auch in den polaren koronalen Löchern deutlich hervortritt. Während die größten Intensitäten und Linienbreiten recht deutlich den Netzwerkgrenzen folgen, ist bei den Bewegungen eine starke Gliederung in auf- und absteigende Bereiche auszumachen. Gemittelt über die Sonne ergibt das 5 km/s (max. 10 km/s) Rotverschiebung. Dies kann aber nicht auf einer entsprechenden Abwärtsbewegung beruhen, da sonst die Sonnenkorona in kürzester Zeit entleert würde. Eine abschließende Erklärung steht noch aus.

Das chromosphärische Netzwerk an dessen Grenzen sich das photosphärische Magnetfeld der Sonne konzentriert, ist weiters durch eine Vielzahl explosiver Ereignisse mit Ausdehnungen von einigen 1000 km gekennzeichnet. Die auftretenden Geschwindigkeiten reichen bis 100 km/s nach oben bzw. unten. Die typische Dauer beträgt einige Minuten. Diese Ereignisse werden als Feldlinienverschmelzung gedeutet und verursachen wahrscheinlich die Aufheizung der Korona (siehe magnetischer Teppich).

6.11. Die verzerrte Sonne

SOHO mißt regelmäßig kleine Veränderungen in der Form der Sonne. Diese Änderungen in Größe werden durch Schwingungen ähnlich Erdbebenwellen hervorgerufen. Erdgebundene Messungen haben diese Schwingungen auch vermessen, jedoch wurde nicht erkannt, daß die Form der Sonne deswegen fluktuiert. Die Genauigkeit liegt bei 3m! Die Beobachtung der rotierenden Sonne hat auch gezeigt, daß die Sonnenoberfläche gewellt ist. Sie ist mit Hügeln und Tälern (etwa in 5-facher Erdgröße) übersät. Die „Berge“ erreichen allerdings nur eine Höhe von 1/2 km. Trotzdem die Sonne ein Gasball ist und daher keine feste Oberfläche hat, rotieren auch diese Berge und Täler im durchschnittlichen 27-Tage Sonnenrotationszyklus. Sie werden möglicherweise durch das komplexe Magnetfeldnetzwerk hervorgerufen, welches ja die ganze sichtbare Sonne umspannt.



6.12. Der solare Dynamo

Seit längerem wird versucht die Position des solaren Dynamos zu bestimmen, weil dieser viele Erscheinungen auf der Sonne bedingt. Dazu zählen die variierende Sonnenwindichte, der 11-jähriger Sonnenzyklus und großflächige Ereignisse auf der Oberfläche, die von starken Magnetfeldern im Sonneninneren abhängen. Für das Verhalten der Sonne ist das Verständnis des solaren Dynamos also extrem wichtig.

MDI Wissenschaftler konnten nun die Suche auf eine Schicht, die 60.000 km dick ist und 216.000 km unter der Oberfläche liegt, einschränken. In dieser Region haben sie Anhaltspunkte für zwei Zustände, die bezeichnend für einen solaren Dynamo sind, gefunden. Die Möglichkeit den Ort des solaren Dynamos mit hoher Genauigkeit zu vermessen, gibt den Forschern nun die Gelegenheit zu untersuchen, wie sich dieses Region während des solaren Zyklus ändert. Dies macht sich möglicherweise durch Änderung des Ortes, der Dicke dieser Schicht bzw. in Temperaturveränderungen bemerkbar.

6.13. Das Rotationsloch

Die Rotation nimmt gleichbleibend vom Äquator in Richtung zu den Polen hin ab. Dies ergibt einen siderischen Zeitraum von 24,8 - 30 Tage. In der Nähe der Pole gibt es allerdings einen kleinen, aber merklichen Abfall. Dieser Sachverhalt wurde durch das MDI-Instrument festgestellt und könnte durch Bremsung des Magnetfeldes hervorgerufen werden. Weiters könnte dies auch in Zusammenhang mit dem schnellen Sonnenwind stehen, der ja aus diesen Regionen kommt.

6.14. Der unsymmetrische Sonnenkern

Durch die Kombination von Daten aller helioseismischen Geräte an Bord von SOHO haben die Wissenschaftler kleine, aber wichtige Divergenzen in den Theorien über das Innere der Sonne festgestellt. Es wird jetzt nämlich vermutet, daß der Kern der Sonne „schief“ liegt. Um dies jedoch sicher untermauern zu können müssen noch auf längere Zeit weitere Daten gesammelt werden.

12. Fortsetzung Referat: Beobachtung der Sonne mit SOHO

6.15. Der Sonnenwind

Der Sonnenwind ist ja ein Strom elektrisch geladener Gase, der von der Oberfläche der Sonne abfließt. Er kommt in zwei Varianten vor: „Schnell“ und „Langsam“. Der langsame Sonnenwind fließt in der Nähe der Erde mit nur 1,5 Mio. km/h (etwa 400 km/s), während sich der schnelle Sonnenwind mit höheren Geschwindigkeiten, nämlich etwa 3 Millionen km/h (800 km/s) bewegt.

Die Beschaffenheit und die Herkunft des Sonnenwindes ist eines der hauptsächlichen Rätsel der Sonnenphysik, für deren Lösung SOHO geplant war. Schon seit langem hat man beispielsweise angenommen, daß der schnelle Sonnenwind aus den Korona-Löchern fließt (siehe Quellen des schnellen Sonnenwindes).

Zum Thema Zusammensetzung hat sich das Instrument CELIAS schnell profiliert, indem es viele schwere Elemente unter den geladenen Atomen des Sonnenwindes gefunden hat, deren Existenz früher ungekannt war. Weiters kümmert sich das CELIAS Team nun darum, die genauen Unterschiede zwischen dem schnellen und langsamen Sonnenwind auszumachen. Dazu zählen die Verhältnisse der Elemente und der Grad deren Ionisation (Verlust von Elektronen).

Das Auffinden von selteneren Elementen im Sonnenwind erlaubt auch die Lücken in den Tabellen, die den Sonnenwind mit der Photosphäre vergleichen, zu füllen. Dies ist wichtig, um die Beschleunigung des Windes in der Chromosphäre, in der inneren Korona und die Zustände in diesen Schichten zu verstehen.

Auch in der Korona, besonders aber in den Koronastrahlen, wurde von UVCS eine breite Front an chemischen Elementen wie H, N, O, Mg, Al, Si, S, Ar, Ca, Fe und Ni neu entdeckt.

UVCS hat auch bestätigt, daß Protonen und die mehr massiveren Sauerstoffpartikel im abfließenden koronalen Gas allesamt heißer als die Elektronen sind. Auch diese Temperaturdifferenzen könnten ein Teilaspekt für die Sonnenwindbeschleunigung bzw. für dessen Zusammensetzung sein.

Wenn der schnelle bzw. der langsame Sonnenwind an der Erde vorbeifließen, verändern sie Form und Struktur des irdischen Magnetfeldes. In der Vergangenheit hat der Sonnenwind uns nicht direkt beeinflusst, aber jetzt, wo wir zunehmend von Hochtechnologie abhängig sind, werden wir auf seine Effekte aufmerksam. Die Forschung hat festgestellt, daß Änderungen im Fluß des Sonnenwindes dramatische Änderungen in der Gestalt des irdischen Magnetfeldes bewirken können, die wiederum Satelliten zerstören und Kommunikations- oder Energiesysteme unterbrechen können.

6.16. Die Quelle des schnellen Sonnenwindes

Eine internationale Wissenschaftler-Gruppe hat vor kurzem Gebiete auf der Sonne identifiziert, in denen der schnelle Sonnenwind entspringt. Mit Hilfe des Spektrometers SUMER untersuchten sie die Strömungen des Sonnenwindes, welche von den Kanten wabenförmiger Muster (hervorgerufen durch magnetische Felder) an der Oberfläche der Sonne ausgehen. Diese Erkenntnis ist für das bessere Verständnis des schnellen Sonnenwindes sehr wichtig, der aufgrund seiner Zusammensetzung aus elektrisch geladenen Teilchen den von ihm durchströmten Raum und auch die Nachbarschaft unserer Erde beeinflusst.

13. Fortsetzung Referat: Beobachtung der Sonne mit SOHO

Bereits seit 30 Jahren beobachten Wissenschaftler den schnellen Sonnenwind, der nur aus jenen Regionen der Sonnenatmosphäre strömt, über denen die magnetischen Feldlinien offen sind. (die sogenannten Korona-Löcher). Erst kürzlich jedoch, mit Hilfe der Beobachtungen von SOHO, war man in der Lage, die detaillierte Struktur dieses Ursprungsgebietes innerhalb der Korona-Löcher zu vermessen.

SUMER entdeckte die Quelle des schnellen Sonnenwindes nur durch die Beobachtung des ultravioletten Spektrums über einem größeren Gebiet am Nordpol der Sonne. Dort strahlt das heiße Gas Licht in bestimmten ultravioletten Wellenlängen aus. Wenn das Gas nun in Richtung Erde fließt, wie es dies im Sonnenwind tut, werden die Wellenlängen des ausgesandten UV-Lichtstrahlen kürzer (Dopplereffekt).

Wie eingangs erwähnt sind die Ausflüsse des Sonnenwindes in bestimmten Gebieten an den Kanten der wabenförmigen magnetischen Felder konzentriert. Dicht unterhalb der Sonnenoberfläche gibt es große Konvektionszellen, und jede Zelle ist mit einem magnetischen Feld verbunden. Wenn man sich diese Zellen als „Steinplatten einer Terrasse“ vorstellt, dann wächst der Sonnenwind sozusagen wie „Gras“ an den Kanten heraus, wobei an den Ecken (dort wo sich „die Steinplatten“ treffen) eine deutliche Konzentration auftritt. Bei Geschwindigkeiten von etwa 8 km/s an der Oberfläche bis hinauf zu mehr als 800 km/s, „wächst“ der Sonnenwind allerdings erheblich schneller als Gras.

Die Identifikation dieser Detailstrukturen ist ein wichtiger Schritt, um das noch anstehende Problem der Beschleunigung des Sonnenwindes zu lösen. Jetzt lenkt man die Aufmerksamkeit auf die Plasma-Bedingungen und die dynamischen Prozesse, die an den Rändern der magnetischen Feldstrukturen herrschen.

6.17. Die Beschleunigung des Sonnenwindes

Während die Quellen des Sonnenwindes nun ausgemacht werden konnten, bereitet dessen Beschleunigung noch immer Kopfzerbrechen. Noch nicht geklärt sind Prozesse in der Atmosphäre beschleunigen die heißen solaren Gase und stoßen diese in den Raum ab. Eventuell haben unter anderen auch die sogenannten Blinker damit zu tun. Die CDS Beobachtungen zeigen diese Beschleunigung jedenfalls sehr schön mit Hilfe von dopplerverschobenen Emissionslinien.

Die koronalen Löcher aus denen der schnelle Sonnenwind ja strömt, sind in Richtung der Sonnenpole konzentriert. In diesen Regionen bilden die lokalen Magnetfelder keine Barriere für das Gas, welches dort also die Sonne mit einer Geschwindigkeit von 800 km/s verlassen kann. Im Gegensatz dazu ist die stark magnetische Äquatorzone die Quelle des langsamen Sonnenwindes der mit etwa 400 km/s strömt.

Details zum schnellen Sonnenwind

Das chromosphärische Netzwerk überdeckt auch die koronalen Löcher; damit ist klar, daß in den kühleren Schichten der Sonnenatmosphäre zwischen Löchern und übrigen Bereichen keine wesentlichen Unterschiede bestehen. Diese treten erst bei höheren Temperaturen von etwa 10.000 - 1,4 Mio. Grad auf. Die Plasmaparameter in den koronalen Löchern sind deswegen so interessant, weil sich hier die Quellen des schnellen Sonnenwind (ULYSSES maß 800 km/s) befinden. Sie sind so hoch, daß sie nicht mit einem einfachen Abströmen der heißen Korona erklärt werden können.

Die Diskussion ist noch im Gange. Es zeichnet sich aber ab, daß das chromosphärische Netzwerk für diese Vorgänge von ausschlaggebender Bedeutung sein könnte. Bei den

14. Fortsetzung Referat: Beobachtung der Sonne mit SOHO

Magnetfeldverschmelzungen werden kurzperiodische, hydromagnetische Wellen erzeugt, die über eine Zyklotron-Resonanzkopplung die Ionen in der Korona selektiv auf hohe transversale Geschwindigkeiten beschleunigen, die mit SOHO Instrumenten direkt als Dopplerverbreiterung der Linien festgestellt werden können. Dieser Vorgang steht vielleicht auch in Bezug zu den Tornados.

Details zum langsamen Sonnenwind

LASCO hat sehr viele große und kleine Massenauswürfe auf der Sonne beobachtet, die durch große und kleinere Explosionen verursacht werden. Einige dieser Massenauswürfe können gleichzeitig auf weit verstreuten Pläzezen in der Sonnenäquatorzone auftreten. Die Forscher vermuten, daß diese Massenauswürfe einen wichtigen Teil des langsamen Sonnenwindes darstellen und dieses Material danach eine Beschleunigung durchmacht.

6.18. Polar Plumes

Auf den UV-Aufnahmen von EIT lassen sich federförmige Gebilde, Plumes (auch Polarstrahlen genannt) erkennen. Diese Strahlen gehen von hellen Punkten in den koronalen Löchern aus und erstrecken sich vom Nord - bzw. Südpol der Sonne bis weit in den Raum hinaus. Diese Strukturen wurden lange mit dem Abströmen des schnellen Sonnenwindes entlang der Magnetfeldlinien in Verbindung gebracht. Mit SUMER konnte jedoch gezeigt werden, daß die Strahlen eine geringere Elektronentemperatur als die umgebenden dunklen Zwischenräume haben und auch keine schnelle Abströmgeschwindigkeit aufweisen. Der schnelle Sonnenwind entsteht daher wohl in den dunklen Gebieten der koronalen Löcher.

6.19. Spikulen

Zungenartige Strukturen die „wie Gras“ aus der Sonne zu wachsen scheinen. Sie zeigen im Gegensatz zu den Polarstrahlen eine unregelmäßige Ausrichtung und sind auf eine Höhe von etwa 10.000 km begrenzt. Eventuell stehen auch sie mit der Koronaaufheizung in Zusammenhang. Es gibt bisher aber keine befriedigende Erklärung.

6.20. Äquatoriale Streamer

UVCS beobachtet die helmartigen, äquatorialen Strahlen von denen man annimmt, daß sie die Quellen des langsamen Sonnenwindes sind. Sie bestehen aus atomarem Wasserstoff und stark geladenen Sauerstoff. Dieses Material wird nun vom Sonnenmagnetfeld zu einer gigantischen Düse, eben den äquatorialen Strahlen, geformt, die mehr als 3 Mio. km über den sichtbaren Rand der Sonne hinausreichen. UVCS maß auch, daß die Partikel Geschwindigkeiten über 100 km/s erreichen. Die Ausformung dieser Strahlen hängt auch von der Sonnenaktivität ab.

6.21. Sonne und Kometen

Eine weitere interessante Aufgabe von SOHO ist inzwischen die Kometenbeobachtung geworden. Im ersten Moment ist vielleicht nicht klar was das mit der Sonne zu tun hat. Dazu muß gesagt werden, daß der berühmte Kometenschweif ja durch den Sonnenwind hervorgerufen wird und daß das Kometenmaterial mit der Sonnenstrahlung reagiert. Durch Beobachtung der Form des Schweifes und der Interaktion von Sonnenwind und Komet können nun gewisse Rückschlüsse getroffen werden.

Während der Kern eines Kometen fast nur im reflektierten Sonnenlicht gesehen werden kann, entsteht in der Koma (einer Gaswolke aus verdampften Teilchen und Staubpartikeln) durch die Sonnenstrahlung ein Resonanzleuchten (Fluoreszenzanregung). Bei Sonnen-

15. Fortsetzung Referat: Beobachtung der Sonne mit SOHO

eruptionen, also einer kurzzeitige Steigerung der UV - und Röntgenstrahlung, wurden mehrfach auch Helligkeitsausbrüche festgestellt. So stehen die Kometenhelligkeiten auch in Zusammenhang mit Sonnenaktivität und Sonnenfleckenrelativzahl.

Bei dem Kometen Hyakutake konnte erstmals auch Röntgenstrahlung nachgewiesen werden, wobei anscheinend auch andere Kometen diesen Effekt zeigen. Die Strahlung entsteht vermutlich durch Wechselwirkung des Sonnenwinds mit der Koma.

Bei kleinen Sonnendistanzen wirkt der Sonnenwind auf die Gase der Koma. Die elektrisch geladenen Sonnenwindpartikel reißen die Gasteilchen vom Kopf des Kometen weg und lassen den Schweif entstehen, der meist von der Sonne abgewandt ist. Der Strahlungsdruck der Sonne spielt indessen bei der Entstehung des Staubschweifes eine Rolle. Die Schweifgröße kann bis 100 Mio. km (max. 300 Mio. km Komet 1843) in Länge und 1-2 Mio. km in Dicke betragen.

Die Repulsivkraft der Sonne, also Sonnenwind und Strahlungsdruck, die den Schweif entstehen läßt, kann 100 bis 10.000 mal stärker, als die Gravitation der Sonne sein. Die Geschwindigkeit mit denen die Gasteilchen vom Kometenkopf wegfiegen betragen in dessen Nähe 10 km/s am Schweifende jedoch können sie auf 100 bis 1000 km/s anwachsen.

In einem seltenen himmlischen Spektakel beobachtete LASCO am 1 und 2 Juni 1998 wie zwei Kometen in die Sonnenatmosphäre eintauchten und dort verglühten. Aufgrund eines spektakulären Zufalls trat Stunden nach der Zerstörung der beiden Kometen ein koronaler Massenauswurf in Begleitung einer eruptiven Protuberanz am Südwestrand der Sonne auf. Die CME und die Protuberanz haben wohl nichts mit den Kometen zu tun, vielmehr sind sie das Produkt von wochenlangender intensiver magnetischer Aktivität in dieser Region. Der koronale Auswurf war nicht gegen die Erde gerichtet und verursachte dort daher auch keine Störungen.

Die beobachteten Kometen gehörten zu einer Familie namens „Kreutz Sungrazers“ (Sonnenstreifer), einer Klasse von Kometen, die sich durch die Korona, sehr nahe an der Sonne vorbeibewegen. In den Bildern vom 1,2 Juni ist zu erkennen wie die Helligkeit der Kometen während der Annäherung rapide ansteigt, bevor sie verschwinden und sich durch die Sonnenstrahlung auflösen. Solarphysiker haben bisher nie beobachten können, wie ein Komet in die Sonne einschlägt. Dies ist verständlicherweise auch sehr schwierig, da Kometen sich normalerweise vom dunklen Nachthimmel abheben und nicht wie in diesem Fall, sich in der Nähe der gleißenden Sonne befinden.

Die beiden Kometen, SOHO-54 und SOHO-55 genannt, sind bereits Nummer 54 bzw. 55, die SOHO seit 1995 entdeckt hat. Die Sonde bestätigt sich damit einmal mehr als Kometenfinder und das umso mehr, als in der Zeit vor SOHO nur 25 „Sungrazers“ jemals entdeckt wurden.

6.22. Magnetic Quadrupole

Die Sonne besteht von Nord nach Süd aus vier magnetischen Zonen, wobei jeweils eine an die andere mit unterschiedlicher Polarität grenzt. Dies ist auch der Grund, warum es zu den instabilen Zuständen dieser Strukturen kommt.

16. Fortsetzung Referat: Beobachtung der Sonne mit SOHO

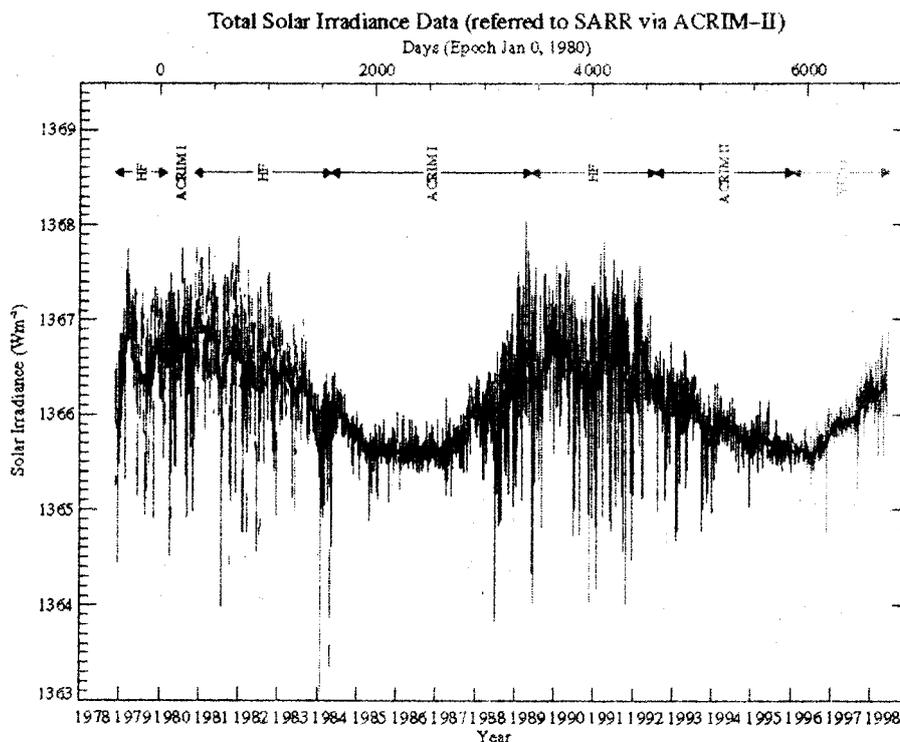
6.23. Der magnetische Schild

Ein dünner magnetischer Schild zeigt sich während eines solaren Minimums rund um die Sonne. Eine Zunahme von koronalen Störungen wirkt sich direkt auf diese Struktur aus. Die obere bzw. untere Grenze dieses Schildes hat entgegengesetzte Polaritäten. Konsequenterweise formen diese einen Schnabel und fangen in dieser Anordnung heißes Koronamaterial ein. Die Masse des eingefangenen Materials variiert mit der Zeit sehr stark. Man nimmt an, daß sich in aktiven Zeiten der Sonne mehr Material ansammelt als in Ruhigen. Wenn der Druck im Inneren dieser Struktur nun einen gewissen Wert überschreitet, führt das dazu, daß dieser Schild sich öffnet und das gespeicherte Material in den Raum geblasen wird.

6.24. Moreton Wellen

Während der solaren Ereignisse vom 13. August 1996, 7. April, 12. Mai und 24. September 1997, die durch ERNE und EIT observiert wurden, ergab sich zum ersten Mal ein Anhaltspunkt, daß ein energetische Partikelausbruch der Sonne in Zusammenhang mit den Auftreten einer koronalen Moreton Welle steht. Es handelt sich dabei um eine Theorie aus den frühen siebziger Jahren, die versucht $H\alpha$ -Flare Wellen (Moreton Wellen) zu beschreiben. Diese Ereignisse sind verblüffend, denn sie betreffen meistens den größten Teil der Sonnenscheibe. Sie breiten sich im allgemeinen mit einer Geschwindigkeit von 200-500 km/s über die ganze Sonne aus und das in weniger als einer Stunde.

6.25. Die Solarkonstante



From: C. Frohlich & J. Lean, 1998, *Geophys. Res. Lett.*, 25, pp. 4377-4380, and the VIRGO Team (Nov 29, 1998)

Die Messung der Solarkonstante wurde aus Gründen der Überwachung der Sonnenaktivität bereits seit 1978 von mehreren Radiometern auf verschiedensten Satelliten vorgenommen (NIMBUS-7, ERBS, ACRIM II etc.). Inzwischen nimmt diese Aufgabe das SOHO Instrument VIRGO mit unvergleichlich hoher Genauigkeit wahr. Beachtenswert ist, das die Solar-

17. Fortsetzung Referat: Beobachtung der Sonne mit SOHO

konstante trotz ihres Namens dennoch in einem Bereich von etwa 5 Watt schwankt und sehr schön den 11-jährigen Sonnenaktivitätszyklus widerspiegelt.

6.26. Heliosphäre, interstellare Brise und kosmische Strahlung

Mit dem Instrument SWAN können interplanetarer Wasserstoff, die Größe der Heliosphäre und die Stärke des Sonnenwindes aus verschiedenen Richtungen gemessen werden.

Bei der Beobachtung der Verteilung der interplanetaren Wasserstoffatome mit den Allsky-Scannern ist deutlich zu sehen, wie der Sonnenwind in 300 Mio. km auf die anströmende H-Atome trifft. Über den Polen allerdings, wo der Sonnenwind schwächer strömt, kommen sie näher heran.

Aber die Sonne ist nicht alleine im Universum und SOHO wird neben den Sonnepartikeln auch von solchen getroffen, die aus dem kosmischen Raum kommen, durch dessen interstellares Gas die Sonne ja wandert. Die Sonne bläst dabei eine große Blase auf, Heliosphäre genannt, welche die geladenen Atome aus dem Raum reflektiert. Neutrale Atome jedoch dringen in die Heliosphäre ein und erscheinen als interstellare Brise, die durch das Sonnensystem bläst.

Das SWAN Instrument sieht nun diesen interstellaren Wasserstoff als ultravioletten Lichtschein über den ganzen Himmel verteilt. Das Zusammentreffen mit dem Sonnenwind spaltet nun Elektronen von den Wasserstoffatomen ab und beendet deren ultraviolettes Leuchten, sodaß dort eine Höhle im Glühschein erzeugt wird.

Weiters konnte das SWAN Team aus den über 2 Jahren gesammelten Daten die Geschwindigkeit der interstellaren Brise relativ zur Sonne und deren Ursprungsrichtung feststellen. Man weiß jetzt, daß diese aus dem Sternbild des Schlangenträgers (nahe dem Skorpion) bläst.

Wasserstoff ist jedoch nicht das einzige Element im interstellaren Wind. Im Dezember 1997 liefen die Detektoren in einen fokussierten Strahl aus Helium-Gas direkt von den Sternen. Zu diesem Zeitpunkt kam die Brise von genau hinter der Sonne. Deren Gravitation lenkte die Heliumatome nun in Richtung Erde und SOHO. UVCS maß dabei auch eine erstaunliche Zunahme an Helium im Halo rund um die Sonne.

Auch die Erde erscheint auf den Bildern von SWAN, weil sie von einer Wolke aus Wasserstoffgas (Geokorona) umhüllt wird und daher auch im UV strahlt. Diese Geokorona ist es auch, die eine Beobachtung des interstellaren Glühens durch erdnahe Sattelleiten verhindert. Des weiteren können auch Kometen beobachtet werden, weil auch diese von einer riesigen Wasserstoffkorona umgeben sind (beim Kometen Benett betrug deren Größe sogar 10 Sonnendurchmesser).

6.27. Das heliosphärische Tennisspiel

Bei der Untersuchung des Solarwindes entdeckte CELIAS interstellare Atome die beim Aufeinandertreffen mit dem Sonnenwind geladen und beschleunigt wurden. Diese Pickup-Ionen werden nun an die Grenzen der Heliosphäre zurückgestoßen. Dort werden diese durch permanente Schockwellen energetisch ausgeglichen und wieder ins Sonnensystem zurückgeschleudert. Dieses „heliosphärische Tennisspiel“ prodiziert nun die vorgetäuschte anomale kosmische Strahlung, die von den COSTEP und ERNE Partikeldetektoren gemessen werden kann. Auch konnte der vorausgesagte 22-Jahr Modulationszyklus und die

18. Fortsetzung Referat: Beobachtung der Sonne mit SOHO

vermutete Existenz von mehrfach geladenen Sauerstoff in der anomalen kosmischen Strahlung bestätigt werden. Diese Strahlung ist mit der wirklichen kosmischen Strahlung vermischt, die ja von explodierten Sternen in der Milchstraße stammt. Die Wissenschaftler glauben auch, daß dieser Vorgang zu Störungen an den Grenzen der Heliosphäre führt.

6.28. Sonnenbeobachtung und die Einflüsse auf die Erde

Wie bereits eingangs erwähnt verursachten Sonnenstürme zwischen 1989 und 1991 Elektrizitätsausfälle in Kanada und Schweden, beschädigten Satelliten und ließen Rechner durch Einschlag von solaren Partikeln ausfallen.

Seit damals ist die Menschheit noch mehr von Satelliten und Computern abhängig geworden und moderne Halbleiterchips sind inzwischen vermehrt auf die elektromagnetischen Effekte der Sonne und deren Partikel empfindlich geworden. Wie aus den gewonnenen Ergebnissen ersichtlich ist, hat sich SOHO in relativ kurzer Zeit als der weltweit führende „Wachhund“ für die Beobachtung der Sonnenaktivität profiliert.

EIT zum Beispiel arbeitet ähnlich einem Wettersatelliten auf der Erde. Seine Bilder dokumentieren die verschiedenen Szenerien der intensiven Sonnenaktivität, die Sonnenflares und Massenauswürfe auslösen kann.

Der Koronograph LASCO hat das besonders schön im April 1997 demonstriert, als er einen erdgerichteten Massenauswurf zeigte, wo dieser auch prompt einen leichten Sturm auslöste. CELIAS konnte die Ankunft der Partikel 30-60 Minuten vor dem Erreichen der Erde bestätigen. Durch Messung von Geschwindigkeit und Dichte des ausgeworfenen Materials konnte CELIAS eine deutliche Aussage über die anzunehmende Stärke des Sturms treffen.

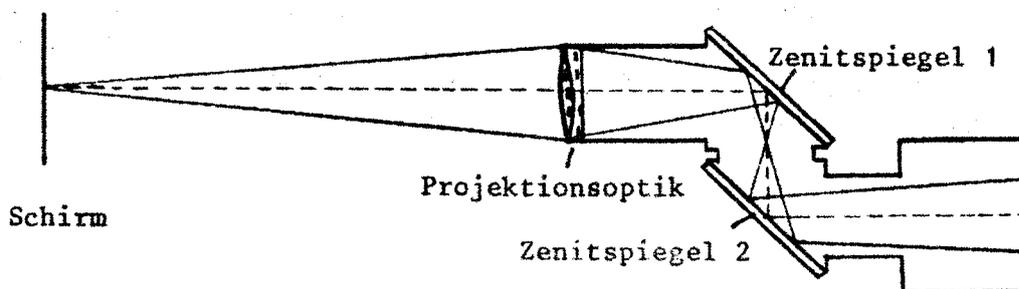
7. Sonnenbeobachtung für jedermann auf der Urania-Sternwarte

Im Gegensatz zu den eben beschriebenen Beobachtungen und Ergebnissen die mit hochtechnischen und kostspieligen Geräten gewonnen wurden, kann jedermann wichtige Tatbestände zum Thema Sonne auf der Urania-Sternwarte (jeweils Sonntag 11Uhr bei schönen Wetter) persönlich miterleben. Für diesen Zweck steht eine Reihe von Instrumenten und Verfahren zur Verfügung, die im folgenden nun kurz beschrieben werden.

7.1. Sonnenprojektion

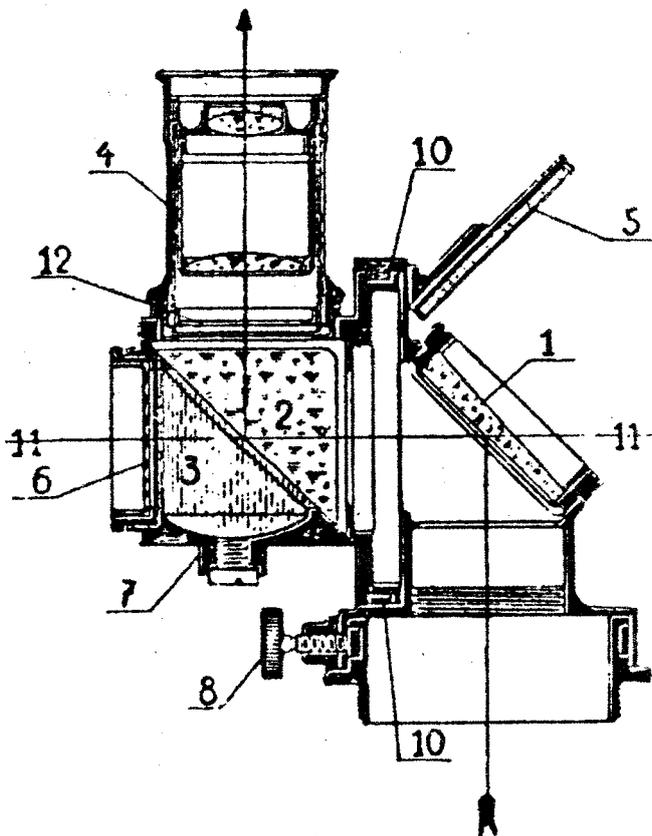
Über ein optisches Gelenk aus zwei Zenitspiegeln bildet ein Projektionsobjektiv das Fernrohr-Fokalbild des Linsenfernrohrs auf eine in der Kuppel montierte Projektionsfläche ab. Dieses bringt den Vorteil, daß alle Besucher gleichzeitig die Sonnenscheibe in einer Größe von 40 - 80 cm Durchmesser beobachten können, vorallem bei einer Sonnenfinsternis.

Zu sehen sind die Randverdunkelung, Flecken, Fackeln und bei ruhiger Luft die Granulation. Das projizierte Bild zeichnet sich durch Helligkeit, Schärfe und Detailreichtum aus.



7.2. Zeiss Polarisations-Helioskop nach Colzi

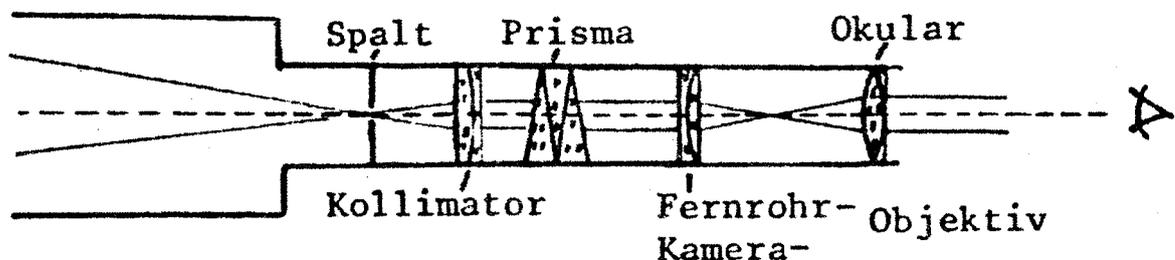
Auch dieses Zusatzgerät zeigt die Sonne in natürlichen Farben. Ohne die Eintrittsöffnung



abblenden zu müssen, liefert es stufenlos regelbare Bildhelligkeiten (wichtig bei Vergrößerungswechsel bzw. versch. Sichtverhältnissen) und bequemen Einblick. Das Sonnenlicht fällt auf einen unverspiegelten Glaskeil (1), der nur 5% in das 90°-Glasprisma (2) reflektiert, an dessen Grundfläche eine Flüssigkeitskammer grenzt (3). Dort findet die zweite Spiegelung und Wiederaufrichtung des Bildes statt, deren Intensität durch den Brechungsindex der Flüssigkeit bestimmt wird. Eine weitere Abschwächung mittels Polarisation wird durch Drehung (10) des ganzen Prismenkörpers einschließlich Okular erreicht. Dieses Sonnenprisma ermöglicht präzise visuelle Beobachtungen und zeigt die Flecken mit Einzelheiten der Penumbren, sowie feinste Lichtabtönungen in außerordentlicher Schärfe und Reinheit.

7.3. Spaltspektroskop

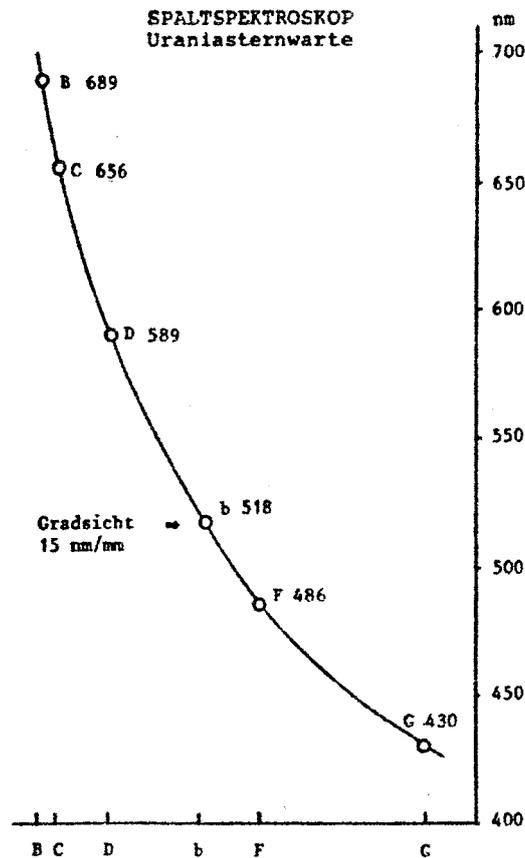
Zur Demonstration des Sonnenspektrums im Bereich von 430 nm (Fraunhofer G) bis 689 nm (Fraunhofer B) dient dieses Instrument. Es kann sowohl am Fernrohr als auch aus freier Hand verwendet werden.



Auf die Sonne gerichtet zeigt das Instrument das bekannte Absorptionsspektrum, wobei die Geradsicht bei 518nm (Fraunhoferlinie b) liegt und die Dispersion mit 15nm/mm gegeben ist. Durch Beobachtung von anderen Lichtquellen (normale Lampe bzw. Höhensonne) kann außerdem ein Kontinuum bzw. ein Emissionsspektrum gezeigt werden.

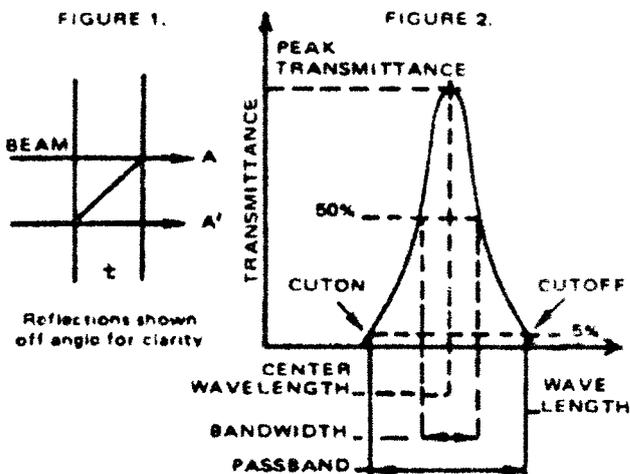
20. Fortsetzung Referat: Beobachtung der Sonne mit SOHO

Folgende Dispersionskurve stellt den Zusammenhang zwischen Ablenkung und Wellenlänge dar. Auf der Abszissenachse sind die wichtigsten Linien des Sonnenspektrums so markiert, wie man sie beim Einblick sieht.



7.4. H α -Filter

Dieser Vielschicht Interferenzfilter erlaubt die Beobachtung der Sonne im Restlicht der roten H α -Absorptionslinie (Fraunhofer C - 656,3 nm). Damit erhält man ein Wasserstoffbild der Sonne, wobei bei Ansatz am



Linsengeröhre bei schwächster Vergrößerung die volle Sonnenscheibe gerade erfaßt wird. Zwei teilreflektierende, durch Luftspalt t getrennte Schichten bewirken an durchgehendem Licht Interferenz. Die Wellenzüge A und A' verstärken sich für $2 \cdot t = n \cdot \text{Wellenlänge}$ (n ganze Zahl), sonst tendieren sie zur Auslöschung. Durch viele solche Schichten und flankierende Breitbandfilter wird schließlich ein sehr schmaler Wellenlängenbereich ausgeblendet.

Klar treten das chromosphärische Netzwerk, die Chromosphäre und Protuberanzen am Sonnenrand bzw. Filamente auf der Scheibe hervor, wobei Protuberanzen fast immer zu sehen sind. Manchmal kann man auch zu einer Flare zurecht kommen.

8. Ausblick

Wie eingangs erwähnt ist SOHO trotz ihres 6-monatigen Ausfalls eine außerordentlich erfolgreiche Mission. Vieles wurde entdeckt, vieles konnte zumindest ansatzweise geklärt werden. Dennoch bleiben genügend Prozesse unverstanden und weitere intensive Forschung ist notwendig. Die zwölf Instrumente produzieren täglich eine Unzahl an Daten, die teilweise erst durch komplexe Aufbereitungen oder längere Beobachtungszeit Aussagekraft erlangen können. Es gibt enorm viele Detailergebnisse, wissenschaftliche Publikationen (manchmal pro Instrument weit über 100) und jährlich mehrere Kongresse. Bis alle Daten gesichtet und ausgewertet sind, werden wohl noch einige Jahre vergehen und wir dürfen uns daher noch auf eine Vielzahl weiterer Erkenntnisse über unseren nächsten Stern - die Sonne - gefaßt machen.

9. Literatur

- 1) NASA: <http://sohowww.nascom.nasa.gov>
- 2) ESA: <http://www.esrin.esa.it>
- 3) Der Sternbote 8/1996, 6/1997
- 4) ESA Bulletin 84, 86
- 5) Sterne und Weltraum 2/99
- 6) Sternfreunde-Seminar 1984/ Grundtatsachen zur Sonne, Instrumente zur Sonnenforschung und Sonnenbeobachtungsgeräte auf der Urania-Sternwarte Wien
- 7) Sternfreunde-Seminar 1998/ Sonnenforschung mit SOHO (hier findet sich auch eine nähere Beschreibung der Instrumente auf SOHO)

Karl Glaser, Denisgasse 30-34/3/2, 1200 Wien

Referat: **Die Berechnung von Mondfinsternissen und der „Canon of Lunar Eclipses, -2002 to +2526“**

Im Referat „Die Geometrie astronomischer Finsternisse“ wurden die Bessel'schen Elemente von Mondfinsternissen und ihre Berechnung beschrieben. Hier soll zunächst die scharfe Berechnung von Mondfinsternissen erläutert werden; zur Ermittlung ihres Sichtbarkeitsgebietes sind die Erdkärtchen aus dem „Canon of Lunar Eclipses, -2002 to +2526“ beigegeben.

Dieser „Canon von J.Meeus und H.Mucke, Astronomisches Büro, 3.Auflage, Wien 1992, bietet Daten zu 10936 Mondfinsternissen, wobei auch die von Oppolzer [1] nicht gegebenen Halbschattenfinsternisse behandelt sind. Er beruht auf ähnlichen Grundlagen wie der „Canon of Solar Eclipses, -2003 to +2526“; die Erdschattenvergrößerung wurde nach Danjon [6] angesetzt. Statt ET lies im Canon DT.

1 Die Berechnung von Mondfinsternissen

1.1 Genäherter Termin

Die der geozentrischen Opposition von Sonne und Mond in Rektaszension nächstgelegene volle Stunde dynamische Zeit DT (früher Ephemeridenzeit ET genannt) sei T; sie wird mit Sonnen- und Mondörtern aus einem Jahrbuch oder aus der Sonnen- und Mondtheorie ermittelt. Zur ersten Orientierung kann der zugehörige Vollmondtermin in DT dienen, die nicht sehr unterschiedliche Opposition von Sonne und Mond in ekliptikaler Länge.

1.2 Äquatoriale Örter und Horizontalparallaxen

Für die Uhrzeiten $T \pm 3h$, $T \pm 2h$, $T \pm 1h$ und T werden die geozentrischen Rektaszensionen, Deklinationen und Horizontalparallaxen α_G , δ_G und π_G für den Mond sowie α_\odot , δ_\odot und π_\odot für die Sonne einem Jahrbuch entnommen oder direkt aus der Mond- und Sonnentheorie berechnet. Für die hier angestrebte schärfere Rechnung sollte eine Genauigkeit von $\pm 0,01s$ bzw. $\pm 0,1''$ eingehalten werden. Deshalb wäre auch die Korrektur der Massenmitte auf die Figurenmitte des Mondes, $\Delta\beta_G = -0,6''$, siehe Referat „Die Geometrie astronomischer Finsternisse“, anzubringen. Zur Genauigkeitsbeurteilung muß beachtet werden, daß der Mond $1''$ in rund 2s durchläuft.

1.3 Bessel'sche Elemente

Für obige sieben Uhrzeiten werden die Bessel'schen Elemente x, y, f1 und f2, siehe, Referat „Die Geometrie astronomischer Finsternisse“, sowie der für Finsternisse (außer Totalitätsdauer auf Sonnenfinsternis-Zentrallinie) gültige geozentrische Halbmesser SD des Mondes

$$SD_G = \arcsin(0,272488 \sin \pi_G) \quad \text{auf } \pm 0,1'' \text{ berechnet.}$$

1.4 Stündliche Änderungen

Aus dem Intervall zwischen T-1h und T+1h werden die stündlichen Änderungen der Bes-

1. Fortsetzung Referat: Die Berechnung der Mondfinsternisse und der Canon ...

sel'schen Elemente x und y , nämlich

$$x' = (x_{T+1} - x_{T-1}) / 2 \quad \text{und} \quad y' = (y_{T+1} - y_{T-1}) / 2 \quad \text{sowie}$$

$$n = \sqrt{x'^2 + y'^2}, \quad n > 0 \quad \text{berechnet.}$$

1.5 Genäherte Uhrzeiten der Finsternisphasen

1.5.1 Für die Uhrzeit T wird berechnet:

- a) Für Ein- / Austritt in den Halbschatten $\eta_a = f_1 + SD_a$
- b) Für Anfang / Ende Totalität im Halbschatten $\eta_b = f_1 - SD_a$
- c) Für Ein- / Austritt aus dem Kernschatten $\eta_c = f_2 + SD_a$
- d) Für Anfang / Ende Totalität im Kernschatten $\eta_d = f_2 - SD_a$

Für Anfang / Ende der Totalität im Halbschatten berührt der Mond den Halbschattenrand von innen. Je nach der Breite der Halbschatten-Korona kann er dann schon oder noch ein wenig im Kernschatten stehen. Tritt er völlig in den Halbschatten, ohne jedoch den Kernschatten zu berühren, liegt eine der seltenen totalen Halbschatten-Mondfinsternisse vor.

1.5.2 Für die Uhrzeit T und jedes η aus 1.5.1 wird berechnet:

$$\psi = \arcsin [(x y' - y x') / n \eta]$$

$$A = (\eta \cos \psi) / n \quad A \text{ in Dezimalen der Stunde}$$

$$B = -(x x' + y y') / n^2 \quad B \text{ in Dezimalen der Stunde}$$

1.5.3 Mit dem jeweils zugehörigen A und mit dem konstanten B ergibt sich zunächst, bereits auf wenige Zehntelminuten genau, in dynamischer Zeit DT :

Eintritt in den Halbschatten	$t = T - A_a + B$
Anfang der Totalität im Halbschatten	$t = T - A_b + B$
Eintritt in den Kernschatten	$t = T - A_c + B$
Anfang der Totalität im Kernschatten	$t = T - A_d + B$
Maximum der Finsternis	$t = \quad + \quad B$
Ende der Totalität im Kernschatten	$t = T + A_d + B$
Austritt aus dem Kernschatten	$t = T + A_c + B$
Ende der Totalität im Halbschatten	$t = T + A_b + B$
Austritt aus dem Halbschatten	$t = T + A_a + B$

1.6 Genauere Uhrzeiten der Finsternisphasen

Die Rechnung wird ab 1.5 wiederholt, wobei statt T das jeweilige t verwendet wird; für diese Uhrzeiten werden die Bessel'schen Elemente und der Mondhalbmesser aus den Werten 1.3 interpoliert; x' und y' werden aus dem Intervall genommen, in dem das jeweilige t liegt. B ist nun naturgemäß nicht mehr konstant. – Zu genau zu rechnen ist allerdings nicht nötig, denn

2. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Mondfinsternissen und der Canon ...

wir sollten daran denken, daß sich die Uhrzeiten der Antritte der Krater an den Schattenrand nur kaum besser als auf $\pm 0,1$ Zeitminute genau beobachten lassen!

1.7 Positionswinkel der Schattenberührungspunkte

Der Positionswinkel P wird vom Nordpunkt der Mondscheibe – nicht vom Nordpol des Mondes – zum Schattenberührungspunkt am Mondrand im Sinn NOSW gezählt. Wir berechnen für die Uhrzeit t der Berührung:

$$M = \arctan(x/y); \quad \sin M \text{ hat das Vorzeichen von } x. \text{ Damit folgt}$$

$$P = M + 180^\circ, \quad \text{falls der Mond den Schatten von außen berührt und}$$

$$P = M, \quad \text{falls der Mond den Schatten von innen berührt.}$$

1.8 Größe der Finsternis

Für die Uhrzeit t des Maximums rechnen wir:

$$m_0 = \pm(xy' - yx') / n \quad m_0 > 0$$

$$M_H = (f_1 + SD_d - m_0) / 2 SD_d \quad \text{Größe im Halbschatten}$$

$$M_K = (f_2 + SD_d - m_0) / 2 SD_d \quad \text{Größe im Kernschatten}$$

M_H und M_K ergeben sich in Einheiten des Monddurchmessers.

1.9 Mond im Zenit, Sichtbarkeit

1.9.1 Für die Phase zur Uhrzeit t steht der Mond im Zenit des Beobachtungsortes mit der geographischen Länge λ (hier von Greenwich nach Westen positiv von 0° bis 360° gezählt) und der geographischen Breite φ , die sich folgendermaßen ergeben: θ ist die Ephemeridensternzeit für den Greenwicher Ephemeridenmeridian, die zu t (DT) gehört. Sie ist numerisch gleich der Sternzeit für den Greenwicher Meridian, die zu t (UT) gehört.

$$\varphi = \delta_d \quad \text{und} \quad \lambda = \theta - \alpha_d - 1,002\,738 \Delta T, \quad \text{worin} \quad \Delta T = DT - UT.$$

1.9.2 Befindet sich ein Beobachter am Ort (λ_0, φ_0) , so ist die Mondfinsternis dort in größter Phase sichtbar, wenn (für Mondmitte, vorerst ohne Refraktion und Parallaxe) $D > 0$:

$$D = \sin \varphi \sin \varphi_0 + \cos \varphi \cos \varphi_0 \cos(\lambda - \lambda_0).$$

Diese Regel kann auch für andere Phasen der Finsternis benützt werden, beispielsweise für den Anfang oder das Ende der Partialität oder Totalität im Halb- oder Kernschatten. In diesem Fall lassen wir φ ungeändert und addieren zu λ das in Minuten ausgedrückte und durch 4 dividierte Zeitintervall bis zum oder ab dem Maximum.

3. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Mondfinsternissen und der Canon ...

Diese Korrektur für λ muß negativ oder positiv angebracht werden, je nachdem, ob die Phase vor oder nach dem Maximum liegt.

Sind λ und φ für die betreffende Phase gefunden, so kann das zugehörige Sichtbarkeitsgebiet leicht mit einem Globus ermittelt werden. Es erstreckt sich bis zu einem Großkreis (Mond im Horizont), der um einen rechten Winkel vom Ort (λ, φ , Mond im Zenit) absteht.

1.10 Beispiel: Totale Mondfinsternis, 1978 09 16.

T = 19h DT. Die Mondörter aus den Astronomical Ephemeris wurden um $\Delta\alpha_G = +0,016s$, $\Delta\delta_G = -0,55''$ korrigiert.

DT	α_G			δ_G		π_G			α_\odot			δ_\odot			
	h	m	s	°	'	''	°	'	''	h	m	s	°	'	''
16	23	28	54,29	-2	51	10,7	0	59	42,5	11	35	52,18	+2	36	31,8
17	23	31	12,02	-2	40	01,8	0	59	41,2	11	36	01,14	+2	35	33,9
18	23	33	29,62	-2	28	52,4	0	59	39,9	11	36	10,11	+2	34	36,1
19)	23	35	47,07	-2	17	42,7	0	59	38,5	11	36	19,07	+2	33	38,2
20	23	38	04,39	-2	06	32,6	0	59	37,2	11	36	28,03	+2	32	40,3
21	23	40	21,56	-1	55	22,3	0	59	35,8	11	36	36,99	+2	31	42,5
22	23	42	38,61	-1	44	11,8	0	59	34,4	11	36	45,95	+2	30	44,6

$SD_\odot = 954,7''$ und $\pi_\odot = 8,8''$ können über den ganzen Finsternisverlauf als konstant betrachtet werden.

Die Schattenradien f_1 und f_2 werden nach der Theorie von Danjon, siehe Referat „Die Geometrie der astronomischen Finsternisse“, berechnet. Die Endergebnisse werden mit jenen verglichen, die sich bei Verwendung der traditionellen Vergrößerung beider geometrischer Schattenradien um 1/50 (Astronomical Ephemeris und damals auch noch im Österreichischen Himmelskalender sowie ab 1981 im Astronomical Almanac) ergeben.

DT	x	y	f1	f2	SD_G	x'	y'
h	''	''	''	''	''	''	''
16	-6259,6	-883,2	4581,8	2672,4	976,2	+1927,8	+613,2
17	-4331,8	-270,0	4580,5	2671,1	975,8	+1926,8	+613,1
18	-2405,0	+343,1	4579,2	2669,8	975,5	+1925,4	+612,4
19)	-479,6	+955,5	4577,8	2668,4	975,1	+1924,0	+612,0
20	+1444,4	+1567,5	4576,5	2667,1	974,7	+1922,1	+611,4
21	+3366,5	+2178,9	4575,1	2665,7	974,4	+1920,4	+610,8
22	+5286,9	+2789,7	4573,6	2664,2	974,0		

Für die Uhrzeit T = 19h DT erhalten wir mit interpolierten x' , y'

$$n = 2019,7''/h \quad \text{und} \quad \eta_a = 5552,9'', \quad \eta_b = 3602,7'', \quad \eta_c = 3643,5'', \quad \eta_d = 1693,3''$$

sowie weiter damit A, B und die erste Näherung der Uhrzeiten der Finsternisphasen (DT):

4. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Mondfinsternissen und der Canon ...

Finsternisphase (DT)	T	A	B	t Danjon	t traditionell
	h	h	h	h m	h m
Eintritt in den Halbschatten	19 - 2,6992	+ 0,0829	=	16 23,0	16 21,6
Anfang Totalität im Halbschatten	19 - 1,7054	+ 0,0829	=	17 22,7*)	17 21,0
Eintritt in den Kernschatten	19 - 1,7266	+ 0,0829	=	17 21,4	17 21,0
Anfang Totalität im Kernschatten	19 - 0,6554	+ 0,0829	=	18 25,6	18 25,2
Maximum der Finsternis	19 +	0,0829	=	19 05,0	19 05,0
Ende Totalität im Kernschatten	19 + 0,6554	+ 0,0829	=	19 44,3	19 44,7
Austritt aus dem Kernschatten	19 + 1,7266	+ 0,0829	=	20 48,6	20 48,9
Ende der Totalität im Halbschatten	19 + 1,7054	+ 0,0829	=	20 47,3*)	20 48,9
Austritt aus dem Halbschatten	19 + 2,6992	+ 0,0829	=	21 46,9	21 48,5

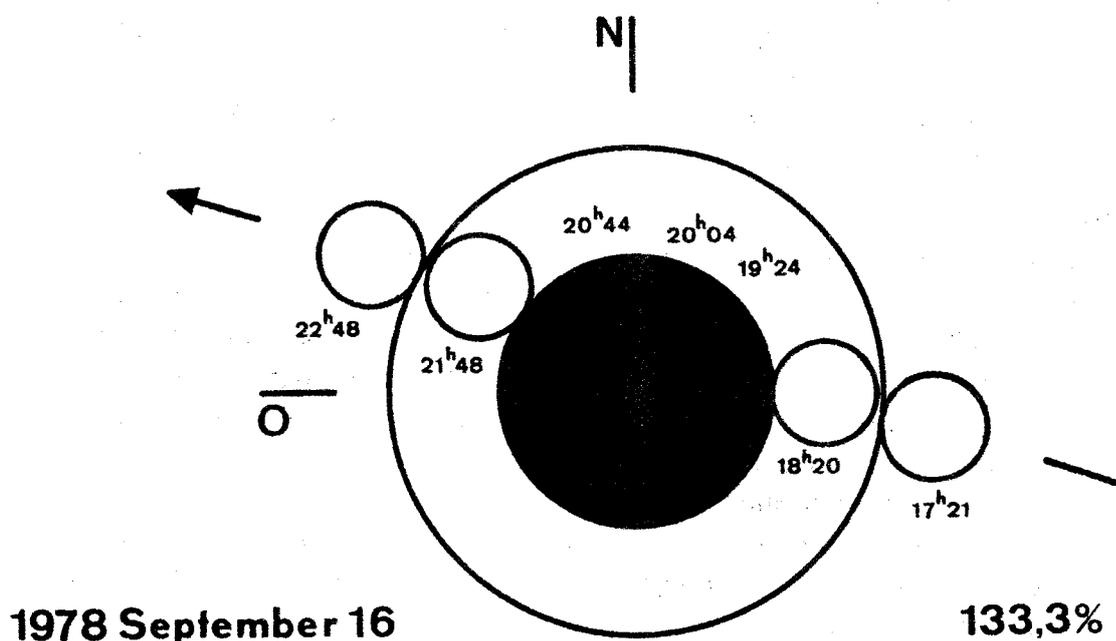
Eine weitere Näherungsrechnung mit t statt T ergibt bereits für den Eintritt in den Halbschatten Übereinstimmung innerhalb der Zehntelminute, weshalb sie unterbleiben kann.

Positionswinkel bezüglich Kernschatten nach Danjon: Eintritt $P = 89,2^\circ$, Anfang Totalität $P = 291,0^\circ$, Ende Totalität $P = 33,8^\circ$, Austritt $P = 235,5^\circ$.

Größe der Finsternis in Einheiten des Monddurchmessers im Halb- bzw. Kernschatten nach Danjon $M_H = 2,306$ und $M_K = 1,327$, traditionell $M_K = 1,333$.

Mond im Zenit beim Kernschatten-Eintritt $97^\circ 33' E / 2^\circ 36' S$, beim -Austritt $47^\circ 36' E / 1^\circ 57' S$.

*) Weil bei dieser Finsternis die Halbschattenkorona für die Schattenvergrößerung nach Danjon nicht breit genug ist, findet der vollständige Eintritt in den Halbschatten nach dem Eintritt in den Kernschatten bzw. der vollständige Austritt aus dem Halbschatten vor dem Austritt aus dem Kernschatten statt. Traditionell, für die Vergrößerung beider geometrischer Schattenradien um $1/50$, geht sich eine totale Verfinsterung durch den Halbschatten praktisch gerade noch aus, siehe Darstellung aus dem Österreichischen Himmelskalender 1978 (Uhrzeiten mit $\Delta T = 49s$ in MEZ):



5. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Mondfinsternissen und der Canon ...

Anlässlich dieser Mondfinsternis soll festgehalten sein, daß der Österreichische Rundfunk / Fernsehen durch seine Abteilung „Jugend und Familie“ die Vorausdarstellung des Ablaufs dieser Mondfinsternis eine halbe Stunde vor deren Beginn ausstrahlte. Dank des Einsatzes der beiden Redakteure Johannes Hoflehner und Karl Klingelmayer begann damit die seither nahezu lückenlos erfolgte Wiedergabe von Fernsehaufzeichnungen der Simulation von in Österreich sichtbaren Finsternissen mit dem Zeiss-Finsternisprojektor des Planetariums der Stadt Wien. Ich glaube, daß erstmals der ORF zu dieser Thematik einen wertvollen Beitrag zur himmelskundlichen Bildung geleistet hat, wofür aufrichtig gedankt sei!

2 Der „Canon of Lunar Eclipses, –2002 to +2526“

Dieser 1979 in erster und 1992 in dritter Auflage erschienene Katalog von J.Meeus und H.Mucke bietet Daten zu allen Mondfinsternissen einschließlich der Halbschattenfinsternisse, die im Zeitraum zwischen –2002 Juli 29 und +2526 Oktober 21 stattfinden. Insgesamt sind das 10936 Mondfinsternisse, von denen in diesen 4529 Jahren 3159 total und 3810 partiell im Kernschatten und 3967 im Halbschatten eintreten. Das bedeutet ein Mittel von 241,5 Mondfinsternissen / Jahrhundert, also nur geringfügig mehr als es bei den Sonnenfinsternissen mit 237,8 der Fall ist. Der Canon verwendet die den natürlichen Verhältnissen nachgewiesenermaßen [2] bestens entsprechende Schattenvergrößerung nach Danjon.

Die einzelnen Spalten enthalten folgende Angaben:

LUNATION

Lunation Nr.0 ist jene mit dem Vollmond von +1900 01 15. Die Lunationsnummer nach E.W.Brown [3] ergibt sich durch Subtraktion von 284.

MAXIMUM

Das Maximum der Finsternis ist durch Datum sowie Uhrzeit der größten Phase wie im „Canon of Solar Eclipses“ in astronomischer Jahreszählung vor +1582 Oktober im julianischen und danach im gregorianischen Kalender sowie in dynamischer Zeit DT (früher Ephemeridenzeit ET) angegeben. Darauf bezieht sich auch die Spalte JD, die Tagnummer in der julianischen Periode (Tagesbeginn mittags 12h). Die Weltzeit UT erhalten wir mit ΔT aus Tabelle I bzw. II, siehe Referat „Berechnung von Sonnenfinsternissen und der Canon of Solar Eclipses, –2003 to +2526“ zu $UT = DT - \Delta T$.

Diese Maximazeiten stimmen vorzüglich mit jenen aus dem Werk von Liu Bao Lin [5] überein, denn die dort verwendete traditionelle Schattenvergrößerung wirkt sich hier nicht aus.

SEMIDURATION

PAR, die Halbdauer der Partialität im vom Eintritt in den Kernschatten bis zum Maximum bzw. TOT, jene vom Anfang der Totalität im Kernschatten bis zum Maximum, sind in Zeitminuten auf der Grundlage der Theorie von Danjon [6] gegeben. Um den Anfang der Finsternis im Kernschatten zu erhalten, vermindern wir die Uhrzeit des Maximums um PAR bzw. für den Anfang der Totalität um TOT; für die betreffenden Enden wird die Uhrzeit des Maximums um die entsprechenden Halbdauern vermehrt.

Wenn die betreffende Finsternis eine Halbschattenfinsternis ist, finden sich in diesen Spalten Sternchen, weil Anfang und Ende der Halbschattenphase unbeobachtbar sind. Sollten Eintritt in und Austritt aus dem Halbschatten gewünscht werden, lassen sie sich aber mit leicht errechenbaren Vordaten aus einem Diagramm ermitteln.

6. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Mondfinsternissen und der Canon ...

MAGNITUDE

Die Größe, das größte Ausmaß der Finsternis, ist in Einheiten des Monddurchmessers in Spalte PEN bezüglich des Halbschattens (M_H) und in Spalte UMB bezüglich des Kernschattens (M_K) auf Grundlage der Theorie von Danjon [6] gegeben. Erscheinen in der Spalte UMB Sternchen, handelt es sich um eine Halbschattenfinsternis.

MAXIMUM IM ZENIT

Die geographische Länge LONG (von Greenwich positiv nach Westen) und geographische Breite LAT jenes Erdortes, für den zum Zeitpunkt des Finsternismaximums der Mond im Zenit steht, wurden auf Vollgrad mit UT (und nicht mit DT) berechnet.

Zur Ermittlung des Sichtbarkeitsgebietes ist ein Satz von 792 Erdkärtchen enthalten, welche die Erde aus Sicht des Mondes zeigen und die Mitten von 5° zu 5° geographischer Länge und von 5° zu 5° geographischer Breite zwischen 25°S und 25°N haben. Damit kann für jeden Ort „Mond im Zenit“ das passende Kärtchen und damit das zugehörige Sichtbarkeitsgebiet der betreffenden Mondfinsternisphase recht leicht und genau gefunden werden. Am linken Bildchenrand geht der Mond auf, am rechten unter.

SAROS

Die letzte Spalte gibt die Nummer jenes Saroszyklus an, zu dem die betreffende Finsternis gehört. Es ist jene Nummerierung, die Van den Bergh [4] eingeführt hat. Bei ihrer Fortsetzung in die Vergangenheit ergaben sich schließlich negative Nummern und sie wurden auch in die Zukunft fortgeführt. Eine Finsternis mit gerade Sarosnummer findet beim aufsteigenden, eine solche mit ungerader beim absteigenden Knoten der Mondbahn statt.

FINSTERNISABLAUF

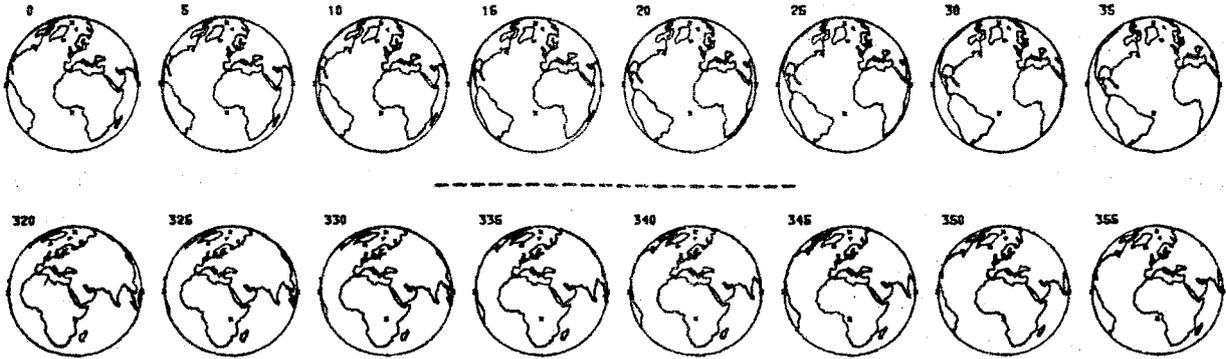
Der Verlauf der gesamten Finsternis einschließlich Halbschattenphasen kann nach kleiner Rechnung aus dem erwähnten Diagramm ermittelt werden.

PROBE-AUSSCHNITT

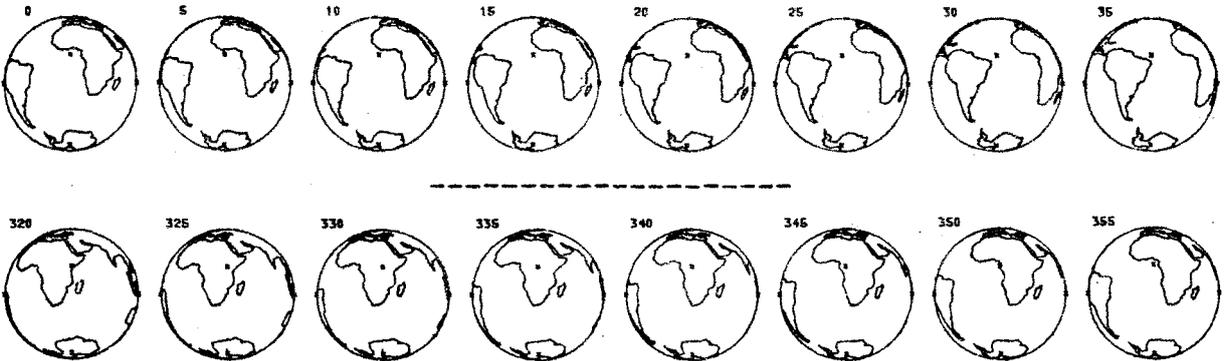
LUNATION	CALENDAR		MAXIMUM		SEMIDURATION		MAGNITUDE		MAX. IN ZENIT		SAROS
	GREGORIAN		JD	ET	PAR	TOT	PEN	UMB	LONG	LAT	
1225	1999	JAN 31	2451210.18	16 20	***	***	1.005	*****	241	16	114
1231	1999	JUL 28	2451387.98	11 34	71	***	1.434	0.396	172	-18	119
1237	2000	JAN 21	2451564.70	4 45	101	38	2.307	1.325	68	20	124
1243	2030	JUL 16	2451742.08	13 57	118	53	2.838	1.769	207	-21	129
1249	2001	JAN 9	2451919.35	20 22	98	30	2.161	1.188	303	22	134
1255	2001	JUL 5	2452096.12	14 57	79	***	1.547	0.494	222	-23	139
1261	2001	DEC 30	2452273.94	10 30	***	***	0.893	*****	156	24	144
1266	2002	MAY 26	2452421.00	12 5	***	***	0.691	*****	181	-20	111
1267	2002	JUN 24	2452450.39	21 29	***	***	0.209	*****	321	-25	149
1272	2002	NOV 20	2452598.57	1 47	***	***	0.860	*****	30	19	116
1278	2003	MAY 16	2452775.65	3 41	97	26	2.075	1.128	56	-19	121
1284	2003	NOV 9	2452952.56	1 20	105	11	2.114	1.017	23	16	126
1290	2004	MAY 4	2453130.36	20 32	101	38	2.262	1.303	308	-17	131
1296	2004	OCT 28	2453306.63	3 5	109	40	2.364	1.307	50	13	136
1302	2005	APR 24	2453484.91	9 57	***	***	0.865	*****	150	-14	141
1308	2005	OCT 17	2453661.00	12 4	28	***	1.058	0.062	185	10	146
1313	2006	MAR 14	2453809.49	23 49	***	***	1.031	*****	354	3	113
1319	2006	SEP 7	2453986.29	18 52	45	***	1.134	0.184	282	-7	118
1325	2007	MAR 3	2454163.47	23 22	110	37	2.320	1.233	347	7	123
1331	2007	AUG 28	2454340.94	10 38	106	45	2.454	1.477	159	-10	128
1337	2008	FEB 21	2454517.64	3 27	102	25	2.145	1.106	48	10	133
1343	2008	AUG 16	2454695.38	21 11	94	***	1.836	0.806	316	-13	138
1349	2009	FEB 9	2454872.11	14 39	***	***	0.899	*****	216	14	143
1354	2009	JUL 7	2455019.90	9 40	***	***	0.157	*****	143	-24	110
1355	2009	AUG 6	2455049.53	0 40	***	***	0.402	*****	8	-16	148
1360	2009	DEC 31	2455197.31	19 24	30	***	1.057	0.078	289	24	115
1366	2010	JUN 26	2455373.99	11 40	81	***	1.578	0.537	174	-24	120
1372	2010	DEC 21	2455551.85	8 18	104	36	2.282	1.257	124	24	125
1378	2011	JUN 15	2455728.34	20 13	109	50	2.687	1.700	303	-23	130
1384	2011	DEC 10	2455906.11	14 33	106	25	2.185	1.104	219	23	135

7. Fortsetzung Referat: Die Berechnung von Mondfinsternissen und der Canon ...

$$\varphi = 25^\circ$$



$$\varphi = -25^\circ$$



Literatur

Abschnitt 1 dieses Referates ist eine überarbeitete Fassung aus den Seminarpapieren 1979.

- [1] Oppolzer, T. von, Canon der Finsternisse. Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Band 52, Wien 1887.
- [2] Mucke, H., Kleinste freisichtige Finsternisgrößen. Seminarpapiere 1997, Angewandte Astronomische Phänomenologie. Für den Österreichischen Astronomischen Verein, Astronomisches Büro, Wien 1997.
- [3] Monthly Notices, Royal Astronomical Society, Vol.93, 603, 1933.
- [4] Van den Bergh, G., Periodicity and Variation of Solar (and Lunar) Eclipses. 2.vols, T.Willink, Haarlem, Niederlande, 1955.
- [5] Liu Bao Lin, Canon of Lunar Eclipses from 1000 B.C. to A.D.3000. Publ. Purple Mountain Observatory, Academia Sinica, Vol.2., No.1, Najing, China 1983.
- [6] Danjon, A., Les éclipses de Lune par le pénombre en 1951. L'Astronomie, Vol.65, 51.

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

1. Fortsetzung Beilage: Mondkarten für Finsternis- und Bedeckungsbeobachter

Das Kennenlernen der Meßkrater schon vor der Finsternis ist zu empfehlen; zur Beobachtung genügt ein kleines Fernrohr, das den Mond ganz im Sehfeld zeigt. Schon eine überwachte Armbanduhr reicht aus, die Uhrzeit sollte – recht zweckmäßig von einem Helfer auf Zuruf – auf die Zehntelminute notiert werden. Auch ein Tonbandgerät ist dazu nützlich.

2 Messkrater-Koordinaten

ξ , η , ζ sind die klassischen, rechtwinkligen selenographischen Koordinaten in Einheiten des mittleren Mondhalbmessers und λ , β die sphärischen selenographischen Koordinaten. ξ , λ sind positiv auf der Hälfte mit dem Mare Crisium (astronautisch Ost), negativ auf jener mit dem Oceanus Procellarum (astronautisch West); η , β sind positiv auf der Hälfte mit dem Mare Frigoris (Nord), negativ auf jener mit dem Mare Nubium (Süd); ζ ist positiv zur Erde.

Punkt Nr.	Name	ξ	η	ζ	λ	β
1	Lohrmann A	-0,888	-0,013	+0,460	-62,6°	- 0,7°
2	Damoiseau E	-0,847	-0,091	+0,524	-58,3	- 5,2
3	Byrgius A	-0,816	-0,416	+0,401	-63,8	-24,6
4	Billy	-0,744	-0,239	+0,624	-50,0	-13,8
5	Aristarchus	-0,676	+0,402	+0,618	-47,6	+23,7
6	Mersenius C	-0,676	-0,338	+0,655	-45,9	-19,8
7	Gassendi α	-0,654	-0,316	+0,687	-43,6	-18,4
8	Kepler	-0,609	+0,141	+0,781	-38,0	+ 8,1
9	Encke B	-0,598	+0,041	+0,800	-36,8	+ 2,3
10	Bessarion	-0,585	+0,256	+0,770	-37,2	+14,8
11	Brayley	-0,561	+0,356	+0,747	-36,9	+20,9
12	Lansberg D	-0,508	-0,052	+0,860	-30,6	- 3,0
13	Milichius	-0,495	+0,174	+0,851	-30,2	+10,0
14	Euclides	-0,488	-0,128	+0,863	-29,5	- 7,4
15	Lansberg B	-0,470	-0,043	+0,882	-28,1	- 2,5
16	Dunthorne	-0,454	-0,501	+0,737	-31,6	-30,1
17	Sharp A	-0,456	+0,738	+0,497	-42,5	+47,6
18	Agatharchides A	-0,437	-0,395	+0,808	-28,4	-23,3
19	Foucault	-0,408	+0,770	+0,491	-39,8	+50,4
20	Darney	-0,386	-0,252	+0,887	-23,5	-14,6
21	Kies A	-0,340	-0,474	+0,812	-22,7	-28,3
22	Pytheas	-0,329	+0,351	+0,877	-20,6	+20,5
23	Gambart A	-0,321	+0,017	+0,947	-18,7	+ 1,0
24	La Condamine A	-0,292	+0,813	+0,504	-30,1	+54,4
25	Maupertuis A	-0,265	+0,772	+0,578	-24,6	+50,5
26	Kundt	-0,196	-0,200	+0,960	-11,5	-11,5
27	Birt	-0,137	-0,380	+0,915	- 8,5	-22,3
28	Tycho (C.P.)	-0,141	-0,685	+0,715	-11,2	-43,2 ¹⁾
29	Alpetragius B	-0,115	-0,261	+0,958	- 6,8	-15,1
30	Pico	-0,106	+0,717	+0,689	- 8,7	+45,8

2.Fortsetzung Beilage: Mondkarten für Finsternis- und Bedeckungsbeobachter

Punkt Nr.	Name	ξ	η	ζ	λ	β
31	Dancroft	-0,098	+0,470	+0,877	- 6,4°	+28,0°
32	Mösting A	-0,090	-0,056	+0,994	- 5,2	- 3,2
33	Maginus H	-0,106	-0,793	+0,600	-10,0	-52,5
34	Bode	-0,042	+0,117	+0,992	- 2,4	+ 6,7
35	Bode A	-0,020	+0,156	+0,988	- 1,2	+ 9,0
36	Chladni	+0,020	+0,070	+0,997	+ 1,1	+ 4,0
37	Epigenes A	-0,003	+0,920	+0,392	- 0,4	+66,9
38	Werner D	+0,051	-0,455	+0,889	+ 3,3	-27,1
39	Zach δ	+0,055	-0,876	+0,479	+ 6,5	-61,2 ²⁾
40	Aratus	+0,072	+0,400	+0,914	+ 4,5	+23,5
41	Cassini C	+0,101	+0,665	+0,740	+ 7,7	+41,6
42	Pickering	+0,122	-0,050	+0,991	+ 7,0	- 2,9
43	Airy A	+0,128	-0,293	+0,948	+ 7,7	-17,0
44	Egede A	+0,113	+0,782	+0,613	+10,4	+51,4
45	Hipparchus C	+0,142	-0,129	+0,981	+ 8,2	- 7,4
46	Manilius ε	+0,153	+0,250	+0,956	+ 9,0	+14,4 ³⁾
47	Abulfeda F	+0,216	-0,280	+0,935	+13,0	-16,3
48	Eudoxus A	+0,239	+0,717	+0,655	+20,0	+45,8
49	Menelaus	+0,264	+0,280	+0,923	+15,9	+16,2
50	Dionysius	+0,297	+0,049	+0,954	+17,2	+ 2,8
51	Nicolai A	+0,296	-0,675	+0,676	+23,7	-42,5
52	Dawes	+0,424	+0,296	+0,856	+26,3	+17,2
53	Posidonius A	+0,419	+0,525	+0,741	+29,4	+31,6
54	Polybius A	+0,432	-0,391	+0,813	+28,0	-23,0
55	Hercules G	+0,435	+0,724	+0,535	+39,0	+46,3
56	Janssen K	+0,466	-0,720	+0,514	+42,2	-46,1
57	Maury	+0,510	+0,603	+0,613	+39,7	+37,0
58	Censorinus	+0,540	-0,007	+0,842	+32,7	- 0,4
59	Rosse	+0,545	-0,307	+0,780	+34,9	-17,9
60	Cepheus A	+0,547	+0,656	+0,520	+46,4	+40,9
61	Hill	+0,611	+0,357	+0,707	+40,8	+20,9
62	Gutenberg A	+0,634	-0,157	+0,757	+39,9	- 9,0
63	Tralles A	+0,650	+0,461	+0,604	+47,0	+27,4
64	Stevinus A	+0,667	-0,528	+0,526	+51,8	-31,9
65	Proclus	+0,702	+0,278	+0,656	+46,9	+16,1
66	Furnerius A	+0,716	-0,552	+0,427	+59,2	-33,5
67	Bellot	+0,728	-0,215	+0,651	+48,2	-12,4
68	Picard	+0,789	+0,251	+0,561	+54,5	+14,5
69	Firmicius	+0,887	+0,127	+0,444	+63,4	+ 7,2
70	Langrenus M	+0,903	-0,170	+0,395	+66,4	- 9,8

1) Zentralberg von Tycho

2) Sehr heller Fleck am inneren, südöstlichen Wall von Zach

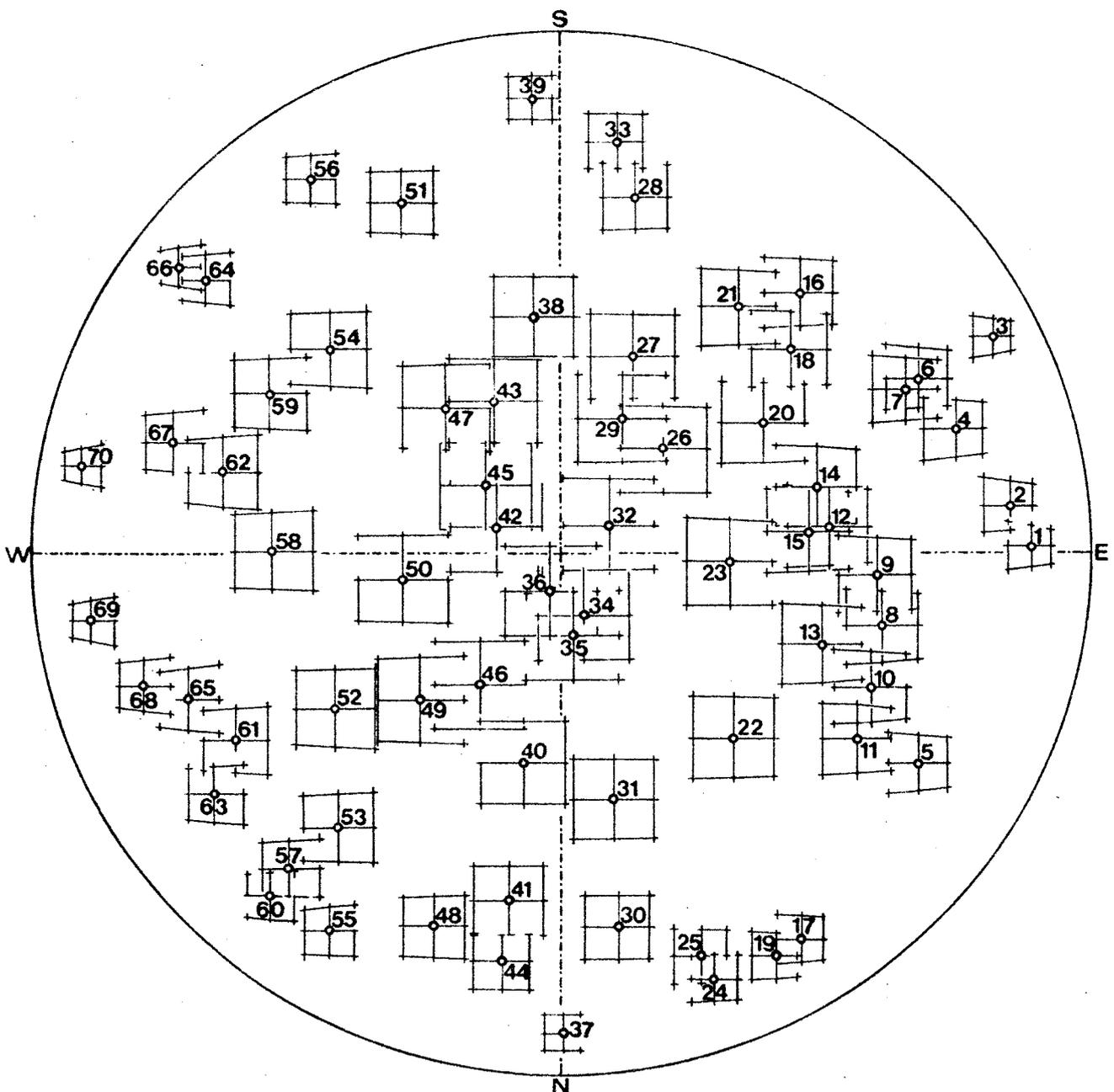
3) Zentralberg von Manilius

3. Fortsetzung Beilage: Mondkarten für Finsternis- und Bedeckungsbeobachter

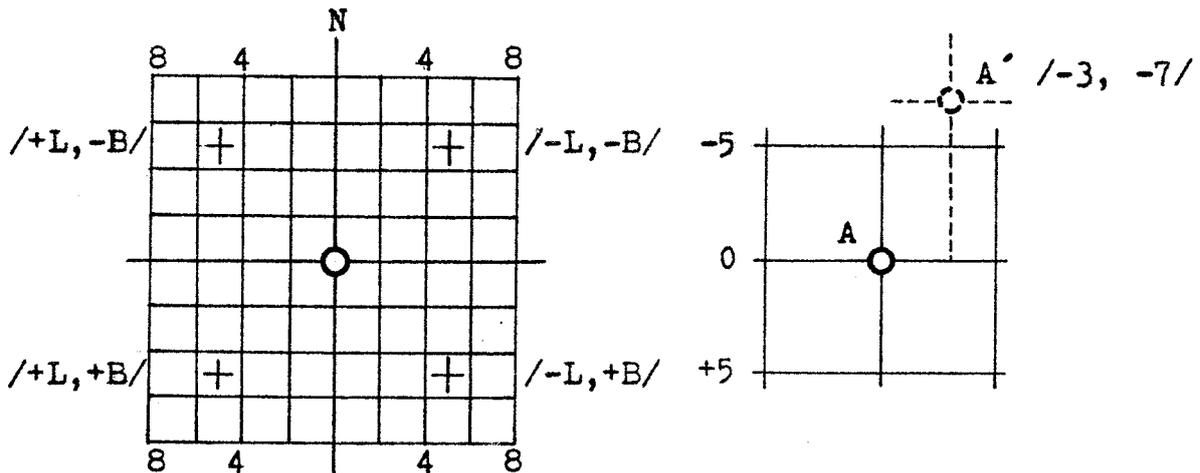
3 Librations-Mondkarte (Positionswinkel Mondnordpol $P_L = 0^\circ$, Libration $L = B = 0^\circ$)

Sie enthält die Messkrater 1–70. Um jeden ist das vollständige „Librationsfeld“ zu denken, das aus Platzgründen in der Karte in verkürzter Form mit den Ecken $L = \pm 5^\circ$, $B = \pm 5^\circ$ jeweils um jeden Krater eingezeichnet ist, siehe linke Abbildung auf der Nebenseite. Rechts daneben entspricht A dem Kraterort für $L = B = 0^\circ$ und A' ist als Beispiel für die Libration in Länge $L = -3^\circ$ und jene in Breite $B = -7^\circ$ eingetragen. L und B entnehmen wir einem Jahrbuch, etwa dem Österreichischen Himmelskalender [3], legen ein Blatt Pauspapier über die Librations-Karte und tragen die um die Libration veränderte Kraterposition in das Librationsnetz jedes Kraters ein – bei allen ist die Ablage von der Mitte des Librationsfeldes entsprechend gleich. So entsteht eine auf Libration berichtigte Mondkarte, die noch durch Eintragung der Punkte N,E,S,W am Rand vervollständigt wird. Sie kann z.B. zur graphischen Ermittlung der Antrittszeiten der Krater an den Erdschatten verwendet werden.

Erstmals wurde in den Seminarpapieren 1979 [1] eine solche Librationskarte veröffentlicht.



4. Fortsetzung Beilage: Mondkarten für Finsternis- und Bedeckungsbeobachter



3 Vorausdaten für die Messkrater-Antritte an den Erdkernschattenrand

3.1 Genäherte Uhrzeiten:

Sie ergeben sich graphisch aus einem Diagramm, in das für die Finsternismitte T_m sowie für $T_m \pm 1$ die geozentrische Rektaszension und Deklination des Mondes und jene der Gegen-sonne (Rektaszension der Sonne + 12h, Deklination der Sonne mit umgekehrten Vorzeichen) eingetragen wird. Die Mond- und Gegen Sonnenbahn ist nach Uhrzeit zu beziffern. Auf der Mondbahn ist die um den Positionswinkel P des Mondnordpols verdrehte, auf Libration korrigierte Mondkarte und auf der Bahn der Gegen-sonne ist der Erdkernschatten, siehe Referat „Geometrie der astronomischen Finsternisse“, als Kreis im gleichen Maßstab, zu bewegen. So lassen sich die Krater-Antrittszeiten abschätzen.

3.2 Genauere Uhrzeiten:

Sie können durch Rechnung erhalten werden; Formelsatz und Anleitung hat J. Meeus [4] veröffentlicht; Vorausdaten finden sich im „Österreichischen Himmelskalender“.

4 Albedo-Mondkarten für Bedeckungsbeobachter

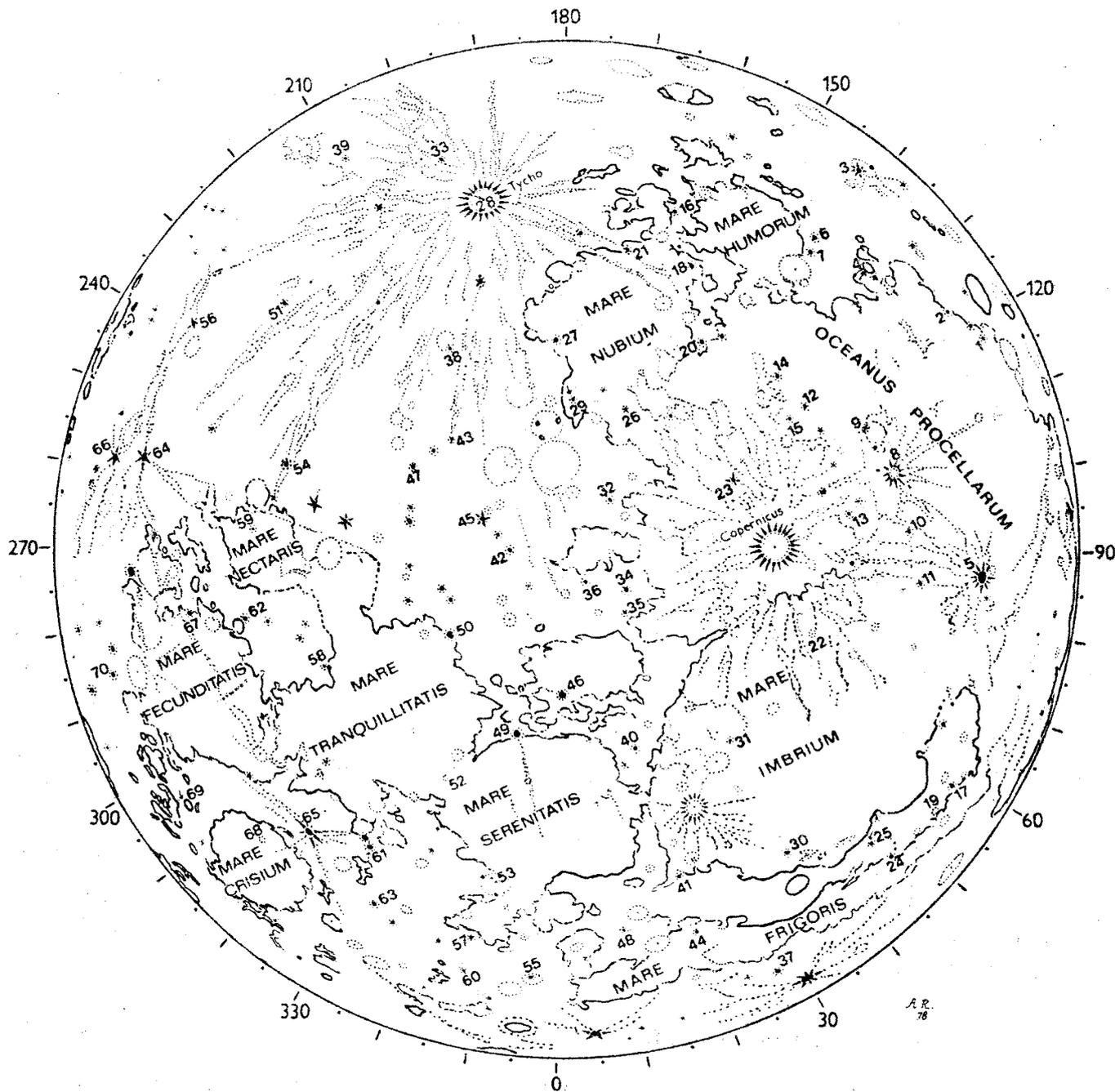
Ein Satz von Albedo-Mondkarten mit einer Positionswinkel-Teilung für den ganzen Bereich, in dem sich der Positionswinkel des Mondnordpols verändert, ist bei der Vorbereitung von Bedeckungsbeobachtungen nützlich. Dazu kann heute auch das Softwarepaket „Uraniastar“ sehr hilfreich sein.

Auf jener Karte, die für den Positionswinkel des Mondnordpols P bei einer bestimmten Bedeckung gilt, können die Positionswinkel P für Anfang und Ende der Bedeckung eingetragen werden und der Bedeckungsverlauf relativ zur Albedozeichnung des Mondes wird sofort ersichtlich. Das ist besonders bei Bedeckungsenden wichtig, die der Beobachter mit Hilfe solch einer Karte an der richtigen Stelle des Mondrandes erwarten kann.

Umseitig ist eine solche Albedo-Mondkarte, für den Positionswinkel des Mondnordpols $P = 27^\circ$, wiedergegeben.

Die Herausgabe der Veröffentlichung „Mondkarten für Finsternis- und Bedeckungsbeobachter“ ist geplant; Vormerkungen werden gern entgegengenommen. Astronomisches Büro.

5. Fortsetzung Beilage: Mondkarten für Finsternis- und Bedeckungsbeobachter



Literatur

- [1] Rühl, A.: Mondkarten für Finsternis- und Bedeckungsbeobachter. In den Seminar-papieren 1979, „Astronomische Finsternisse“. Astronomisches Büro für Österreichischen Astronomischen Verein, Wien 1979.
- [2] Kozik, S.M.: Table and Schematic Chart of Selected Lunar Objects, Pergamon Press, 1961. Kraterkoordinaten aus: The System of Lunar Craters, Quadrants I-IV, Communications of the Lunar and Planetary Laboratory, University of Arizona, 1963-1966.
- [3] Mücke, H.: Österreichischer Himmelskalender. Astronomisches Büro, Wien, 1957-1999.
- [4] Meeus, J.: Kratergenaue Berechnung von Mondfinsternissen. Der Sternbote 214, 10, Oktober 1974, p.198-203. Astronomisches Büro, Wien.

Dipl.Ing. Antonin Rühl, Planetarium Praha, Královská oboza 233, CZ-17021 Praha

Referat: Berechnung von Sternbedeckungen durch den Mond

Die häufigsten astronomischen Finsternisse sind Sternbedeckungen durch den Mond. Während es jährlich maximal 5 Sonnen/Mondfinsternisse gibt, (Lit.1) ist die Anzahl an Bedeckungen durch den Mond neben Beobachtungsbedingungen nur durch die Anzahl an Fixsternen in Bereich der Mondbahn beschränkt. Wählt man nur die mit kleinen Fernrohren sichtbaren Bedeckungen aus, so erhält man mehr als 100 Ereignisse pro Ort und Jahr. 1999 sind für Wien beispielsweise 118 Bedeckungen vorausberechnet (Lit.2).

Spektakuläre Erscheinungen sind (freisichtige) Bedeckungen von Sternen erster Größe (in Frage kommen Aldebaran, El Nath (β Tau), Regulus, Spika und Antares), Bedeckungen von Planeten und die sehr seltenen Sternbedeckungen durch Planeten.

Bereits wenige Jahre nach Erfindung des Fernrohres beobachtete Bullialdus 1623 die erste Sternbedeckung, als die Uhren nach und nach genauer wurden, wurden auch die Beobachtungen von Sternbedeckungen genauer und zahlreicher. Seit 1824 wurden im Nautical Almanac Hinweise auf mögliche Sternbedeckungen und ab 1834 Vorausdaten für Greenwich gegeben.

1828 veröffentlichte Bessel eine neue Methode zur Berechnung von Finsternissen für alle Orte der Erde.

Das Interesse an Sternbedeckungen wuchs erneut, als 1919 Brown seine Mondtheorie veröffentlichte.

Vor allem zur ständigen Überprüfung der Mondtheorie werden gewöhnliche Sternbedeckungen ständig weltweit beobachtet; streifende Sternbedeckungen erlauben die teilweise Erfassung des Mondrandprofils. Sternbedeckungen werden auch zur Bestimmung der Größe $\Delta T = DT - UT$ herangezogen und wurden früher auch zur Bestimmung der geogr. Länge des Beobachtungsortes verwendet.

Der astronomische Verein führt seit Dezember 1976 ein Beobachtungsprogramm zur Beobachtung von Sternbedeckungen durch. Es handelt sich hierbei um eine wissenschaftlich wertvolle Betätigung für Amateure, die hohe Ansprüche bezüglich Sorgfalt und Genauigkeit stellt, aber keine aufwendigen Beobachtungsmittel erfordert.

1 Berechnung

Die Berechnung der Sternbedeckungen dient vor allem der Gewinnung von Vorausdaten für die Beobachter und der Reduktion von Beobachtungen.

Hier soll besonders auf die Berechnung von Vorausdaten eingegangen werden, die sich in folgenden Schritten vollzieht:

1.1 Vorbereitung einer vorläufigen Liste der Sterne

die für mindestens einen Ort der Erdoberfläche im fraglichen Zeitraum bedeckt werden können. Legt man das Verhältnis k von Monddurchmesser / Erddurchmesser nach IAU 1982 mit

$$k = 0,272\ 507\ 6$$

für Sternbedeckungen fest und bedeutet π_1 die Horizontalparallaxe des Mondes, so beträgt der scheinbare Grenzabstand D Mondmitte-Stern im Großkreis bei einer Sternbedeckung höchstens

$$D = \pm 1,272\ 507\ 6\ \pi_1$$

1. Fortsetzung Referat: Berechnung von Sternbedeckungen

und mit der scheinbaren Bahnneigung J und Deklination δ_l des Mondes lautet dieser Grenzabstand $\Delta\delta$ in Deklination

$$\Delta\delta = 1,272\ 507\ 6\ \pi_l \cos \delta_l / \cos J$$

1.2 Berechnung der Bessel'schen Elemente

$T_0, H_0, Y, x', y', \delta_*$ für jede dieser möglichen Bedeckungen (siehe Referat: Geometrie der astronomischen Finsternisse)

α_*, δ_* bedeuten Rektaszension und Deklination des bedeckten Sterns, gültig für den Termin der Bedeckung (scheinbarer Ort). α_l, δ_l Rektaszension und Deklination des Mondes

$$x = [\cos\delta_l \sin(\alpha_l - \alpha_*)] / \sin \pi_l$$
$$y = [\sin\delta_l \cos\delta_* - \cos\delta_l \sin\delta_* \cos(\alpha_l - \alpha_*)] / \sin \pi_l$$

Für die Berechnung von Vorauswerten genügt es ferner, x und y nur für die volle Stunde vor und nach der geozentrischen Konjunktion in Rektaszension zwischen Mond und Stern zu berechnen; diese Konjunktion schätzt man aus einer stündlichen Mondephemeride (Jahrbuch) für den Termin T_E (DT) ab und hat dann für:

$T_1 : x_1, y_1$ und für $T_2 : x_2, y_2$ (DT), woraus man die stündlichen Änderungen berechnet zu:

$$x' = x_2 - x_1 \text{ und } y' = y_2 - y_1$$

Der geozentrische Konjunktionstermin in Rektaszension T_E ergibt sich nun zu:

$$T_E = T_1 - x_1/x' \text{ (DT) und mit } \Delta T = DT - UT \text{ (Jahrbuch) folgt}$$
$$T_0 = T_E - \Delta T, \text{ nunmehr in UT.}$$

Für diesen Termin ist $x=0$ und $y=Y$;

$$Y = y_1 - x_1 y' / x' \text{ (DT)}$$

Mit der Sternzeit um 0h ϑ_0 (bezüglich Ephemeriden-Meridian, numerisch gleich der Sternzeit um 0^h UT bezüglich Meridian Greenwich, Jahrbuch) und mit $(T_E)s$, dem in ein Sternzeitintervall umgewandelten Intervall mittlerer Zeit T_E erhält man den Ephemeriden-Stundenwinkel für T_E :

$$H_E = \vartheta_0 + (T_E)s - \alpha_*$$

und schließlich den Stundenwinkel

$$H_0 = H_E - 1,002\ 738\ \Delta T; \quad \text{Elemente: } T_0, H_0, Y, x', y' \text{ und } \delta_*$$

1.3 Beispiele

1) Bedeckung Aldebaran 1999 03 22

$$\alpha_* \quad 4^{\text{h}}35^{\text{m}}51,3^{\text{s}} \qquad \vartheta_0 \quad 11^{\text{h}}56^{\text{m}}13,3^{\text{s}}$$
$$\delta_* \quad 16^{\circ}30'17''$$
$$T_1 = 18^{\text{h}} \qquad \alpha_{l1} \quad 4^{\text{h}}34^{\text{m}}44,0^{\text{s}} \qquad \delta_{l1} \quad 17^{\circ}01'35''$$
$$\qquad \qquad \pi_{l1} \quad 0^{\circ}59'37''$$

2. Fortsetzung Referat: Berechnung von Sternbedeckungen

$$\begin{array}{l}
 T_2 = 19^h \quad \alpha_2 \quad 4^h 37^m 11,7^s \quad \delta_2 \quad 17^\circ 07' 43'' \\
 \quad \quad \quad \pi_2 \quad \quad \quad 0^\circ 59' 36'' \\
 \\
 x_1 = -0,269862487 \quad y_1 = 0,525227653 \\
 x_2 = 0,322304351 \quad y_2 = 0,628362805 \\
 x' = 0,592166838 \\
 y' = 0,103135152 \\
 \\
 T_E = 18,45572036 \quad \Delta T = 64^s \quad (TE)_s = T_E / 0,997269566 = 18,50625046^h \\
 T_0 = 18,43794258 \\
 \\
 Y = 0,572228442 \\
 \\
 H_E = 1,845694910 \\
 H_0 = 1,827868457
 \end{array}$$

2) Bedeckung Regulus 24.4.99

$$\begin{array}{l}
 \alpha^* \quad 10^h 08^m 19,8^s \quad \vartheta_0 \quad 14^h 06^m 19,6^s \\
 \delta^* \quad 11^\circ 58' 12'' \\
 \\
 T_1 = 21^h \quad \alpha_{11} \quad 10^h 07^m 26,7^s \quad \delta_{11} \quad 12^\circ 30' 54'' \\
 \quad \quad \quad \pi_{11} \quad \quad \quad 0^\circ 56' 21'' \\
 \\
 T_2 = 22^h \quad \alpha_{12} \quad 10^h 09^m 32,9^s \quad \delta_{12} \quad 12^\circ 22' 17'' \\
 \quad \quad \quad \pi_{12} \quad \quad \quad 0^\circ 56' 19'' \\
 \\
 x_1 = -0,229993345 \quad y_1 = 0,580411017 \\
 x_2 = 0,316981857 \quad y_2 = 0,427831682 \\
 x' = 0,546975202 \\
 y' = -0,152579335 \\
 \\
 T_E = 21,42048222 \quad \Delta T = 64^s \quad (TE)_s = T_E / 0,997269566 = 21,47912957^h \\
 T_0 = 21,40270444 \\
 \\
 Y = 0,516254120 \\
 \\
 H_E = 1,445740680 \\
 H_0 = 1,427914227
 \end{array}$$

1.4 Berechnung der lokalen Daten

Feststellung, ob diese Sterne für die vorgegebenen Beobachtungsorte auf der Erdoberfläche tatsächlich bedeckt werden und die lokalen Daten Uhrzeit und Positionswinkel für Anfang und Ende der Bedeckung.

Sind x, y bzw. ξ, η die Koordinaten der Mondschattemitte bzw. des Beobachtungsortes auf der Besselschen Fundamentelebene, so gilt für den Zeitpunkt des Anfangs und Endes der Bedeckung:

3. Fortsetzung Referat: Berechnung von Sternbedeckungen

$$(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 - k^2 = 0$$

Für genäherte Uhrzeiten von Anfang und Ende ist die linke Seite dieser Gleichung nicht genau Null und aus diesen Beträgen leitet man eine Korrektur Δt der genäherten Uhrzeiten T^* ab. λ, φ, h bedeuten die geographische Länge, Breite, Seehöhe, letztere in m.

Mit einer Erdabplattung von $1/298,257$ berechnet man nun

$$\rho \sin \varphi' = 0,996\,647\,19 \sin u + (h/6\,378\,140) \sin \varphi$$

$$\rho \cos \varphi' = \cos u + (h/6\,378\,140) \cos \varphi$$

$$\text{worin } \tan u = 0,996\,647\,19 \tan \varphi \text{ ist.}$$

Beginnt man mit T^* nahe T_0 , zweckmäßig mit $t = T^* - T_0 = -1^h$ für den Anfang und $t = T^* - T_0 = +1^h$ für das Ende der Bedeckung, so hat man:

$$x = x' t; \quad y = Y + y' t; \quad H = H_0 - \lambda + (t/0,997\,269\,566)$$

$$Q = \rho \cos \varphi' \cos H$$

$$\xi = \rho \cos \varphi' \sin H$$

$$\eta = \rho \sin \varphi' \cos \delta - Q \sin \delta$$

$$f = x - \xi$$

$$g = y - \eta$$

$$\xi' = 0,262\,52 \rho \cos \varphi' \cos H$$

$$\eta' = 0,262\,52 \xi \sin \delta$$

$$f' = x' - \xi'$$

$$g' = y' - \eta'$$

Zunächst bestimmt man den Charakter der Bedeckung mit der Größe C :

$$C = | (fg' - f'g) / [k \sqrt{(f'^2 + g'^2)}] |$$

Für $C = 0$ liegt eine zentrale, für $C < 1$ eine gewöhnliche, für $C = 1$ eine streifende und für $C > 1$ keine Bedeckung vor.

Die Korrektur Δt der genäherten Uhrzeit folgt in Stunden zu:

$$\Delta t = (k^2 - f^2 - g^2) / [2 (ff' + gg')]$$

und man erhält die verbesserte Uhrzeit $T = T^* + \Delta t$ und wiederholt das Verfahren so oft, bis Δt genügend klein geworden ist.

Der Positionswinkel der Bedeckungsstelle P (gemessen vom Nordpunkt der Mondscheibe im Sinn NOSW) und V (gemessen vom Vertex = höchstem Punkt des Mondrandes im gleichen Sinn) erhält man aus:

$$P = \arctan f/g \quad \text{und} \quad V = P - \arctan \xi/\eta$$

wobei man die endgültigen Werte für Anfang und Ende der Bedeckung benützt.

Für Zwecke der Vorausrechnung reicht eine Genauigkeit von $\pm 0,1^m$.

4. Fortsetzung Referat: Berechnung von Sternbedeckungen

Ortskonstanten für österreichische Landeshauptstädte (Lit.2)

Stadt	φ	$\rho \sin \varphi'$	$\rho \cos \varphi'$	λ	Seehöhe
Eisenstadt	47,846	0,737760	0,672383	-16,522	182m
Wien	48,212	0,742029	0,667640	-16,385	194m
St. Pölten	48,206	0,741968	0,667726	-15,628	271m
Graz	47,067	0,728598	0,682405	-15,435	350 m
Klagenfurt	46,622	0,723304	0,688074	-14,307	446m
Linz	48,289	0,742931	0,666646	-14,303	266m
Salzburg	47,806	0,737320	0,672925	-13,044	424m
Innsbruck	47,265	0,730970	0,679898	-11,405	574m
Bregenz	47,497	0,733690	0,676905	-9,722	410m

1.5 Beispiele

1) Bedeckung Aldebaran 1999 03 22

Nach einer ersten Berechnung für den Bedeckungsanfang für Wien erhält man

x -0,592166838	y 0,469093290
H 28,76195820	Q 0,667300281
ξ 0,021295654	ξ' 0,175179670
η 0,521878426	η' 0,001588240
f -0,613462492	f' 0,416987168
g -0,052785136	g' 0,101546912

C = 0,344450024 damit ist das Ereignis sicher.

Δt 0,583655466

Man nimmt dann im nächsten Schritt $T = -1 + \Delta t$ und erhält nach 6 Iterationen ($\Delta t = 0,002137349^h < 0,1 \text{ min}$)
 $t = 0,403523354^h$ und daraus

T = 18 h 50,5 (UT), sowie P = 95 °.

Stadt	Anfang MEZ	P	Ende MEZ	P
Eisenstadt	19 ^h 51,2 ^m	96°	20 ^h 54,5 ^m	250°
Wien	19 ^h 50,5 ^m	95°	20 ^h 54,1 ^m	251°
St. Pölten	19 ^h 49,8 ^m	95°	20 ^h 53,6 ^m	250°
Graz	19 ^h 51,3 ^m	99°	20 ^h 54,3 ^m	247°
Klagenfurt	19 ^h 50,9 ^m	101°	20 ^h 53,8 ^m	245°
Linz	19 ^h 48,4 ^m	96°	20 ^h 52,6 ^m	250°
Salzburg	19 ^h 47,8 ^m	98°	20 ^h 52,1 ^m	248°
Innsbruck	19 ^h 46,9 ^m	99°	20 ^h 51,1 ^m	245°
Bregenz	19 ^h 44,7 ^m	99°	20 ^h 49,5 ^m	245°

2) Bedeckung Regulus 1999 04 24

Nach einer ersten Berechnung für den Bedeckungsanfang für Wien erhält man

x -0,546975202	y 0,668833455
H 22,76264475	Q 0,615641263
ξ 0,258319580	ξ' 0,161618144
η 0,598210872	η' 0,014064602
f -0,805294782	f' 0,385357058
g 0,070622583	g' -0,166643937

5. Fortsetzung Referat: Berechnung von Sternbedeckungen

$$C = 0,935071735$$

damit ist das Ereignis sicher.

$$\Delta t 0,899155695$$

Man nimmt dann im nächsten Schritt $T = -1 + \Delta t$ und erhält nach 8 Iterationen $t = 0,51817605$ und daraus

$$T = 21 \text{ h } 55,3 \text{ (UT)}, \text{ sowie } P = 45^\circ.$$

(Diese Bedeckung ist nahezu streifend, daher sind mehr Iterationen notwendig)

Stadt	Anfang MEZ	P	Ende MEZ	P
Eisenstadt	22 ^h 55,3 ^m	47°	23 ^h 23,6 ^m	359°
Wien	22 ^h 55,3 ^m	45°	23 ^h 22,1 ^m	0°
St. Pölten	22 ^h 53,5 ^m	47°	23 ^h 22,6 ^m	358°
Graz	22 ^h 52,4 ^m	52°	23 ^h 27,1 ^m	353°
Klagenfurt	22 ^h 50,0 ^m	56°	23 ^h 28,9 ^m	350°
Linz	22 ^h 50,5 ^m	50°	23 ^h 22,8 ^m	356°
Salzburg	22 ^h 47,6 ^m	54°	23 ^h 25,0 ^m	351°
Innsbruck	22 ^h 44,1 ^m	60°	23 ^h 27,0 ^m	347°
Bregenz	22 ^h 40,7 ^m	62°	23 ^h 26,1 ^m	345°

Für solche Berechnungen verwendete früher das HMNAO die „Occultation Machine“ (Lit.1)

2 Sichtbarkeitsbedingungen

Die Sichtbarkeit einer tatsächlich eintretenden Bedeckung wird durch die Höhe des Sterns zum Bedeckungstermin, seine scheinbare Helligkeit, durch die Himmelhelligkeit und durch die Erleuchtung der Mondscheibe bestimmt. Sehr zweckmäßige Bedingungen sind z.B. jene, die als Auswahlkriterien für die Angabe von Vorausdaten vom Nautical Almanac Office benützt werden: Mindesthöhe 2° für Gestirne heller als +1,9^m, Mindesthöhe 10° für Gestirne heller als +7,5^m (z.B. Z.C.-Sterne).

Am hellen Mondrand Bedeckungsanfang/-ende Grenzgröße +4,5^m/+3,5^m. Am dunklen Mondrand Bedeckungsende Grenzgröße +6,5^m.

24h vor und nach Neumond keine Vorausdaten; 48h vor und nach Neumond Grenzgröße +1,9^m;

24h vor und nach Vollmond Grenzgröße +3,0^m; 48h vor und nach Vollmond Grenzgröße +5,5^m;

72h vor und nach Vollmond Grenzgröße +6,5^m

Grenzgröße nach Sonnendepression:

+2,0^m bis +4,5^m frühest bei 0°, spätest bei 6°, +4,6^m bis +5,5^m frühest bei 3°, spätest bei 9°,

+5,6^m bis +7,5^m frühest bei 6°, spätest bei 12°

Für nahe streifende und streifende Bedeckungen: Sonderkriterien.

Damit ist die Beobachtbarkeit mit kleineren Instrumenten gesichert.

Literatur:

- [1] Sternfreunde-Seminar 1979, Planetarium Wien
- [2] Himmelskalender 1999, Astronomisches Büro, Wien und Privatmitteilung Monddaten
- [3] The astronomical Almanac 1999, US Government Printing Office, Washington
- [4] Scheinbare Örter der Fundamentalsterne 1999 (FK5), Astronomisches Rechen-Institut., Heidelberg

Renate Weiland
Franz Lisztstraße 11
2371 Hinterbrühl

Referat: **Zur Beobachtung von Sternbedeckungen durch den Mond**

Anders als Sonnen- und Mondfinsternisse sind die meisten Sternbedeckungen durch den Mond für den Betrachter mit bloßem Auge unsichtbar. Es ist daher zu ihrer Beobachtung zumindest ein guter Feldstecher, meist jedoch ein Fernrohr nötig, wobei auch hier durch die schwankende Helligkeit des Mondes Grenzen gesetzt sind.

Wenngleich der wissenschaftliche Wert derartiger Beobachtungen durch die Weltraummissionen der letzten Jahre (Clementine, Hipparcos ...) stark gesunken ist, so besitzen diese häufigsten aller astronomischen Finsternisse doch einen subtilen Reiz, den es zu entdecken gilt.

Im folgenden sind die persönlichen Erfahrungen, die der Autor in nunmehr 20 Jahren Beobachtungstätigkeit am Fernrohr gemacht hat, zusammengefaßt. Sie sollen zeigen, daß auch mit kleinem Gerät interessante Ergebnisse zu erzielen sind.

1 Voraussetzungen für die Beobachtung

Beobachtungsort

Der Wahl des Beobachtungsortes kommt eine große Bedeutung zu, weil er über die tatsächliche Sichtbarkeit der Bedeckung sowie die Qualität der Beobachtung entscheidet. In meinem Falle hat sich die Wohnung der Eltern im 3. Wiener Gemeindebezirk als günstig erwiesen, da der Balkon von Südost bis West einen Landschaftshorizont $< 5^\circ$ Höhe zeigt. Lediglich bei Bedeckungen, welche sich am Ost- bzw. Nordwesthimmel ereignen, muß ich auf das angrenzende Parkgelände ausweichen. Mittlerweile stehen mir fünf zusätzliche Plätze im Umkreis von etwa hundert Metern zur Verfügung. Soweit als möglich wurde auf ausreichenden Schutz vor Licht, Rauch und Wind geachtet. Neugierige Passanten lassen sich hingegen nicht immer ausschließen.

Fernrohr

Grundsätzlich sind die meisten der im *Österreichischen Himmelskalender* [Lit. 5] angegebenen Bedeckungen (Helligkeiten $\geq +7,5^{\text{mag}}$) schon mit kleinem Gerät zu beobachten. Ich persönlich verwende einen Newton-Spiegel 114/900mm (Öffnungsverhältnis etwa 1:8) auf parallaktischer Montierung. Auf Grund der leichten Bauweise kann er problemlos getragen werden, ohne in einzelne Teile zerlegt werden zu müssen. Bei Verwendung eines 20mm-Okulars (45-fache Vergrößerung) füllt der Mond das Gesichtsfeld fast vollständig aus. Da höhere Vergrößerungen nicht mehr ganz so scharfe Bilder liefern, ist dies mein bevorzugter Arbeitsbereich. Hinsichtlich der Angleichungszeit an die Außentemperatur hat sich der Newton als relativ problemlos erwiesen. Eine halbe Stunde reicht meist aus. Zu den Schwächen des Gerätes zählt, konstruktionsbedingt, das Auftreten von Reflexionen sowie die nicht sehr stabile Montierung, welche schon bei mäßigem Wind ein Zittern des Bildes bewirkt. Dennoch kann man den Newton, auch wegen des angenehmen Okulareinblicks (ich beobachte ausschließlich im Stehen), als brauchbares Gerät für die Erfassung von Sternbedeckungen bezeichnen.

1. Fortsetzung: Zur Beobachtung von Sternbedeckungen ...

Stoppuhr

Bis 1991 benutzte ich eine mechanische Stoppuhr, deren Genauigkeit über den genannten Zeitraum hinweg erstaunlich konstant blieb (bei einer Laufzeit von 20 Minuten Nachgang etwa $0,1^{\text{sec}}$). In weiterer Folge stieg ich auf elektronische Geräte unterschiedlicher Hersteller um, welche im erprobten Arbeitsbereich von etwa einer Stunde allesamt keine Ganganomalien erkennen ließen. Derzeit verwende ich ein Modell mit Mehrfach-Stoppmodus (bis zu zehn Zwischenzeiten), was sich vor allem bei der Erfassung der streifenden Aldebaran-Bedeckung 1998 02 05 als nützlich erwiesen hat.

2 Vorbereitung der Beobachtung

Grundsätzlich habe ich es mir zur Angewohnheit gemacht, das bevorstehende Ereignis zu skizzieren [Lit. 3] oder zumindest geistig vor Augen zu führen. Bei Bedeckungsenden und großer Mondphase verwende ich zusätzlich *Uraniastar 1.1*, um mir die Lage der Bedeckungsstelle in Bezug auf leicht erkennbare Mondformationen einzuprägen. Auch die Nachschau in einem Sternkatalog hinsichtlich einer Veränderlichkeit des Sternes sowie etwaiger Begleiter hat sich, gerade bei Bedeckungsenden, als sinnvoll herausgestellt.

3 Durchführung der Beobachtung

Vor Aufstellen des Fernrohres wird die Stoppuhr unter der Telefonnummer 01/1505 an das Zeitzeichensignal des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (BEV) angeschlossen. Diese Art der Zeitnehmung erscheint mir gegenüber einer zweiten, häufig angewandten Methode, nämlich dem Auslösen der Stoppuhr erst zum Zeitpunkt der Bedeckung und Anhalten bei einem der folgenden Minutenpunkte, von Vorteil zu sein, da sie im Zweifelsfall wiederholt werden kann.

Bereits in Beobachtungsposition werfe ich, um das Auge nicht zu sehr zu ermüden, nur von Zeit zu Zeit einen Blick in das Okular und stelle gegebenenfalls die Schärfe nach. Zusätzlich führe ich kurz vor dem Ereignis den beleuchteten Teil des Mondes aus dem Gesichtsfeld heraus, um die Blendwirkung soweit als möglich zu verringern. Die Bedeckungsstelle befindet sich dann meist nahe der Gesichtsfeldmitte und somit im Bereich der größten Schärfe.

Naturgemäß versucht jeder Beobachter, die Stoppuhr nach dem Ereignis so schnell als möglich anzuhalten bzw. auszulösen. In der Praxis hat es sich jedoch gezeigt, daß die Reaktionszeit, also der Wert der persönlichen Gleichung, stark schwankt und von zahlreichen Faktoren wie z.B. Witterungsbedingungen, der persönlichen Verfassung des Beobachters etc. abhängig ist. In meinem Falle liegen die Werte meist zwischen $0,2^{\text{sec}}$ („sehr gut erfaßt“) und $0,5^{\text{sec}}$ („brauchbar erfaßt“). Beobachtungen mit einer persönlichen Gleichung $> 0,5^{\text{sec}}$ sollten nach Ansicht des Autors nicht an das International Lunar Occultation Center (ILOC) in Tokyo weitergeleitet werden, da es mit zunehmender Reaktionszeit immer schwieriger wird, den Wert der persönlichen Gleichung einigermaßen genau zu bestimmen.

Unter Berücksichtigung der möglichen Fehler (Stoppuhranomalien, Zeitnehmung, Erfassung des Ereignisses) müßte bei visuellen Beobachtungen eine *tatsächliche* Genauigkeit von $0,1^{\text{sec}}$ zu erzielen sein.

2. Fortsetzung: Zur Beobachtung von Sternbedeckungen ...

4 Erfahrungswerte aus der Beobachtung

Für angehende Bedeckungs-Beobachter seien im folgenden einige der Faktoren, welche die Beobachtung beeinflussen können, genannt. Die beispielhaft erwähnten, tatsächlich erfaßten Bedeckungen (Daten im System Himmelskalender) werden mit Hilfe des Software-Paketes *Uraniastar 1.1* gezeigt:

- In Abhängigkeit von der Helligkeit des bedeckten Sternes sowie der jeweiligen Mondphase ergibt sich für jedes Fernrohr ein reizvoll großer Schwierigkeitsbereich, der ausgelotet werden muß. Grundsätzlich gilt, daß bei vergleichbaren astronomischen Randbedingungen wie z.B. Sternhöhe, Dämmerung etc. Bedeckungsanfänge am sichtbaren dunklen Rand am leichtesten, Bedeckungsenden am hellen Rand hingegen am schwierigsten zu beobachten sind. Unter Umständen können jedoch Erscheinungen am dunklen Rand auch bei kleiner Mondphase schwierig zu beobachten sein, wenn z.B. die Bedeckungsstelle unmittelbar im Bereich einer Hornspitze liegt. *Zwei Beobachtungsbeispiele: 1983 01 08, 11 B Lib, +7,1^{mag}, Mond zu 30% beleuchtet, dunkler Rand sichtbar, Bedeckungsstelle nahe der südlichen Hornspitze und 1989 05 09, 52 Gem, +6,0^{mag}, Mond zu 24% beleuchtet, dunkler Rand sehr gut sichtbar, Bedeckungsstelle zwischen zwei beleuchteten Mondbergen nahe dem Südpol. In beiden Fällen war bei 45-facher Vergrößerung die Grenze der Leistungsfähigkeit des Newton-Spiegels erreicht.*

- Diese Angaben gelten nicht für Mondfinsternisse, sofern sich der Stern im Bereich des Kernschattens der Erde befindet. *Beobachtungsbeispiel: 1989 08 17, 44 Cap, +6,0^{mag}, 14 Minuten vor Beginn der Totalität, Bedeckung am gut sichtbaren verfinsterten Rand.*

- Gute Sicht kann ungünstige astronomische Randbedingungen wie z.B. geringe Höhe über dem Horizont nahezu wettmachen. *Beobachtungsbeispiel: 1997 10 05, η Lib, +5,5^{mag}, Mond zu 15% beleuchtet, dunkler Rand sehr gut sichtbar, Höhe des Sternes 6° über dem Horizont, klare Sicht.*

Für Bedeckungen kurz vor bzw. nach Vollmond ist dies von untergeordneter Bedeutung, da die Überstrahlung des Sternes durch den Mond eine größere Rolle spielt.

- Bedeckungsstellen in geringem Abstand zum Terminator (bei fast vollem Mond bzw. polnahen Bedeckungen) und solche am hellen Rand verlangen nach entsprechender Definition des Bildes, gutes Seeing ist also Voraussetzung. *Beobachtungsbeispiel: 1996 12 26, λ Gem, +3,6^{mag}, Mond zu 98% beleuchtet, Temperatur -9°C, Luftunruhe für Nichterfassen ausschlaggebend.*

Um zusätzliche Störungen durch Tubusturbulenzen zu vermeiden, ist bei tiefen Temperaturen eine ausreichende Temperaturangleichung des Fernrohres wichtig (*bei der o. g. Bedeckung wäre eine längere Anpassungszeit günstig gewesen*).

- Bedeckungen am Taghimmel gehören zu den schwierigsten Beobachtungen überhaupt, da es gerade hierbei auf gute atmosphärische Bedingungen ankommt. *Beobachtungsbeispiel: 1997 07 02, α Tau, +1,1^{mag}, Höhe des Sternes 23°, Abstand zur Sonne 31° (Mond zu 7% beleuchtet), Sonne 7° über dem Horizont, klare Sicht und gutes Seeing sowie abgedunkelter Beobachtungsplatz ausschlaggebend.*

Es ist also ratsam, aus dem Schatten heraus zu beobachten, um Tubusturbulenzen durch direkte Sonneneinstrahlung zu vermeiden, und achte gegebenenfalls auf ausreichenden Schutz vor Wind.

Im Gegensatz zu Nachtbeobachtungen lassen sich Erscheinungen am hellen Rand bei Tage leichter verfolgen, da der Stern einfacher zu finden ist und eine etwaige Überstrahlung durch den Mond keine Rolle spielt.

3. Fortsetzung: Zur Beobachtung von Sternbedeckungen ...

- Auf Grund des wechselhaften Wettercharakters in Mitteleuropa verlasse man sich nicht zu sehr auf die Prognose. Schon manch eine „bewölkte“ Nacht hat zu schönen Beobachtungsergebnissen geführt. *Beispiel: 1990 07 18, Bedeckung der Plejaden (17, 23, 24, η , 27 und 28 Tau, Helligkeiten der bedeckten Sterne von $+3,0^{mag}$ bis $+6,3^{mag}$, Mondhöhen zwischen 8° und 23°).*

Allerdings kann es auch passieren, daß zum Zeitpunkt der Bedeckung eine einzige Wolke den Blick zum Mond versperrt!

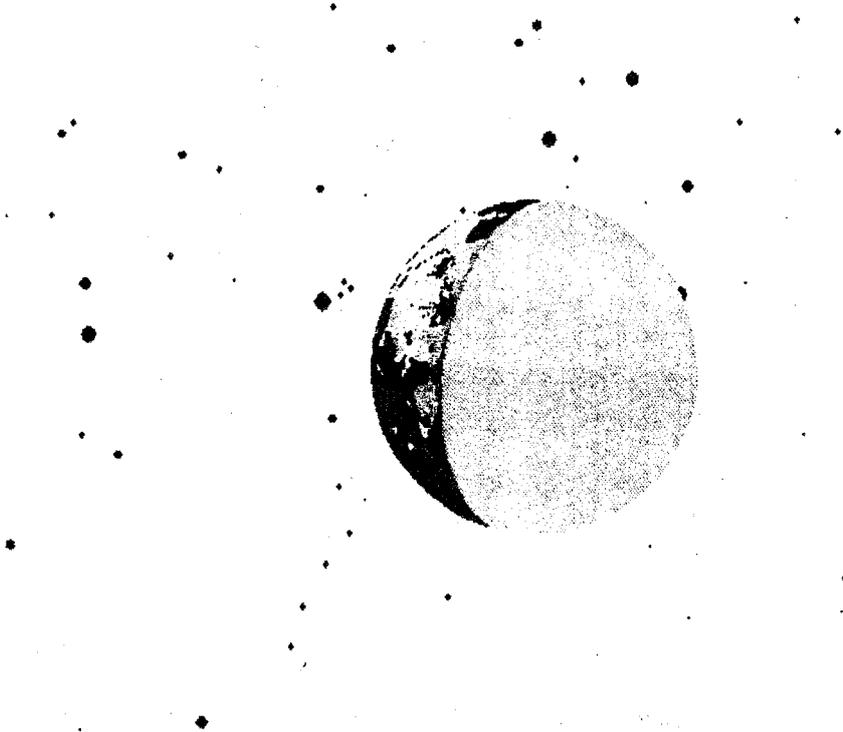


Abb. 1: Bedeckung der Plejaden 1990 07 18, Anblick mit Uraniastar 1.1, Bedeckungsende 17 Tau, $+3,8^{mag}$ für Wien.

Grundsätzlich haben sich die Monate August bis Oktober als klimatisch günstigste Zeit für die Beobachtung von Sternbedeckungen erwiesen (oft stabile Hochdrucklagen mit geringer Nebelbildung im Flachland). Eine annähernd gleich hohe Ausbeute ist von Februar bis April möglich. Allerdings schwankt die Zahl der beobachteten Ereignisse von Jahr zu Jahr zwischen 5% und 25% der im Himmelskalender angegebenen Bedeckungen. Im Durchschnitt kann man mit etwa 15% rechnen.

- Streifende Bedeckungen verlangen im allgemeinen hohe Konzentration und sind selbst für große Instrumente oft zu schwierig. Außerdem sollte man bereits ein gewisses Maß an Erfahrung mitbringen und sich gut im Gelände orientieren können. Erscheinungen am hellen Rand sind nur bei Sternen 1. Größe und guten Beobachtungsbedingungen zu empfehlen.

Beobachtungsbeispiel: Streifende Bedeckung α Tau, $+1,1^{mag}$, 1998 02 05:

Bei Durchsicht des Himmelskalenders 1998 fiel mir auf, daß am frühen Abend des 5. Februar der Stern 275 B Tau, $+6,5^{mag}$ bedeckt werden sollte. Aus Erfahrung wußte ich, daß ein bis zwei Stunden später der Mond knapp an Aldebaran vorbeiziehen oder ihn sogar bedecken würde. Doch weder für Wien noch für Innsbruck war eine Bedeckung von α Tau angegeben. Dadurch neugierig geworden, sah ich mir die Sache mit Uraniastar 1.1 näher an.

4. Fortsetzung: Zur Beobachtung von Sternbedeckungen ...

Es zeigte sich, daß für Wien der Mond knapp südlich an Aldebaran vorbeizog. Die nördliche Grenzlinie mußte sich also südlich von Wien befinden (dies läßt sich mit der ausgestreckten Hand leicht nachvollziehen). Weiteres Suchen ergab auch für Eisenstadt keine Bedeckung, für Graz und Klagenfurt hingegen schon. Der exakte Grenzlinienverlauf wurde schließlich durch eine Berechnung, welche Herr Prof. Mucke dankenswerterweise vornahm, ermittelt [Lit. 6].

Am Tag der Bedeckung herrschte klares und nahezu windstilles Wetter, und so machte ich mich in Richtung Seewinkel / BL auf. Als Beobachtungsort wählte ich eine Straßenkreuzung 1,5km nördlich der Gemeinde Tadten bzw. 330m südlich der nördlichen Grenzlinie gelegen. Zwecks Angleichung an die Außentemperatur wurde der Newton-Spiegel etwa 20 Minuten vor dem berechneten Zeitpunkt beobachtungsbereit gemacht. Die elektronische Stoppuhr mit Mehrfach-Stoppmodus war bereits zuvor in einem nahegelegenen Gasthaus an das Zeitsignal des BEV angeschlossen worden.

Gegen 19^h 30^{min} MEZ - Aldebaran hatte sich bereits deutlich der Nordpolarregion des Mondes genähert - wuchs die Spannung. Knapp 8 Minuten später wurde er schließlich vom hellen Rand bedeckt. Danach blieb er für etwa 2 Minuten hinter Mondbergen verborgen, und es kam in mir der Verdacht auf, doch zu weit südlich gegangen zu sein. Aber ich wurde eines Besseren belehrt, als mit dem Erscheinen des Sternes ein dramatisches „Blinkfeuer“ begann. Dies ging alles so schnell (fünf Zeiten innerhalb von 10 Sekunden!), daß ich keine Gelegenheit hatte, die persönliche Gleichung zu bestimmen. Ich nahm sie jedoch im Mittel zu 0,4^{sec} an. Bezüglich der genauen Ergebnisse siehe Lit. 7. Das Seeing war an diesem Abend überdurchschnittlich gut.

5 Mögliche Beobachtungen für Amateure

Trotz der geringen wissenschaftlichen Bedeutung, die Bedeckungs-Beobachtungen heutzutage besitzen, gibt es noch einige Aufgabenbereiche, deren Bearbeitung durch den Amateur lohnt [Lit. 1]:

- *Streifende Bedeckungen* sind nach wie vor interessant, da auch nach Clementine das Mondrandprofil in hohen selenografischen Breiten ($> 70^\circ$) nur ungenügend genau bekannt ist.

Beim Zusammenschluß von mehreren Beobachtern, deren Geräte entlang einer der beiden Grenzlinien angeordnet sind, ist es außerdem möglich, eine sehr genaue Positionierung des Mondes in Bezug auf den bedeckten Stern vorzunehmen.

Streifende Bedeckungen eignen sich auch dazu, um enge physische Doppelsterne aufzulösen, bzw. können sie Hinweise auf unsichtbare (d.h. nur spektroskopisch nachweisbare) Begleiter geben (je nach Distanz schrittweiser bzw. gradueller Lichtabfall / anstieg).

Darüberhinaus machen sich bei streifenden Bedeckungen die Durchmesser großer, nahe gelegener Sterne wie z.B. Aldebaran bemerkbar.

- *Video-Beobachtungen* am Fernrohr [Lit. 2] liefern auf Grund der schnellen Bildsequenz (bis zu 30 Bilder pro Sekunde) auch bei totalen Bedeckungen ein für heutige Erfordernisse genügend genaues Mondrandprofil.

Bei streifenden Bedeckungen ist der Vorsprung gegenüber der visuellen Methode nicht so gravierend, da der exakten Bestimmung der Ortskoordinaten eine größere Bedeutung zukommt als der Zeiterfassung (Genauigkeit von 0,1^{sec} ausreichend).

5. Fortsetzung: Zur Beobachtung von Sternbedeckungen ...

- *Freisichtige Bedeckungen* von Sternen 1. Größe sind ebenfalls wertvoll, da sie unter Umständen - bei vergleichbaren Beobachtungen - zur Bestimmung des ΔT im Altertum, welches nur ungenau bekannt ist, herangezogen werden können [Lit. 4]. Dabei sollte ohne Zuhilfenahme optischer Geräte (eine Brille ausgenommen) beobachtet werden. Das Abdecken des beleuchteten Mondes durch ein Gebäude bzw. die ausgestreckte Hand erscheint nach Ansicht des Autors jedoch zulässig, da es wahrscheinlich auch im Altertum praktiziert wurde. Auch die Feststellung des Zeitpunktes einer letzt- bzw. erstmaligen Sichtbarkeit des Sternes nahe dem Mond (Terminator oder heller Rand) ist diesbezüglich wertvoll (Uhrzeit auf eine Minute genau angeben).

Überhaupt bietet das Nacherleben historischer Bedeckungen einen besonderen Reiz. *Beispiel: 1497 03 09, α Tau, $+1,1^{mag}$. Diese Bedeckung, welche von Nikolaus Kopernikus in Bologna / Italien gesehen wurde, und bei der es sich um seine erste überlieferte Himmelsbeobachtung handelt, wiederholte sich nach 500 Jahren fast auf den Tag genau: 1997 03 14 (freundliche Mitteilung von Dr. Christian Pinter, Wien). Mit geeigneter Software, welche auch die Eigenbewegung des Sternes berücksichtigt (z.B. *Uraniastar 1.1*) läßt sich das leicht nachvollziehen (Daten für Bologna: $\lambda = 11,3333$ E, $\varphi = 44,4833$ N, Seehöhe 55m).*

- *Österreichisches Sternbedeckungs-Programm*: Näheres vom Astronomischen Büro, Hasenwartgasse 32, A-1238 Wien. Lokale Vorausdaten für oder nahe Wien und Innsbruck im Himmelskalender, für andere Orte sowie Ortskoordinaten (ca. ± 30 m) unentgeltlich.

6 Literatur

1. Dunham, D. W.: Lunar Occultation Highlights for (Jahresvorschau im Januar-Heft). Sky & Telescope, Cambridge, Mass., USA.
2. Jasicek, H. & Schäfer, R.: Beobachtung von Sternbedeckungen durch den Mond mittels Videotechnik. Der Sternbote 4/1998, Astronomisches Büro, Wien.
3. Mucke, H.: Beobachtung von Bedeckungen durch den Mond. Der Sternbote 9/1986, Astronomisches Büro, Wien.
4. Mucke, H.: Freisichtige Sternbedeckungen. Der Sternbote 10/1998, Astronomisches Büro, Wien.
5. Mucke, H.: Österreichischer Himmelskalender. Astronomisches Büro, Wien.
6. Red.: Streifende Bedeckung des Aldebaran, 1998 02 05. Der Sternbote 2/1998, Astronomisches Büro, Wien.
7. Red.: Streifende Bedeckung des Aldebaran, 1998 02 05. Der Sternbote 3/1998, Astronomisches Büro, Wien.

Mag. Thomas Weiland, Sebastianplatz 5/4/8, A-1030 Wien

Referat: Finsternisperioden

1 Grundlagen

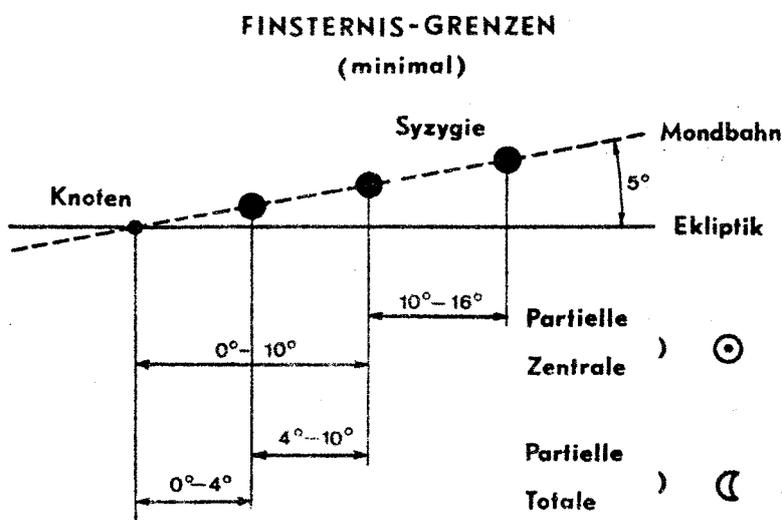
Schon die Geometrie astronomischer Finsternisse (siehe gleichnamiges Referat) lehrt uns, daß etwaige Periodizitäten im Eintreten von Sonnen- und Mondfinsternissen [1] - oder auch Sternbedeckungen - in engem Zusammenhang mit der Dauer des Erdumlaufes um die Sonne, des Mondumlaufes, sowie dem Durchgang von Erde und Mond durch das Perihel (Perigäum) ihrer Bahn stehen müssen.

Wir unterscheiden für den späteren Bezug (mittlere Sonnentage)

den synodischen Monat (Mondphase)	Dauer 29.53059 Tage
den anomalistischen Monat (Perigäum)	Dauer 27.55455 Tage
den siderischen Monat (Sternpassage)	Dauer 27.32153 Tage
den drakonitischen Monat (Knoten)	Dauer 27.21222 Tage
das anomalistische Jahr (Perihel)	Dauer 365.25903 Tage

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß die tatsächlichen Monatslängen von den oben angegebenen mittleren Perioden erheblich abweichen können .

Zudem können Sonnen- bzw. Mondfinsternisse bekanntlich nur eintreten, wenn der Neu- bzw. Vollmond in der Nähe der Knotenlinie (Schnittgerade von Erdbahn- und Mondbahnebene) eintritt. Diese Finsternis-Grenzen können der Abbildung 1 entnommen werden. Partielle Sonnenfinsternisse sind demnach noch bis zu einem Abstand von 16° beidseits des Knotens möglich, zentrale Sonnenfinsternisse bis zu 10° . Für Mondfinsternisse gelten die Grenzen 10° bzw. 4° .



1. Fortsetzung Referat: Finsternisperioden

2 Grundperioden

Eine fundamentale Rolle für die Übertragung von Finsternissen spielt der sogenannte **Saros**. Der Saros beschreibt die Zeitspanne von 223 synodischen Monaten oder hochgerechnet $6585,32^d$ bzw. $18^a 11^d$ (im gregorianischen Kalender unter Annahme von 4 Schalttagen). Diese schon im Altertum bekannte Periode entspricht zudem aber auch ungefähr 242 drakonitischen und 239 anomalistischen Monaten.

Eine etwas genauere Betrachtung ist hier angebracht. Unter der Annahme, der Termin des Neumondes fällt exakt mit dem Durchgang des Mondes durch die Knotenlinie zusammen (Sonnenfinsternis) und den obigen Monatslängen läßt sich errechnen, daß 6 synodische Monate später die Erscheinung des Neumondes in 4.023 Grad Abstand von der Knotenlinie eintritt. 45×6 synodische Monate würden diesen Abstand wieder auf rund 180° ($181.035^\circ / 293$ drakonitische Monate) anwachsen lassen. Diese Periode ist aber in Sicht auf die Jahreslänge nicht optimal.

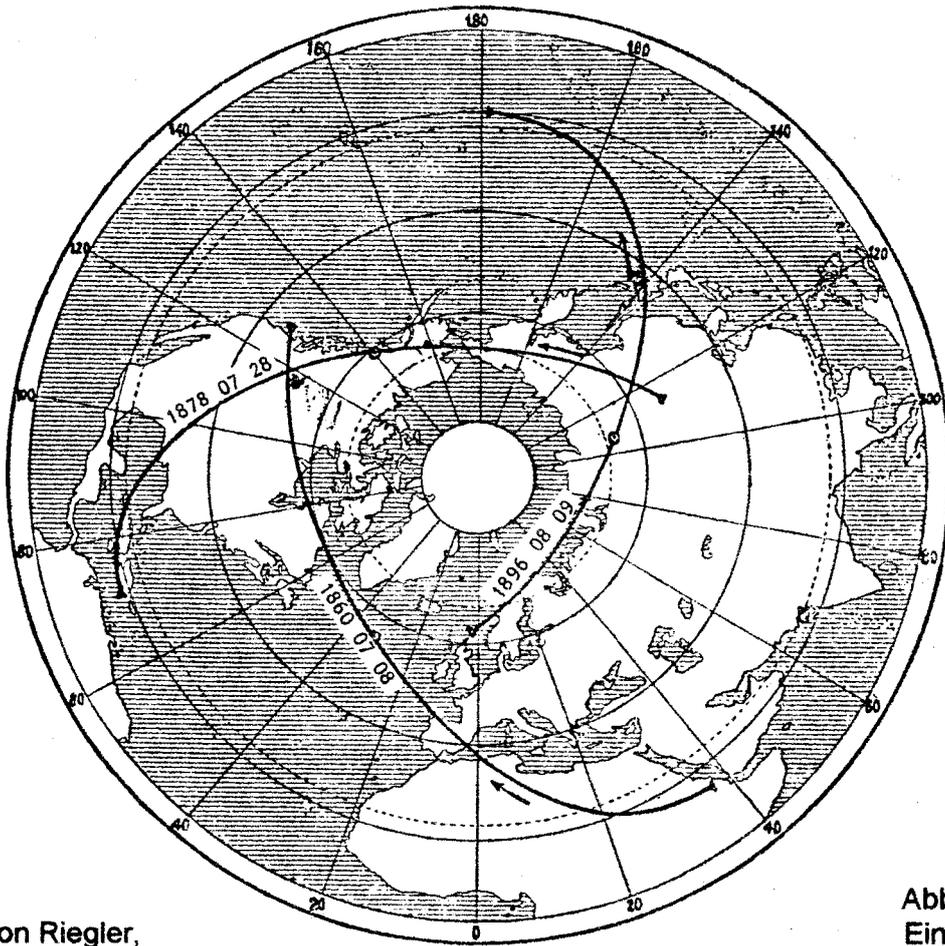
Betrachten wir dagegen den Abstand (in bezug auf den Knoten) zwischen 2 Neumonden, so finden wir diesen zu -30.67° . Damit folgt für die Differenz 38×6 synodische Monate ($38 \times 4.023^\circ$) - 5 synodische Monate ($-5 \times 30.67^\circ$) eine Verlagerung der Finsternis vom Knoten um nur -0.476° (Saros). Der Saros verschiebt wegen der Erddrehung die Finsternis um rund 8 Stunden (120°) nach Westen, siehe Abbildung 2. Nach 3 Zyklen bzw. rund 54 Jahren also wieder in den gleichen Längenbereich. Die Breitenzone verlagert sich allerdings langsam über den Erdball von Norden nach Süden (Saros am aufsteigenden Knoten der Mondbahn) bzw. von Süden nach Norden (Saros am absteigenden Knoten der Mondbahn), siehe Abbildung 3.

Eine komplette Saros-Serie überdeckt zwischen 69 und 86 Finsternisse. Die Serie beginnt üblicherweise mit einigen partiellen Finsternissen (bis zu 20), gefolgt von ringförmigen und/oder totalen Finsternissen. Sie schließt nach einem Zeitraum von 1226 bis zu 1532 Jahren wieder mit einigen partiellen Bedeckungen.

Eine weitere fundamentale Periode läßt sich aus der folgenden Frage ableiten: welcher zeitliche Abstand liegt zwischen dem Eintritt zweier benachbarter Saros-Serien in die Zone partieller bzw. zentraler Finsternisse ?

Die Suche in einschlägigen Werken (z.B. [3]) zeigt eine Zeitspanne von exakt 358 synodischen Monaten oder umgerechnet 10571.95^d bzw. $29^a - 20^d$ (7 Schalttage). Diese Periode regelt natürlich nicht nur die Eintritte (in) benachbarter Saros Serien, sondern auch deren Austritt (ex) aus den Schattenzonen. Sie wird deshalb vereinfacht **Inex** bezeichnet. Eine weitere fundamentale Bedeutung des Inex liegt in der geringen Verlagerung der Finsternis relativ zum Knotendurchgang. Diese beträgt nur $+0.041^\circ$ und läßt sich schon anhand der Umrechnung des Inex in drakonitische Monate ersehen. 10571.95^d liefern fast genau 388.50 drakonitische Monate. Wir finden also nach exakt 358 Lunationen eine weitere Finsternis (der folgenden Saros Serie) am gegenüberliegenden Knoten, die nur

2.Fortsetzung Referat: Finsternisperioden



Aus Gideon Riegler,
Sonnen- und Mond-
Finsternisse, 1912

Abbildung 2
Einfachsarsos

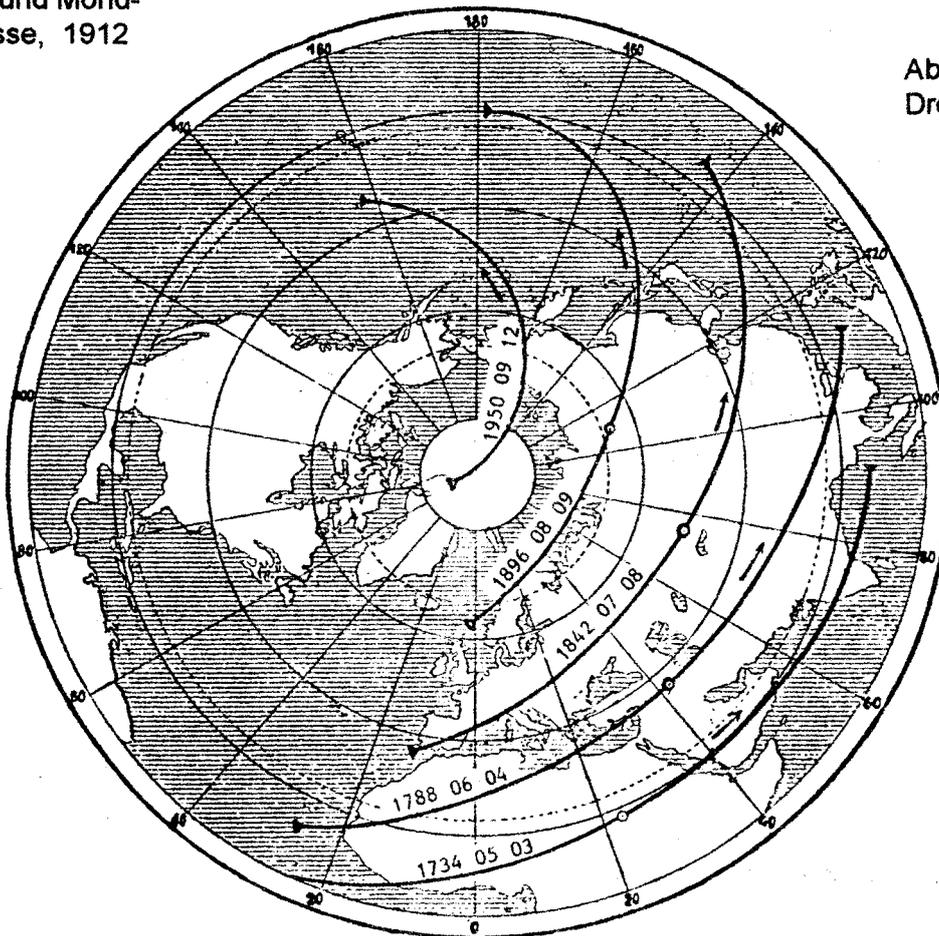


Abbildung 3
Dreifachsarsos

3. Fortsetzung Referat: Finsternisperioden

+0.041° relativ zum Knoten verschoben ist. Die 'Lebensdauer' von Inex-Serien (Familien) beträgt nun immerhin rund 23000 Jahre (ca. 780 Sprünge um +0.041° durch die Finsterniszone x 29 Jahre). Rund 70 Inex-Familien können nebeneinander existieren, das entspricht der Anzahl der Finsternisse in 29 Jahren.

Jede weitere natürliche Periode P läßt sich nun aus den beiden Grundperioden Saros s und Inex i herleiten:

$$P = m \cdot i + n \cdot s \quad (m, n \dots \text{ganzzahlig})$$

Diese Kombinationen werden auch **Van der Bergh - Perioden** ([5] , [6]) benannt.

3 Kombinationen von Saros und Inex

Leider löst die Kenntnis der Grundperioden noch keineswegs das Problem der Vorhersage von Sichtbarkeitsgebieten bei Sonnenfinsternissen. Möchten wir mehr über den Character einer Finsternis kennenlernen, so sollte die Suche nach Perioden zwischen Finsternissen aufgenommen werden, die folgende Eigenschaften erfüllen:

- A) Der Abstand zum Mondknoten soll möglichst konstant bleiben, d.h. die Abweichung von einem ganzzahligen Vielfachen des halben drakonitischen Monats sei gering.
- B) Der Anomalie des Mondes soll sich nicht ändern, d.h. die Abweichung von einem ganzzahligen Vielfachen des anomalistischen Monats sei gering.
- C) Der Anomalie der Sonne soll sich nicht ändern, d.h. die Abweichung von einem ganzzahligen Vielfachen des anomalistischen Jahres sei gering.

Obige Bedingungen gelten sowohl für Mond- als auch Sonnenfinsternisse. Ist die Periode zusätzlich exakt ganzzahlig (im Sinne mittlerer Sonnentage), so erlaubt sie z.B. die Aussage, daß eine Mondfinsternis am gleichen Ort zur selben Stunde stattfindet. Für eine Sonnenfinsternis ist der Tag im laufenden Jahr ebenfalls entscheidend und zwar für die Breite der zentralen Schattenlinie.

Die Bedingung C) ist schon durch einfache Kombinationen von Saros und Inex (z.B. 2s+i oder auch 11s+6i) erfüllt. Leider geben diese Kombinationen zu große Verschiebungen relativ zum Mondknoten, da der Saros eine Abweichung um -0.5° verursacht, ein Inex nur rund +0.1°.

Die Kombination 19i+2s (**Tetradia**) löst das Knotenproblem, zeigt nur wenig Abweichung vom anomalistischen Jahr und entspricht ziemlich genau dem 7865.5-fachen des drakonitischen Monats. Somit sind die Bedingungen A) und C) erfüllt. Diese Periode ist von Interesse für Mondfinsternisse, jedoch ist die Änderung der Mondanomalie (Bedingung B)

4. Fortsetzung Referat: Finsternisperioden

zu groß für die Übertragung von Sonnenfinsternissen. Zudem wechselt bei der Tetrada der Knoten des Finsternisereignisses.

Die folgende Tabelle wurde in Teilen der Publikation [5] entnommen.

Nummer in [5]	Name	Kombination	synod. Monate	Tage	Jahre	Abweichung zu gregor. Kalender
1	Saros	s	223	6585	18	+11
2	Inex	i	358	10572	29	-20
6	Trihex	3i+6s	2412	71228	195	+6
**	Hexhept**	6i+7s	3709	109529	300	-44
7	Gregoriana	6i+11s	4601	135870	372	0
9	Basic	18i	6444	190295	521	+4
11	Tetrada	19i+2s	7248	214038	586	+6
14	Triple Basic	54i	19332	570885	1563	+12
15	Palae-Horol	55i+3s	20359	601213	1646	+25
17	Heliotrope	58i+6s	22102	652685	1787	-3
19	Accuratiss.	58i+9s	22771	672441	1841	+30
21	Horologia	110i+7s	40941	1209012	3310	+59

** Periode und Bezeichnung nach [4]

Sehr günstige Eigenschaften für die Übertragung von Finsterniseigenschaften zeigen dagegen Perioden in der Nähe der **Triple Basic** Periode (**54i**).

Für die Übertragung der **Größe einer Mondfinsternis** oder den **Charakter einer Sonnenfinsternis** ist die **Accuratissima (58i+9s)** besonders geeignet. Sie zeichnet sich durch eine besonders geringe Verschiebung der Finsternis relativ zum Knoten (speziell im Altertum) aus. Die Größe der Mondfinsternis wird mit ± 1 Zoll (12 Zoll bedeutet total) übertragen.

Der **Termin der ekliptikalen Konjunktion (Sonnenfinsternis)** und der **Opposition (Mondfinsternis)** kann äußerst genau im Differenzverfahren übertragen werden. Wir benötigen dafür Perioden, die keine Anomaliedifferenzen aufweisen. Der Knotenversatz ist weniger wichtig. Die Kombination von **Palae-Horologia (55i+3s)** und **Trihex (3i+6s)** erlauben eine Zeitübertragung mit einem mittleren Fehler von nur $\pm 4^m$.

Gesucht sei die Uhrzeit der Finsternis **a**.

Man benötigt eine Finsternis **b** eine Trihex vor **a** und eine Finsternis **c** eine Palae-Horologia vor **a**. Ist mit **d** zudem eine Finsternis eine Trihex vor **c** bekannt, so berechnet sich die Uhrzeit von **a** nach

$$\text{Uhrzeit } a = \text{Uhrzeit } b + \text{Uhrzeit } c - \text{Uhrzeit } d - 17^m$$

5. Fortsetzung Referat: Finsternisperioden

Die Terminübertragung gelingt auch (etwas weniger genau) direkt mit der längsten in der obigen Tabelle angegebenen Periode (**Horologia; 110i+7s**); mittlerer Fehler $\pm 19^m$.

Für die Übertragung der **geographischen Länge der Zentrallinienhauptpunkte einer Sonnenfinsternis** wird eine Periode gesucht, die sowohl die Bedingen A), B) und C) erfüllt und gleichzeitig keinen (wesentlichen) Sprung im gregorianischen Kalenderdatum verursacht. Damit bietet sich die **Heliotrope (58i+6s)** an. Diese Periode überträgt unter Berücksichtigung des in Grade umgewandelten Uhrzeitunterschiedes die Längen bei Zentralität im Aufpunkt mit einem mittleren Fehler von $\pm 3.4^\circ$, im Mittag mit $\pm 1.6^\circ$ und für Zentralität im Untergang mit $\pm 2.1^\circ$. Der Uhrzeitunterschied verlagert die geographischen Längen der Hauptpunkte der Zentrallinie nach Westen / Osten, wenn die zu bestimmende Sonnenfinsternis später / früher als die Ausgangsfinsternis eintritt.

Die Übertragung der **geographischen Breite der Zentrallinienhauptpunkte einer Sonnenfinsternis** gelingt am besten wieder im Differenzverfahren. Die Kombination von **Accuratissima** und **Saros** überträgt die Breiten der Hauptpunkte mit einem mittleren Fehler von nur $\pm 1.0^\circ$.

Gesucht seien die Breiten der Hauptpunkte der Finsternis **a**.

Man benötigt eine Finsternis **b** einen Saros vor **a** und eine Finsternis **c** eine Accuratissima vor **a**. **d** ist die Finsternis einen Saros vor **c**. Somit folgt :

$$\text{Breite des Hauptpunktes (BH) von a} = \text{BH b} + \text{BH c} - \text{BH d}$$

Beispiel:

Totale Sonnenfinsternis +1999 08 11 (JD = 2 451 402), Saros 145

Die benötigten Finsternisdaten wurden dem Band [3] entnommen. Zusätzliche Daten, wie Neumonde und ΔT , sind mit URANIASTAR 1.1 berechnet worden.

In Klammern stehen die Vergleichswerte des Astronomical Almanac 1999.

1) Charakter der Finsternis

$$2\ 451\ 402 - \text{Accuratissima} = 1\ 778\ 961 = +158\ 07\ 13 \quad \text{Total}$$

2) Uhrzeit der ekliptikalen Konjunktion (Neumond)

$$2\ 451\ 402 - \text{Trihex} = 2\ 380\ 174 = +1804\ 08\ 05 \quad 16\text{h}05\ \text{UT} \quad (\text{b})$$

$$2\ 451\ 402 - \text{Palae-Horologia} = 1\ 850\ 189 = +353\ 07\ 17 \quad 4\text{h}00\ \text{UT} \quad (\text{c})$$

$$1\ 850\ 189 - \text{Trihex} = 1\ 778\ 961 = +158\ 07\ 13 \quad 8\text{h}28\ \text{UT} \quad (\text{d})$$

Uhrzeit der ekliptikalen Konjunktion (Neumond)

$$16\text{h}05 + 4\text{h}00 - 8\text{h}28 - 0\text{h}17 = 11\text{h}20\ \text{UT} \quad (11\text{h}09\ \text{UT})$$

Werden statt Neumonde Maxima verwendet, ergibt sich dafür **11h15 UT** (11h03 UT).

3) Geographische Länge der Zentrallinien-Hauptpunkte

2 451 402 - Heliotrope = 1 798 717 = +212 08 14, Maximum 6h50 UT, +1999 08 11 siehe 2), Maximum 11h15 UT. Uhrzeitdifferenz 4h25, entspricht $66,3^\circ$. Zielfinsternis später, daher liegen die Hauptpunkte der Zielfinsternis um diesen Betrag westlicher.

6. Fortsetzung Referat: Finsternisperioden

Zentralität bei Sonnenaufgang, im wahren Mittag und bei Sonnenuntergang
+212 08 14 geographische Länge 0,9°E, 80,9°E, 147,2°E. Abzüglich 66,3° folgt für
+1999 08 11 **65°W, 15°E, 81°E** (65°W, 19°E, 87°E).

4) Geographische Breite der Zentrallinien-Hauptpunkte

Zentralität bei Sonnenaufgang, im wahren Mittag und bei Sonnenuntergang, geographische Breite

2 451 402 - Saros = 2 444 817 = +1981 07 31 42,1°N, 37,3°N, 38,1°N (b)

2 451 402 - Accuratissima = 1 778 961 = +158 07 13 54,5°N, 61,2°N, 67,8°N (c)

1 778 961 - Saros = 1 772 376 = +140 07 02 24,9°N, 33,2°N, 41,7°N (d)

+1999 08 11 **41°N, 48°N, 16°N** (41°N, 47°N, 18°N).

Es darf am Ende des Kapitels nicht unerwähnt bleiben, daß die bestimmenden Parameter der besprochenen Perioden merkbaren **säkularen Variationen** unterliegen. So ändert sich, betrachtet über eine längere Zeitspanne, die Zahl der Tage im synodischen Monat bzw. die Zahl der anomalistischen Umläufe des Mondes pro Saros langsam aber stetig. Damit ändern sich aber auch die Eigenschaften gewisser Perioden (z.B. Fortschritt relativ zum Mondknoten) im Lauf der Jahrtausende. Die Übertragung von Finsternischarakteristika mittels Kombinationen von Saros und Inex stellen deshalb nur Näherungen dar, dies umso mehr, je weiter wir uns in die Vergangenheit oder Zukunft bewegen. Die genaue Bestimmung von Finsterniseigenschaften hat jedenfalls immer über die Bessel'schen Elemente zu erfolgen. Das 'Auffinden' von Finsternissen wird allerdings durch die bekannten Periodizitäten enorm erleichtert.

5 Sternbedeckungsserien durch den Mond

5.1 Grundlage

Die Bedeckung von Sternen in der Ekliptikzone wird im wesentlichen von der ekliptikalen Breite des Sterns und der Neigung der Mondbahn ($i = 5^{\circ} 08.7'$) gegen die Ekliptik gesteuert. Wie wir später sehen werden, spielt natürlich auch die Horizontalparallaxe und der scheinbare Halbmesser des Mondes eine Rolle, sodaß eine Zone von rund 6.5° beidseits der Ekliptik in Frage kommt.

Während die Neigung der Mondbahn vorerst weitgehend als konstant angenommen werden kann, rotiert die Knotenlinie bekanntlich in 18.6 Jahren. Der Mondknoten bewegt sich also rückläufig (nach Westen) mit $19^{\circ}21'$ pro Jahr entlang der Ekliptik. Allfällige Bedeckungen ein und desselben Sterns finden im Abstand von rund 27.3 Tagen (siderischer Monat) statt.

7. Fortsetzung Referat: Finsternisperioden

5.2 Berechnung von Bedeckungsreihen

Im ersten Schritt sind die ekliptikalen Koordinaten des Sterns zu berechnen.

$$\begin{aligned} \tan \lambda &= (\sin \varepsilon \tan \delta + \cos \varepsilon \sin \alpha) / \cos \alpha \\ \sin \beta &= \cos \varepsilon \sin \delta - \sin \varepsilon \cos \delta \sin \alpha \end{aligned} \quad (1)$$

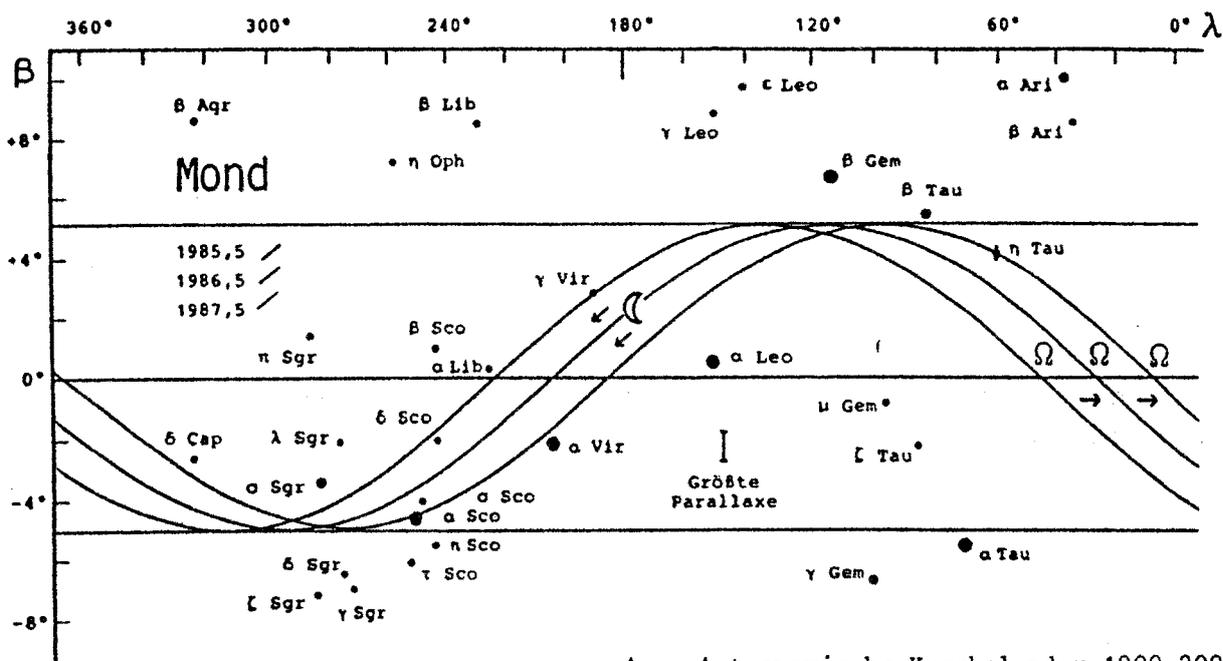
mit $\varepsilon_{2000} = 23^\circ 26' 21.4''$

Die geozentrische Breite B des Mondes ergibt sich aus

$$\tan B = \tan i \sin(\lambda - \Omega) \quad (2)$$

wobei implizit die ekliptikalen Längen von Mond und Stern bereits gleichgesetzt wurden. Für den Eintritt einer Bedeckung muß die Differenz der ekliptikalen Breiten kleiner sein als die Summe der Horizontalparallaxe des Mondes π und sein Halbmesser s ($= 1^\circ 12.6'$ im Mittel)

$$B - \beta = \pm 1.21^\circ \quad (3)$$



Aus: Astronomische Kurzkalender 1900-2000

Abbildung 4

(3) eingesetzt in (2) liefert die Bestimmungsgleichung (4) für die benötigte Knotenlänge des Mondes für den Eintritt der Bedeckung des Sterns mit den ekliptikalen Koordinaten λ, β .

8. Fortsetzung Referat: Finsternisperioden

$$\sin(\lambda - \Omega) = \frac{\tan(\beta \pm 1.21^\circ)}{\tan i} \quad (4)$$

Umgekehrt lässt sich der Mondknoten aus (5) ableiten

$$\Omega = 125.0446^\circ - 19.3553^\circ T \quad (5)$$

mit T in Julianischen Jahren seit 2000,0 und damit der Beginn und das Ende einer Schattenserie mit (6) berechnen.

$$T = \frac{125.04 - \Omega + 360k}{19.3553} \quad k = \dots -2, -1, 0, 1, 2, \dots \quad (6)$$

Die Wahl von $k=0$ liefert den Beginn und das Ende von Bedeckungsserien um das Jahr 2000. Folgeserien können mit $k=1, 2, \dots$ berechnet werden. Es empfiehlt sich jedoch eher jeweils die Dauer der Mondknotendrehung (gegenwärtig rund 18.5995 Jahre) zu addieren.

5.3 Seriadauer und ekliptikale Breite

Ekliptikale Breite, absolut	Dauer Jahre	Serien in 18,6 Jahren
0°00'	1,4	2
2 00	1,5	2
3 00	1,8	2
3 40	2,2	2
3 56		1
4 00	5,9	1
4 40	4,9	1
5 20	3,8	1
6 00	2,2	1
> 6 21 *)		0

*) Wegen veränderlicher Mondbahnneigung und veränderlicher Mondentfernung kann dieser Wert noch überschritten werden, denn für die Summe aus Horizontalparallaxe und Halbmesser des Mondes wurde in dieser Besprechung ein Mittelwert verwendet. Tatsächlich pendelt dieser Wert wegen der wechselnden Distanz Erde-Mond zwischen 68.6' und 78.3'. Dies erlaubt Sternbedeckungen bis zur größten ekliptikalen Breite von $|\beta| = 6^\circ 36'$. Aufeinanderfolgende Serien finden abwechselnd beim aufsteigenden und absteigenden Mondknoten statt.

5.4 Beispiel (aus Band [2] entnommen)

Gesucht seien die Zeitpunkte die Beginn und Ende von Bedeckungsserien des Sternes Spica ($\lambda = 203.841^\circ, \beta = -2.054^\circ, J2000.0, +1,0\text{mag}$) durch den Mond markieren.

9. Fortsetzung Referat: Finsternisperioden

Mit (4) erhalten wir für $\sin(\lambda - \Omega)$ die beiden Lösungen $(-0.63440 / -0.16404)$.

Anmerkung: Gleichung (4) liefert im Intervall $0^\circ - 360^\circ$ Grad entweder 2, 1 oder 0 Lösungen, je nachdem ob der Fall $3^\circ 56' \geq |\beta| \geq 0^\circ 00'$, $6^\circ 21' \geq |\beta| \geq 3^\circ 56'$, $|\beta| \geq 6^\circ 21'$ gültig ist. Allgemein läßt sich feststellen, daß für einen Stern mit der Breite $3^\circ 56' \geq |\beta| \geq 0^\circ 00'$ zwei Bedeckungsserien in 18.6 Jahren stattfinden. Für $\beta = 0^\circ$ dauert eine Serie 1.4 Jahre. Diese Spanne steigt bei $|\beta| = 4^\circ$ auf beinahe 6 Jahre und sinkt darüber wieder auf Null bis zu $|\beta| = 6^\circ 21'$.

Im gegenständlichen Fall folgen aus Gleichung (4) 4 Lösungen für den Mondknoten:

$$\Omega_{2,2} = 14.40^\circ + 360^\circ \quad \Omega_{1,1} = 344.47^\circ \quad \Omega_{1,2} = 243.22^\circ \quad \Omega_{2,1} = 213.28^\circ$$

Für $k=0$ lösen wir Gleichung (6) mit dem Ergebnis

$$T = -12.88 \quad T = -11.34 \quad T = -6.11 \quad T = -4.56$$

Daraus folgen die Termine:

1987.12 bis 1988.66 für die erste Bedeckungsserie und 1993.89 bis 1995.44 für die folgende Serie.

Literatur

- [1] MAYER, R.; Periodizität der Sonnen- und Mondfinsternisse. Sternfreundeseminar H.Mucke, Wien, 1979.
- [2] MEEUS, J.; Mathematical Astronomy Morsels. Willmann-Bell Inc., Richmond, 1997.
- [3] MUCKE, H., MEEUS, J.; Canon of Solar Eclipses -2003 to +2526. Astronomisches Büro, Wien, 1983.
- [4] THEWREWK, A.P.; Eine neue Finsternisperiode. private Mitteilung, 1999.
- [5] VAN DEN BERGH, G.; Eclipses in the Second Millenium B.C. - and how to compute them in a few minutes. T. Willink, Haarlem, Netherlands, 1954.
- [6] VAN DEN BERGH, G.; Periodicity and Variation of Solar (and Lunar) Eclipses. II Vols, T. Willink, Haarlem, Netherlands, 1955.

Referat: Durchgänge von Merkur und Venus vor der Sonne

1 Durchgänge der unteren Planeten vor der Sonne

Alle 116 Tage zieht Merkur und alle 584 Tage Venus zwischen Sonne und Erde durch: der Planet steht dann in *unterer Konjunktion*. Wenn die Bahn dieser Planeten in der Erdbahnebene liegen würde, könnten wir zu jeder dieser Gelegenheiten einen *Durchgang des Planeten vor der Sonne* beobachten. Die Bahn des Merkur ist aber im Mittel $7,0^\circ$, die der Venus $3,4^\circ$ gegen die Erdbahnebene geneigt. Daher sehen wir nur dann einen Durchgang, wenn die Planeten ihre untere Konjunktion in der Nähe eines ihrer Knoten erreichen.

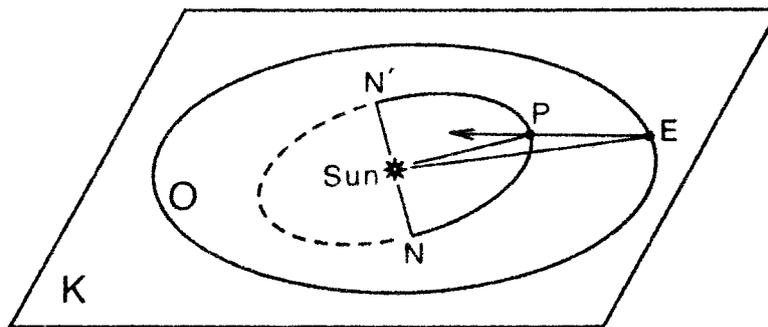


Bild 1: K ist die Erdbahnebene, O die Erdbahn. Der innere Planet P ist in unterer Konjunktion. Sie erfolgt aber zu weit entfernt von der Knotenlinie N-N', um einen Durchgang zu ermöglichen. Der gestrichelte Teil der Planetenbahn ist "unterhalb" der Erdbahnebene K (aus Lit. 1).

2 Durchgänge des Merkur vor der Sonne

2.1 Umstände der Merkurdurchgänge

Derzeit kreuzt die Erde die Knotenlinie jedes Jahr am 8. oder 9. Mai und sechs Monate später wieder, am 10. oder 11. November. Da die Sonne eine merkbare Scheibe von $1/2$ Grad Durchmesser zeigt, können Durchgänge des Merkur einige Tage um diese Termine eintreten: derzeit vom 6. bis 11. Mai und vom 6. bis 15. November. In einem Jahrhundert gibt es 13 oder 14 Durchgänge des Merkur vor der Sonne. Der Planet erscheint uns dann als kleine schwarze Scheibe vor der Sonne. Bei den November-Durchgängen sehen wir Merkur unter einem Durchmesser von $10''$, bei den Mai-Durchgängen von $12''$. Es ist daher ein kleines Fernrohr mit entsprechender Einrichtung zur sicheren Sonnenbeobachtung nötig, um einen Merkurdurchgang zu sehen; mit freiem Auge ist das nicht möglich.

2.2 Merkurdurchgänge 1950 bis 2050

Jean Meeus gibt in seinem sehr empfehlenswerten Buch *Transits* (Lit. 1) die Merkurdurchgänge von 1600 bis 2300 an. Hier gebe ich einen Auszug für die Jahre 1950 bis 2050 und zusätzlich die Sichtbarkeitsmöglichkeiten in Österreich.

In der folgenden Tabelle bedeuten:

Datum: Datum zum *Termin der Mitte des Durchgangs* (Spalte t_m). Achtung auf den eventuellen Datumswechsel bei den Kontaktzeiten!

1. Fortsetzung Referat: Durchgänge von Merkur und Venus vor der Sonne

Zeiten: alle Zeiten sind in DT (Dynamische Zeit, früher Ephemeridenzeit ET) angegeben. Zur Umrechnung in Weltzeit siehe entsprechendes Referat im Seminar!

t_1 : Eintritt des Merkur in die Sonnenscheibe: Beginn des Eintritts (1. *Kontakt*)

t_2 : Eintritt des Merkur in die Sonnenscheibe: Ende des Eintritts (vollständig in der Sonnenscheibe; 2. *Kontakt*)

t_m : Termin des geringsten Abstandes Planetenmitte - Sonnenmitte

t_3 : Austritt des Merkur aus der Sonnenscheibe: Beginn des Austritts (3. *Kontakt*)

t_4 : Austritt des Merkur aus der Sonnenscheibe: Ende des Austritts (der Planet ist nicht mehr vor der Sonnenscheibe sichtbar; 4. *Kontakt*)

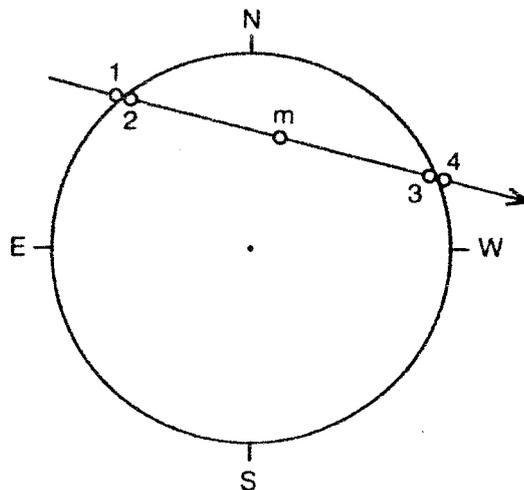


Bild 2: Durchgang der Venus vor der Sonne, 6. Juni 2012. Die Zeichen 1,2,m,3,4 bedeuten die Stellungen der Venus zu den Terminen t_1 , t_2 , t_m , t_3 und t_4 (siehe oben). N(ordnen) ist Positionswinkel 0° , O(sten) = 90° , S(üden) = 180° , W(esten) = 270° (aus Lit. 1).

Tabelle 1: Merkurdurchgänge 1950 bis 2050

Datum	t_1 (DT)	t_2 (DT)	t_m (DT)	t_3 (DT)	t_4 (DT)
1953 Nov 14	15h37m30s	15h41m09s	16h54m17s	18h07m26s	18h11m05s
1957 Mai 6	23 59 22	0 09 18	1 14 45	2 20 11	2 30 07
1960 Nov 7	14 34 23	14 36 24	16 53 27	19 10 34	19 12 35
1970 Mai 9	4 20 00	4 23 02	8 16 50	12 10 30	12 13 31
1973 Nov 10	7 48 06	7 49 47	10 32 58	13 16 14	13 17 56
1986 Nov 13	1 43 57	1 45 53	4 07 57	6 30 05	6 32 00
1993 Nov 6	3 06 51	3 12 45	3 57 31	4 42 19	4 48 12
1999 Nov 15	21 16 05	21 30 48	21 41 57	21 53 07	22 07 51
2003 Mai 7	5 14 01	5 18 28	7 53 28	10 28 23	10 32 51
2006 Nov 8	19 13 09	19 15 02	21 42 09	0 09 21	0 11 14
2016 Mai 9	11 13 26	11 16 38	14 58 33	18 40 20	18 43 32
2019 Nov 11	12 36 36	12 38 18	15 20 57	18 03 42	18 05 23
2032 Nov 13	6 42 18	6 44 22	8 55 22	11 06 26	11 08 30
2039 Nov 7	7 19 18	7 22 31	8 48 04	10 13 39	10 16 52
2049 Mai 7	11 05 10	11 08 42	14 25 43	17 42 37	17 46 09

Für die in Österreich zumindest teilweise sichtbaren Durchgänge sind hier weitere Daten und ungefähre Sichtbarkeitsverhältnisse gegeben (die nicht angegebenen Durchgänge sind bei uns vollständig unsichtbar):

P_1 : Positionswinkel (gemessen im Sinn NOSW) des Eintritts (Termin t_1)

2. Fortsetzung Referat: Durchgänge von Merkur und Venus vor der Sonne

P_4 : Positionswinkel des Austritts (Termin t_4)

Aus P_1 und P_4 läßt sich die Bahn des Merkur über die Sonnenscheibe aufzeichnen.

s' : Halbmesser des Merkur zur Durchgangsmitte (in Bogensekunden)

H_1 : Scheinbare Höhe des Merkur zum Termin t_1 (Eintritt Beginn) für Wien, Uraniasternwarte

H_m : Scheinbare Höhe des Merkur zum Termin t_m (Mitte) für Wien, Uraniasternwarte

H_4 : Scheinbare Höhe des Merkur zum Termin t_4 (Austritt Ende) für Wien, Uraniasternwarte

Aus H_1 , H_m und H_4 lassen sich die Sichtbarkeitsverhältnisse für Österreich gut ablesen. Beispiel 1960

Nov. 7: Beim Eintritt steht Merkur in 7° Höhe, der Beginn des Durchgangs ist also sichtbar. Bei der Mitte des Durchgangs ist Merkur bereits 14° unter dem Horizont. Er geht also kurz nach dem Beginn des Eintritts unter, der Rest des Durchgangs ist also nicht mehr zu sehen.

Tabelle 2: in Österreich sichtbare Merkurdurchgänge 1950 bis 2050

Datum	P_1	P_4	s'	H_1	H_m	H_4
1960 Nov 7	148,3	262,5	4,98	+ 7°	- 14°	- 37°
1970 Mai 9	70,3	236,7	6,03	+ 8	+46	+55
1973 Nov 10	116,2	293,0	4,98	+14	+25	+21
1986 Nov 13	84,9	322,6	4,97	-42	-18	+ 5
2003 Mai 7	15,3	290,8	6,02	+16	+42	+58
2016 Mai 9	83,2	224,4	6,04	+59	+32	- 5
2019 Nov 11	109,8	298,7	4,98	+19	- 1	-27
2032 Nov 13	77,5	329,3	4,97	+ 5	+20	+24
2039 Nov 7	173,2	237,9	4,98	+12	+21	+25
2049 Mai 7	31,0	275,7	6,02	+59	+37	+ 4

Der nächste Merkurdurchgang 2003 wird von Österreich aus vollständig sichtbar sein.

2.3 Kurze Geschichte der Beobachtung der Merkurdurchgänge

Der erste vorhergesagte Merkurdurchgang war der vom 7. Nov. 1631: Johannes Kepler hat ihn berechnet, aber nicht mehr beobachten können (er starb 1630). Es wurde die erste Beobachtung eines Merkurdurchganges: Cysat in Innsbruck, Remus in Ruffach im Elsaß und Pierre Gassendi in Paris.

Es war der Merkurdurchgang vom 7. Nov. 1677, bei dessen Beobachtung von St. Helena aus Halley die Idee hatte, Durchgänge zur Bestimmung der Sonnenparallaxe heranzuziehen (Lit. 2).

3 Durchgänge der Venus vor der Sonne

3.1 Umstände der Venusdurchgänge

Venusdurchgänge sind viel seltener als die des Merkur: pro Jahrtausend finden nur 10 bis 18 Durchgänge statt. Derzeit wiederholen sich die Durchgänge im Rhythmus von 8, 105½, 8 und 121½ Jahren.

Venus ist uns im Durchgang viel näher als Merkur und von größerem absolutem Durchmesser: sie erscheint uns daher während eines Durchgangs unter einem Winkel von ca. $60''$ (eine Bogenminute). Mit entsprechendem Lichtschutz (Sonnenfilter!) ist Venus im Durchgang mit freiem Auge zu sehen. Es ist daher nicht ausgeschlossen, dass in alter Zeit Durchgänge der Venus beobachtet wurden.

3. Fortsetzung Referat: Durchgänge von Merkur und Venus vor der Sonne

3.2 Venusdurchgänge 1600 bis 2200

Jean Meeus gibt in Lit. 1 die Venusdurchgänge von -2000 bis +4000 an. Hier wird ein Auszug für die Jahre 1600 bis 2200 angegeben.

Die Spalten und Symbole der Tabelle sind im Abschnitt 2.2 bei Merkur beschrieben:

Tabelle 3: Venusdurchgänge 1600 bis 2200

Datum	t_1 (DT)	t_2 (DT)	t_m (DT)	t_3 (DT)	t_4 (DT)
1631 Dez 7	3h52m50s	5h00m20s	5h20m49s	5h41m18s	6h48m48s
1639 Dez 4	14 57 53	15 16 14	18 26 47	21 37 20	21 55 41
1761 Jun 6	2 02 08	2 20 22	5 19 30	8 18 37	8 36 52
1769 Jun 3	19 15 36	19 34 38	22 25 36	1 16 33	1 35 35
1874 Dez 9	1 48 55	2 18 36	4 07 22	5 56 10	6 25 51
1882 Dez 6	13 56 29	14 16 57	17 05 54	19 54 52	20 15 20
2004 Jun 8	5 14 34	5 34 00	8 20 49	11 07 38	11 27 04
2012 Jun 6	22 10 44	22 28 41	1 30 43	4 32 45	4 50 42
2117 Dez 11	0 02 17	0 25 24	2 52 08	5 18 54	5 42 00
2125 Dez 8	13 19 15	13 42 54	16 05 49	18 28 44	18 52 23

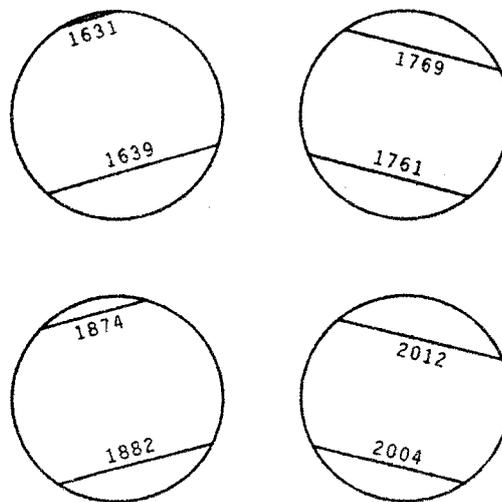


Bild 3: Venusdurchgänge 1631 bis 2012 (aus Lit. 1).

Für die nächsten beiden Durchgänge sind hier wieder wie bei Merkur weitere Daten und Sichtbarkeitsverhältnisse für Österreich angegeben:

Tabelle 4: Die Venusdurchgänge 2004 und 2012

Datum	P_1	P_4	s'	H_1	H_m	H_4
2004 Jun 8	116,3	216,3	29,11	+20°	+50°	+64°
2012 Jun 6	40,7	290,1	29,13	-18	-10	+16°

Der Venusdurchgang 2004 ist also in Österreich vollständig sichtbar, bei dem von 2012 zumindest der Austritt.

4. Fortsetzung Referat: Durchgänge von Merkur und Venus vor der Sonne

3.3 Kurze Geschichte der Beobachtung der Venusdurchgänge

Der Venusdurchgang von 1631 wurde ebenfalls von Kepler vorhergesagt, konnte aber in Europa nicht gesehen werden. Jeremiah Horrocks berechnete und beobachtete als erster den Venusdurchgang von 1639 nahe Liverpool, England.

Die nächsten Venusdurchgänge (1761, 1769, 1874, 1882) wurden nach einer Idee von Edmond Halley zur Bestimmung der Sonnenparallaxe benutzt. Durch das dritte Kepler'sche Gesetz ist das Abstandsverhältnis Sonne-Venus / Sonne-Erde bekannt. Wird ein Venusdurchgang in stark unterschiedlichen geographischen Breiten beobachtet, so kann aus den jeweiligen topozentrischen Abläufen des Durchganges die Sonnenparallaxe berechnet werden. Erstes brauchbares Ergebnis beim Venusdurchgang 3./4. Jun. 1769: $8,681'' \pm 0,052''$ (Lit. 2).

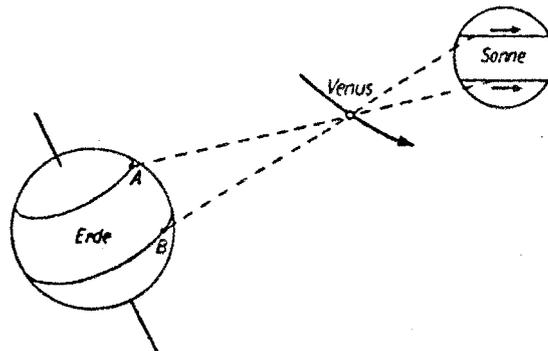


Bild 4: Bestimmung der Sonnenparallaxe aus Venusdurchgängen (schematisch; aus Lit. 3)

4 Berechnung von Durchgängen

4.1 Elemente zur Berechnung von Durchgängen

Das Werk von Meeus (Lit. 1) gibt auch die Elemente zur Berechnung der dort aufgelisteten Durchgänge an. Basis ist die Planetentheorie VSOP87. Für jeden Durchgang werden die Elemente zur Berechnung der geozentrischen und topozentrischen Erscheinungen angegeben.

Für die beiden nächsten Venusdurchgänge lauten die Elemente:

Tabelle 5: Elemente der Venusdurchgänge 2004 und 2012 (1. Teil)

Datum	T_0	x	y	d	M
2004	8	-229.4642	-589.2948	+22.8860	300.2378
Jun		+233.6932	- 56.9904	+ 0.0036	14.9980
8		+ 0.01512	+ 0.06953	- 0.00001	0.00000
		- 0.000079	+ 0.000071		
2012	2	+253.0583	+507.0395	+22.6775	210.3335
Jun		+232.6966	- 60.4263	+ 0.0042	14.9981
6		+ 0.01583	+ 0.06675	- 0.00001	0.00000
		- 0.000080	+ 0.000076		

5. Fortsetzung Referat: Durchgänge von Merkur und Venus vor der Sonne

Tabelle 6: Elemente der Venusdurchgänge 2004 und 2012 (2. Teil)

Datum	d_1	M_1	R	Δ
2004	+22.7223	300.1687	1.0150844	0.2888829
Jun	- 0.0122	15.0684	+0.0000053	+0.0000006
8	0.00000	0.00000	0.0000000	+0.00000027
2012	+22.8183	210.4097	1.0147447	0.2887038
Jun	- 0.0126	15.0682	+0.0000056	+0.0000011
6	0.00000	0.00000	0.0000000	+0.00000027

T_0 ist die *Referenzzeit* des Durchgangs: es ist die der geozentrischen Durchgangsmitte nächstliegende ganzzahlige Stunde DT (Dynamische Zeit).

Die nächsten acht Werte (hier aus Platzgründen auf zwei Tabellen aufgeteilt) sind in polynomischer Form als Funktionen der Zeit angegeben. Zu einem beliebigen Termin bedeutet t den *Zeitunterschied* (gemessen in Stunden) von der Referenzzeit T_0 :

$$(1) \quad t = \text{Termin} - T_0$$

Die weiteren Elemente werden nun abhängig von t berechnet:

$$(2) \quad \text{z.B. } x = A + B t + C t^2 + D t^3$$

$$(3) \quad \text{z.B. } d = A + B t + C t^2$$

Die Konstanten A, B, C bzw. D sind der obigen Tabelle 5 bzw. 6 zu entnehmen.

x und y sind die *rechtwinkligen Koordinaten der Mitte der Planetenscheibe* in Bezug auf die Sonnenmitte. Sie gelten für einen geozentrischen Beobachter und sind in Bogensekunden angegeben. Die x -Achse ist positiv nach Westen, die y -Achse positiv nach Norden definiert.

Die weiteren Werte bedeuten:

d : Deklination der Sonnenmitte (Grade)

M : Ephemeriden-Stundenwinkel der Sonnenmitte (Stunden)

d_1 : Deklination der Venusmitte (Grade)

M_1 : Ephemeriden-Stundenwinkel der Venusmitte (Stunden)

R : Entfernung Erde-Sonne (Astronomische Einheiten AE)

Δ : Entfernung Erde-Planet (AE)

4.2 Berechnung des Planetenorts (gesehen von der Erdmitte = geozentrisch)

Zu einer bestimmten Zeit t berechnen wir die Werte x , y , R und Δ .

Dann können wir ermitteln:

1. Die *Winkeldistanz Sonnenmitte-Planetemitte* für einen geozentrischen Beobachter, in Bogensekunden:

$$(4) \quad m = \sqrt{x^2 + y^2}$$

2. Den *Positionswinkel der Planetenmitte* in Bezug auf die Sonnenmitte, gemessen von Norden über Osten:

$$(5) \quad \tan P = -x / y$$

6. Fortsetzung Referat: Durchgänge von Merkur und Venus vor der Sonne

(Funktion $\arctan2(x,y)$ verwenden, die P gleich im richtigen Quadranten ergibt).

3. Den *scheinbaren Halbmesser der Sonne*, gemessen in Bogensekunden:

$$(6) \quad s = 959,63'' / R$$

4. Den *scheinbaren Halbmesser des Planeten*, gemessen in Bogensekunden:

$$(7) \quad s' = 8,41'' / D \quad (\text{für Venus})$$

Beispiel: Berechnung des Venusorts in Bezug auf die Sonnenmitte beim Durchgang 2004 zum Termin 2004 Jun 8, 11^h00^m00^s DT. Der Unterschied DT-UT wird 2004 voraussichtlich 69 Sekunden betragen. Der Termin 11^h00^m00^s DT entspricht also 10^h58^m51^s UT = 11^h58^m51^s MEZ. In den Beispielen sind mehr Dezimalen als nötig angegeben, um die eigene Rechnung leicht überprüfen zu können.

Wir berechnen die Anzahl der Stunden t seit der Referenzzeit T_0 zum Termin 11h DT:

$$t = 11,000000 - 8 = 3,000000 \text{ Stunden}$$

Für das Element x sind die Koeffizienten aus Tabelle 5:

$$A = -229,4642 \quad B = +233,6932 \quad C = +0,01512 \quad D = -0,000079$$

Für die gegebene Zeit $t = 3$ finden wir daher:

$$x = A + B t + C t^2 + D t^3 = 471,749347 \text{ Bogensekunden}$$

Analog finden wir $y = -759,638313''$. Die *rechtwinkligen Koordinaten der Venusmitte* in Bezug auf die Sonnenmitte sind daher $x = +471,75''$ (westlich der Sonnenmitte) und $y = -759,64''$ (südlich der Sonnenmitte).

Der *Winkelabstand der Venusmitte zur Sonnenmitte* beträgt

$$m = \sqrt{x^2 + y^2} = 894,202333 \text{ Bogensekunden}$$

und der *Positionswinkel* ergibt sich zu $P = 211,841041$ Grad. Venus befindet sich also südwestlich der Sonnenmitte.

Da der *Halbmesser der Sonne* zu diesem Termin $s = 945,354858$ Bogensekunden beträgt und der *Halbmesser der Venus* $s' = 29,117157''$, ist Venus noch auf der Sonnenscheibe sichtbar (da $m = 894,20'' < s + s' = 945,35'' + 29,11''$).

4.3 Berechnung des Termins der kleinsten Distanz Sonne-Planet (geozentrisch)

Dieser Termin t_m ist in diesem Referat in Tabelle 1 und 3 und natürlich auch im Buch von Meeus angegeben. Hier wird gezeigt, wie er aus den Elementen (Tab. 5 und 6) zu berechnen ist.

7. Fortsetzung Referat: Durchgänge von Merkur und Venus vor der Sonne

Zunächst berechnen wir den *Termin der kleinsten Distanz der Mitten Sonne-Planet*.

1. Wir beginnen mit einer beliebigen Zeit t , z.B. $t = 0$ Stunden.
2. Dazu berechnen wir die Größen x und y zum Termin t wie in Formel (2) angegeben.
3. Zusätzlich ermitteln wir die *stündlichen Änderungen von x und y , x' und y'* mit Hilfe von:

$$(8) \quad x' = B + 2 C t + 3 D t^2$$

Dabei sind B , C und D die Elemente wie bei Formel (2) bzw. Tabelle 5. Für y' verwenden wir die entsprechenden Konstanten von y aus der Tabelle 5.

4. Jetzt können wir die Korrektur zur Zeit t berechnen:

$$(9) \quad \tau_m = - (x x' + y y') / n^2$$

wobei

$$(10) \quad n^2 = x'^2 + y'^2$$

5. Nun ergibt sich die korrigierte Zeit t zu $t + \tau_m$. Wir wiederholen die Berechnung, bis die Korrektur τ_m sehr klein wird, z.B. weniger als 0,0001 Stunden. Der gesuchte Termin der kleinsten Mittendistanz ist nun $T_0 + t$ (in Stunden DT). Nach Subtraktion der Korrektur ΔT (Differenz Dynamische Zeit - Weltzeit) erhalten wir UT (Weltzeit).

Beispiel: Berechne den Termin der kleinsten Mittendistanz beim Venusdurchgang 2004.

Wir beginnen mit $t = 0$ und erhalten in drei Wiederholungen:

t	x	y	x'	y'	n^2	τ_m
0	-229,4642	-589,2948	233,6932	-56,9904	57860,4174	0,3463521
0,3463521	-148,5223	-609,0252	233,7036	-56,9422	57859,8092	0,00053495
0,34688705	-148,3972	-609,0557	233,7037	-56,9421	57859,8082	0,000001

Der Termin der kleinsten Mittendistanz ist daher $t = 0,346887$ Stunden. Mit $T_0 = 8\text{h DT}$ erhalten wir die gewünschte Zeit: 8,346887 Stunden = $8^{\text{h}}20^{\text{m}}49^{\text{s}}$ DT, wie in Tabelle 3. Mit einem ΔT von 69^{s} erhalten wir daraus $8^{\text{h}}19^{\text{m}}40^{\text{s}}$ UT.

4.4 Berechnung der geozentrischen Kontaktzeiten

Für jede Kontaktzeit t_1 , t_2 , t_3 und t_4 berechnen wir:

1. Wir beginnen wieder bei einem beliebigen Termin, z.B. $t = 0$.
2. Dazu berechnen wir x , y , x' , y' , R , Δ , s und s' , wie oben angegeben.
3. Jetzt wird ermittelt:

8. Fortsetzung Referat: Durchgänge von Merkur und Venus vor der Sonne

$$(11) \quad \begin{array}{ll} L = s + s' & \text{für die äußeren Kontakte } t_1 \text{ und } t_4 \\ L = s - s' & \text{für die inneren Kontakte } t_2 \text{ und } t_3 \end{array}$$

$$(12) \quad n^2 = x'^2 + y'^2$$

$$(13) \quad S = (x y' - y x') / (n L)$$

Zuletzt berechnen wir die Korrektur τ in Stunden zum gewählten Wert von t :

$$(14) \quad \begin{array}{ll} \tau = - (x x' + y y') / n^2 - L / n \sqrt{1 - S^2} & \text{für den Eintritt } (t_1 \text{ und } t_2) \\ \tau = - (x x' + y y') / n^2 + L / n \sqrt{1 - S^2} & \text{für den Austritt } (t_3 \text{ und } t_4) \end{array}$$

Beispiel: Berechne den Eintrittstermin t_1 des Venusdurchgangs 2004.

Wir beginnen mit $t = 0$ und erhalten:

$$\begin{array}{l} x = -229,4642 \\ y = -589,2948 \\ x' = 233,6932 \\ y' = -56,9904 \\ R = 1,0150844 \\ \Delta = 0,2888829 \\ s = 945,369666 \\ s' = 29,112142 \\ L = 974,481808 \\ n^2 = 57860,4174 \\ S = 0,64329797 \\ \tau = -2,75530586 \end{array}$$

Die Wiederholung mit $t = -2,75530586$ liefert ein $\tau = -0,00190925$ und endlich $t = -2,75721511$ Stunden. Für den Eintrittstermin t_1 erhalten wir daher $8 - 2,75721511 = 5,2427849$ h DT = $5^h 14^m 34^s$ DT, wie in Tabelle 3 (mit $\Delta T = 69^s$ erhalten wir $5^h 13^m 25^s$ UT)

4.5 Berechnung der lokalen Sichtbarkeit eines Durchgangs (topozentrisch)

Zunächst ermitteln wir für den Beobachtungsort die *rechtwinkligen geozentrischen Koordinaten* $\rho \sin \varphi'$ und $\rho \cos \varphi'$ zu

$$(15) \quad \tan u = 0,996\,647\,19 \tan \varphi$$

$$(16) \quad \rho \sin \varphi' = 0,996\,647\,19 \sin u + (h / 6378140) \sin \varphi$$

$$(17) \quad \rho \cos \varphi' = \cos u + (h / 6378140) \cos \varphi$$

wobei φ die geographische Breite bedeutet und h die Seehöhe in Metern.

Beispiel: Wien Urania-Sternwarte, $\varphi = 48,212^\circ$, $h = 194$ m

$$u = 0,83978915$$

9. Fortsetzung Referat: Durchgänge von Merkur und Venus vor der Sonne

$$\rho \sin \varphi' = 0,74202887$$

$$\rho \cos \varphi' = 0,66764009$$

Für die Berechnung der *lokalen Sichtbarkeit* folgt die weitere Rechnung derjenigen, die für einen geozentrischen Beobachter gilt, mit folgenden Ausnahmen: ausser x , y usw. werden noch die Werte d , M , d_1 und M_1 für den Termin t berechnet. Dann ermitteln wir die *lokalen Stundenwinkel* von Sonne bzw. Planet aus:

$$(18) \quad H = M - \lambda - 0,004\,178\,07 \Delta T \quad (\text{Sonne})$$

$$(19) \quad H_1 = M_1 - \lambda - 0,004\,178\,07 \Delta T \quad (\text{Planet})$$

Darin bedeutet λ die *geographische Länge* des Beobachtungsortes (negativ östlich von Greenwich, z.B. Wien = $-16,385^\circ$) und ΔT ist wieder die Differenz $DT - UT$, in Sekunden.

Jetzt ermitteln wir die Größen

$$(20) \quad \zeta = \rho \sin \varphi' \sin d + \rho \cos \varphi' \cos H \cos d$$

$$(21) \quad \zeta_1 = \rho \sin \varphi' \sin d_1 + \rho \cos \varphi' \cos H_1 \cos d_1$$

Dann ersetzen wir die geozentrischen Distanzen R und Δ durch

$$(22) \quad R = \zeta / 23455$$

$$(23) \quad \Delta = \zeta_1 / 23455$$

wobei 23455 die Anzahl der Äquatorraden der Erde in einer Astronomischen Einheit sind.

Um die *Parallaxe* zu berücksichtigen, ersetzen wir die Größen x und y (in Bogensekunden) durch $x + \Delta x$ und $y + \Delta y$, wobei

$$(24) \quad \Delta x = -8,794\,148 \rho \cos \varphi' (\sin H / R - \sin H_1 / \Delta)$$

$$(25) \quad \Delta y = +8,794\,148 [\rho \sin \varphi' (\cos d / R - \cos d_1 / \Delta) - \rho \cos \varphi' (\sin d \cos H / R - \sin d_1 \cos H_1 / \Delta)]$$

Die *stündlichen Änderungen* x' und y' (in Bogensekunden) müssen ersetzt werden durch $x' + \Delta x'$ und $y' + \Delta y'$, wobei

$$(26) \quad \Delta x' = -2,3 \rho \cos \varphi' (\cos H / R - \cos H_1 / \Delta)$$

$$(27) \quad \Delta y' = +2,3 \rho \cos \varphi' (\sin d \sin H / R - \sin d_1 \sin H_1 / \Delta)$$

Beispiel: Berechne den äußeren Kontakt beim Eintritt der Venus in die Sonne (t_1) beim Durchgang vom 8. Juni 2004 für Wien, Urania-Sternwarte. Die rechtwinkligen geozentrischen Koordinaten haben wir im vorigen Beispiel ermittelt.

Wir beginnen mit $t = 0$ und nehmen eine Korrektur ΔT von 69^s an. Daraus ermitteln wir:

$$x = -229,4642$$

$$y = -589,2948$$

$$x' = 233,6932$$

$$y' = -56,9904$$

10. Fortsetzung Referat: Durchgänge von Merkur und Venus vor der Sonne

$R = 1,0150844$
 $\Delta = 0,2888829$
 $s = 945,369666$
 $s' = 29,112142$
 $d = 22,8860$
 $M = 300,2378$
 $d_1 = 22,7223$
 $M_1 = 300,1687$
 $H = 316,334513$
 $H_1 = 316,265413$
 $\zeta = 0,73351543$
 $\zeta_1 = 0,73158278$
 R (korrigiert) = 1,01505313
 D (korrigiert) = 0,28885171
 $\Delta x = -10,0583253$
 $\Delta y = -10,8694121$
 $\Delta x' = 2,74683298$
 $\Delta y' = 1,01336943$
 x (korrigiert) = -239,522525
 y (korrigiert) = -600,164212
 x' (korrigiert) = 236,440033
 y' (korrigiert) = -55,9770306
 s (korrigiert) = 945,398792
 s' (korrigiert) = 29,1152856
 $L = 974,514078$
 $n^2 = 59037,3171$
 $S = 0,65591821$
 $\tau_m = -2,63722091$

Mit dem neuen $t = -2,63722091$ erhalten wir die neuerliche Korrektur $\tau_m = -0,0137774$. Mit $t = -2,65099831$ erhalten wir ein τ_m von 0,000000 Stunden. Daher ist $t_1 = 8 - 2,65099831 = 5,34900181$ Stunden DT = 5^h20^m56^s DT, das entspricht 5^h19^m47^s UT.

Auf die gleiche Art finden wir die Kontaktzeiten für den Venusdurchgang 2004 für Wien:

Kontaktzeit	Geozentrisch	Wien	Geozentrisch	Wien
	DT	DT	UT	UT
t1	5h14m34s	5h20m56s	5h13m25s	5h19m47s
t2	5 34 00	5 40 40	5 32 51	5 39 31
t3	11 07 38	11 04 48	11 06 29	11 03 39
t4	11 27 04	11 24 13	11 25 55	11 23 04

5 Literatur

1. Jean Meeus: Transits. Willmann-Bell, Richmond 1989.
2. Gerhard Winkler: Planetendurchgänge vor der Sonne. Sternfreundeseminar 1979.
3. Karl Stumpff: Jos. Joh. von Littrow - Die Wunder des Himmels. Dümmler, Bonn.

Beilage: Bauanleitung: Ideale Lochkamera

Zur gefahrlosen Beobachtung der Sonne mit größeren Flecken und natürlich auch von Sonnenfinsternissen hervorragend geeignet ist eine Lochkamera. Schon vor Erfindung des Fernrohrs hat JOHANNES KEPLER im Jahre 1600 eine Sonnenfinsternis mit Hilfe eines Geräts nach dem Lochkamera-Prinzip beobachtet.

Ein derartiges Instrument kann aus einfachsten Mitteln selbst hergestellt werden.

Materialien:

- Leichte, handliche Röhre, z. B. Posterrolle, notfalls auch Kern einer Küchenrolle/WC-Papier-Rolle.
- ca. 10 × 10 cm lichtdichte schwarze Folie, z. B. schwarzer Müllsack
- ca. 10 × 10 cm durchscheinende, glatte weiße Plastikfolie, z. B. weißer Müllsack
- 2 Gummiringe
- Stecknadel

Die Plastikfolien werden über je ein Röhrenende gespannt und mit Gummiringen befestigt, in die Mitte der schwarzen Folie wird mit der Stecknadel ein kleines Loch gestochen, und schon kann ein Bild der Sonne auf die weiße Fläche projiziert und dort bequem betrachtet werden.

Die *Bildgröße* ist lediglich eine Funktion der Röhrenlänge l . Bei einem mittleren Durchmesser der Sonne von $32'$ ergibt sich die Bildgröße s zu ca. $s = l/107$.

Macht man das Loch größer, wird zwar das Bild heller, aber unscharf, da nun jeder Punkt des Sonnenbildchens Licht aus einem größeren Bereich der Sonnenscheibe empfängt. Wenn wir die Sonnenstrahlen als parallel einfallend betrachten, ergibt sich: die Breite des unscharfen Randes entspricht dem Lochdurchmesser. Ideal wäre in dieser Hinsicht ein *möglichst kleines Loch*.

Ein kleines Loch bewirkt jedoch *Beugungseffekte!* Der Halbmesser des zentralen Beugungsbildchens ergibt sich zu $r = 0.251643 \cdot \lambda/D$, mit r in $''$, Wellenlänge λ in nm und Lochdurchmesser D in mm .

Ideal scharf ist nun eine Lochkamera, wenn die Randunschärfe aufgrund der Beugung, also der Durchmesser des zentralen Beugungsscheibchens $\beta = 2 \cdot l \tan r$, gleich groß ist wie die durch den Lochdurchmesser D erzeugte.

Setzen wir nun $\beta = D$, ergibt sich der Zusammenhang (Argument des \tan in $''$):

$$l_{\text{ideal}} = \frac{D_{\text{ideal}}}{2 \tan(0.251643 \cdot \lambda/D_{\text{ideal}})}$$

Beispiele ($\lambda = 550nm$, Werte in mm):

Röhrenlänge l	geometrische Bildgröße s	Beugungsbilder β bei Lochdurchmesser D					D_{ideal}
		0.1	0.2	0.5	1	2	
10 cm	0.93 mm	1.342	0.67	0.27	0.13	0.07	0.37
25 cm	2.33 mm	3.355	1.68	0.67	0.34	0.17	0.58
50 cm	4.65 mm	6.71	3.36	1.34	0.67	0.34	0.82
75 cm	6.98 mm	10.07	5.03	2.01	1.01	0.50	1.00
100 cm	9.31 mm	13.42	6.71	2.68	1.34	0.67	1.16
150 cm	14.0 mm	20.13	10.07	4.03	2.01	1.01	1.42
200 cm	18.6 mm	26.84	13.42	5.37	2.68	1.34	1.64
	l_{ideal}	7.45	29.8	186.3	745.2	2981	

Referat: Verfinsterungen und Bedeckungen der Galilei'schen Jupitermonde

Inhaltsverzeichnis

- 1 Jupitermonderscheinungen
 - 1.1 Verfinsterungen durch Jupiter
 - 1.2 Schattenvorübergänge auf Jupiter
 - 1.3 Bedeckungen durch Jupiter
 - 1.4 Durchgänge vor Jupiter
- 2 Spezielle Jupitermonderscheinungen
 - 1.5 Gegenseitige Verfinsterungen
 - 1.6 Gegenseitige Bedeckungen
- 3 Die Perioden der Jupitermondverfinsterungen
- 4 Jupiter ohne Monde
- 5 Zeitbestimmung von Jupitermondverfinsterungen
- 6 Die Längenbestimmung auf See im 17. Jahrhundert durch Beobachtung von Jupitermondverfinsterungen
- 7 Erstmalige Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit
- 8 Beobachtungsprogramm Jupitermonde

1 Allgemeine Jupitermonderscheinungen

1.1 Verfinsterungen durch Jupiter

Da die Mondbahnen gegenüber dem Jupiteräquator nur sehr gering geneigt sind und ebenso der Jupiteräquator zur Bahnebene, treten die Monde bei jedem Umlauf in den Kernschatten. Dabei werden die Monde innerhalb von einigen Minuten völlig verfinstert und können visuell nicht mehr beobachtet werden. Lediglich Mond IV bewegt sich wegen seines großen Abstandes für einige Jahre seines Umlaufs über oder unter dem Schattenkegel, somit ist er dann über oder unter den Jupiterpolen sichtbar. Während eines Jupiterjahres (11,86 Jahre) kommt es bei

Mond I	zu 2400 Verfinsterungen
Mond II	zu 1200 Verfinsterungen
Mond III	zu 600 Verfinsterungen
Mond IV	zu 125 Verfinsterungen

1. Fortsetzung Referat: Verfinsterungen und Bedeckungen der Galilei'schen Jupitermonde

Der Eintritt in den Kernschatten ist von der Umlaufgeschwindigkeit sowie vom Durchmesser des verfinsterten Mondes abhängig und dauert etwa bei

Mond I	4.0 Minuten
Mond II	4.1 Minuten
Mond III	9,1 Minuten
Mond IV	8.4 Minuten

Die Verweildauer innerhalb des Kernschattens beträgt bei

Mond I	2h16m (2h06m)
Mond II	2h52m (2h08m)
Mond III	3h28m (2h)
Mond IV	4h42m (-)

Klammerwerte geben die Verfinsterungszeit bei größter Neigung des Jupiteräquators an.

1.1 Schattenvorübergänge auf Jupiter

Es ist sehr eindrucksvoll, den Schatten des verfinsterten Mondes über die Oberfläche des Jupiter zu verfolgen. Die Schatten erscheinen dabei wie exakt ausgestanzte Löcher. Wegen der unterschiedlich großen Mond Durchmesser erscheinen auch die Schatten auf der Planetenoberfläche unterschiedlich groß.

1.2 Bedeckungen durch Jupiter

Bei gutem Seeing und mit starker Vergrößerung läßt sich das Verschwinden hinter der Planetenscheibe gut verfolgen.

1.3 Durchgänge vor Jupiter

Um den Kontakt der beiden Himmelskörper zu verfolgen, ist ebenfalls ein gutes Seeing notwendig. Solange sich der Mond noch im Randbereich befindet, der etwas dunkler erscheint, ist das Lichtpünktchen noch deutlich erkennbar. Dann wird der Mond von der Helligkeit des Planeten überstrahlt.

2 Spezielle Jupitermonderscheinungen

2.1 Gegenseitige Verfinsterungen

Alle sechs Jahre schneidet der Jupiteräquator die Bahnebene. Dadurch ergeben gegenseitige Verfinsterungen der Monde. Je nach Stellung der Monde kommt es zu partiellen oder totalen Verfinsterungen; der Helligkeitsabfall kann einige hundertstel Größenklassen betragen, der verfinsterte Mond kann aber auch unsichtbar werden. Die Zeitdauer liegt zwischen Minutenbruchteilen oder aber auch über einer halben Stunde. In der Abbildung wird der dritte durch den ersten Mond verfinstert:



2. Fortsetzung Referat: Verfinsterungen und Bedeckungen der Galilei'schen Jupitermonde

2.2 Gegenseitige Bedeckungen

Durch die Bedeckung eines Mondes durch einen anderen kommt es ebenfalls zu einem Lichtabfall, der visuell durchaus gesehen werden kann. Dieser Lichtabfall ist aber nicht so spektakulär wie bei einer totalen Verfinsterung.

3 Die Perioden der Jupitermondverfinsterungen

Die vier hellen Jupitermonde umkreisen ihren Planeten in relativ kurzer Zeit. Deshalb kommt es sehr häufig zu Verfinsterungen und Bedeckungen, sowie Schattenvorübergängen und Vorübergängen vor der Jupiterscheibe.

Wenn man die Daten der Umlaufzeiten genauer betrachtet, erkennt man darin eine gewisse Gesetzmäßigkeit.

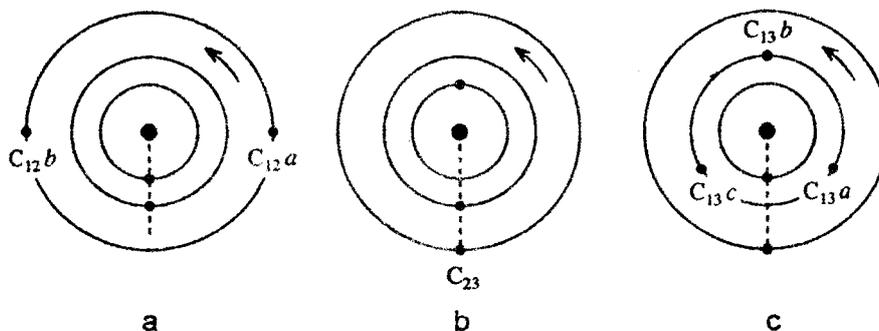
	Mittl. Sid. U	Mittl. synod. U
Io	1,769138 ^d	1,769860 ^d
Europa	3,551181	3,554094
Ganymed	7,154553	7,166387
Kallisto	16,689018	16,753552

Zwei Perioden des I. Mondes haben beinahe die selbe Dauer wie eine Periode des II. Mondes und zwei Perioden von Mond II haben beinahe die selbe Dauer wie die des Mondes III. Zunächst die Längen der Monde in ihrer Bahn:

$$\begin{aligned}u_1 &= 163.8067 + 203.4058643d \\u_2 &= 358.4108 + 101.2916334 \\u_3 &= 5.7129 + 50.2345179 \\u_4 &= 224.8151 + 21.4879801\end{aligned}$$

Anhand der Formel $u_1 - 3u_2 + 2u_3 = 180^\circ$ erkennt man, daß die drei inneren Monde nie zur gleichen Zeit verfinstert werden können.

Verfolgt man die Bewegung der drei inneren Monde in ihrer Bahn, ergeben sich periodisch wiederkehrende Konstellationen. Die folgende Abbildung aus [5] soll dies verdeutlichen.

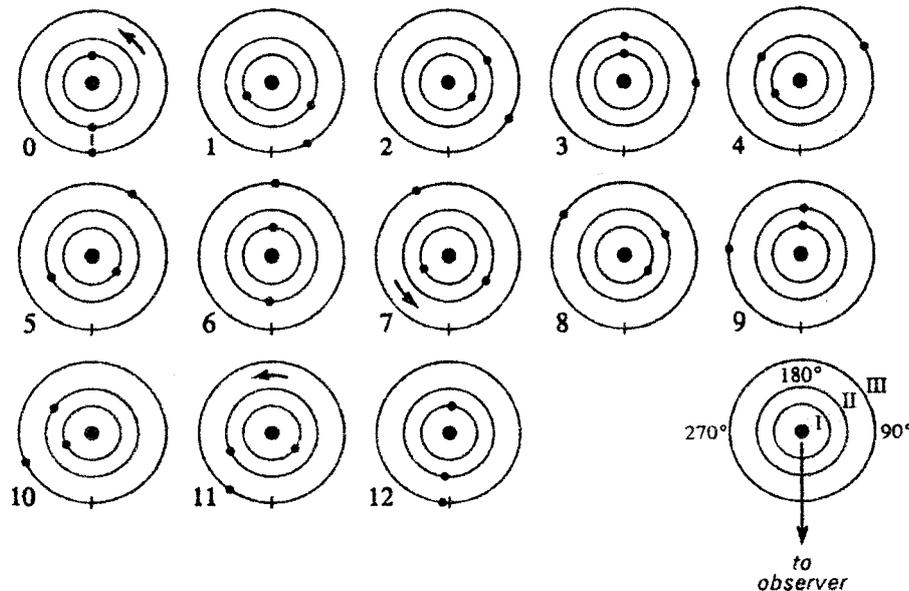


- Mond I und Mond II in Konjunktion, Mond III 90° von ihnen entfernt.
- Mond II und Mond III in Konjunktion, Mond I 180° von ihnen entfernt.
- Mond I und Mond III in Konjunktion, Mond II entweder 180° von ihnen entfernt oder 60° vor oder hinter der Verbindungslinie.

Diese Veränderungen spielen sich in einer Periode von 7.0509 Tagen ab.

3. Fortsetzung Referat: Verfinsterungen und Bedeckungen der Galilei'schen Jupitermonde

In der nächsten Abbildung aus [5] wird ein kompletter Zyklus eines Umlaufes dargestellt.



Die Multiplikation der täglichen Bewegung des III. Mondes mit der Umlaufszeit ergibt 354.20° . Zieht man von 360° die 354.20° ab, ergibt sich ein Winkel von $5,800076^\circ$.

$360/5,800076 = 62.06816$ Perioden der Monde II / III: Das entspricht einer Periode von 437.64 Tagen. Nach dieser Periode stehen die Monde gleicher Stellung wie zu Beginn.

4 Jupiter ohne Monde

Wer den Jupiter regelmäßig im Fernrohr beobachtet, ist nicht überrascht, wenn er statt der üblichen vier Monde nur drei oder manchmal nur zwei sieht. Ganz selten ist Jupiter mit nur einem Mond sichtbar. Eine Rarität ist es jedoch, den Jupiter ohne Monde zu sehen. Es ist ein Erlebnis, direkt mitzuerleben, wie die Monde zunächst einer nach dem anderen verschwinden, dann Jupiter ohne Monde, und schließlich, wie die Monde neben dem Planeten wieder sichtbar werden.

Der Grund dafür ist, daß die Monde teils verfinstert sind, oder bedeckt werden, oder vor der Planetenscheibe stehen. Niemals können aber die innersten drei Monde gleichzeitig verfinstert werden.

Die Tabelle aus [5] nebenan gibt an, wann Jupiter sich ohne Monde zeigte bzw. zeigen wird.

5 Die Zeitbestimmung von Jupitermondverfinsterungen

Die Beobachtung von Verfinsterungen der vier hellen Jupitermonde ist ein sehr eindrucksvolles Erlebnis. Ein Mond der z.B. etwa einen Jupiterdurchmesser neben der Planetenscheibe steht, verliert langsam an Helligkeit. Zuerst ganz unauffällig, nach einigen Minuten immer deutlicher. Je schwächer das Lichtpünktchen dann wird, desto rascher erfolgt der Helligkeitsabfall, bis es plötzlich im Fernrohr nicht mehr sichtbar ist. Der Beobachter war Augenzeuge einer totalen Mondfinsternis in einer Entfernung von ca. 700 Millionen Kilometern!

4. Fortsetzung Referat: Verfinsterungen und Bedeckungen der Galilei'schen Jupitermonde

Die Zeitangaben solcher Verfinsterungen finden sich in astronomischen Jahrbüchern, z.B. auf Zehntelminuten im „Österreichischen Himmelskalender“ [7].

Jupiter „ohne Monde“

MEZ erhält man wie bekannt aus DT, der dynamischen Zeit: $MEZ = DT + 1h - \Delta T$. Symbole in der Tabelle: O in Bedeckung hinter Jupiter, T im Durchgang vor Jupiter, E im Jupiterschatten verfinstert. Nur O: Bedeckt und verfinstert; OE: Erst bedeckt, dann verfinstert; usw.

No.	Limits of the disappearance (Dynamical Time)			Satellite that		Situation of the satellites				Elongation from the Sun
	Date	Begin	End	disappears last	reappears first	I	II	III	IV	
		<i>h m</i>	<i>h m</i>							°
19	1907 Oct. 3	19 49	19 59	II	III	O	T	E	O	61 W
20	1913 Oct. 22	5 00	5 29	I	III	O	T	T	E	73 E
21	1914 May 11	5 41	6 58	IV	I	T	O	T	E	89 W
22	1919 Mar. 5	9 58	10 59	IV	III	T	O	O	O	112 E
23	1931 Feb. 14	20 51	23 05	I	I	T	OE	E	T	136 E
24	1932 May 4	3 25	4 20	III	I	T	OE	E	E	90 E
25	1932 Nov. 21	2 13	2 51	IV	III	O	T	O	E	69 W
26	1939 July 17	4 11	5 02	I	IV	T	E	E	E	105 W
27	1942 July 10	13 45	14 31	IV	IV	O	T	EO	O	11 W
28	1943 Sep. 27	20 13	20 59	II	I	O	T	E	T	45 W
29	1949 Mar. 4	17 11	17 20	III	I	T	O	E	O	50 W
30	1949 Sep. 21	9 53	9 53	I	IV	O	T	E	E	114 E
31	1961 Sep. 27	15 59	17 30	IV	III	O	T	T	E	113 E
31a	1962 Apr. 16	17 52	17 53	IV	I	T	O	T	E	52 W
32	1966 June 28	6 10	6 41	III	IV	O	T	T	T	5 E
33	1980 Apr. 9	13 12	14 16	I	III	T	O	O	E	131 E
—	1980 Apr. 9	14 36	15 28	III	I	T	OE	E	E	131 E
34	1990 June 15	22 48	24 22	I	IV	O	T	O	E	21 E
35	1991 Jan. 2	20 44	21 54	IV	III	T	O	O	E	150 W
36	1997 Aug. 27	21 38	21 55	I	IV	O	T	O	E	160 E
37	2001 Nov. 8	16 28	16 43	III	I	T	O	E	T	121 W
38	2008 May 22	3 51	4 10	I	III	E	T	O	E	129 W
39	2009 Sep. 3	4 44	6 30	III	I	OE	T	T	E	159 E
40	2019 Nov. 9	12 17	12 56	I	IV	T	O	T	E	38 E
41	2020 May 28	11 18	13 12	IV	I	O	T	T	E	131 W
42	2021 Aug. 15	15 40	15 48	I	IV	E	T	T	T	175 W
43	2033 July 28	3 08	5 01	I	III	EO	T	T	O	150 W
44	2038 May 22	9 10	10 49	I	III	O	T	O	E	55 E
45	2038 Dec. 9	8 20	10 36	I	I	T	O	O	E	106 W
46	2049 Oct. 15	3 47	4 01	III	I	T	EO	E	T	80 W
47	2050 May 28	17 23	18 34	III	I	OE	T	T	E	53 E
48	2056 Apr. 27	15 21	16 22	II	IV	EO	T	O	E	88 W
49	2057 July 15	22 55	24 06	IV	I	O	T	O	T	127 W
50	2061 Mar. 16	18 48	18 56	IV	I	E	T	O	T	90 E
51	2067 Oct. 15	22 45	24 34	I	III	T	O	T	E	74 E
52	2068 May 3	23 31	24 41	III	I	O	T	T	E	89 W
53	2073 Feb. 26	3 03	3 57	III	IV	O	T	O	O	113 E
54	2080 Nov. 26	23 12	24 12	I	III	T	OE	E	O	70 E
55	2082 Feb. 14	6 32	8 00	IV	I	T	OE	E	T	34 E
56	2085 Feb. 7	14 36	15 24	I	III	O	T	O	T	137 E
57	2086 Apr. 27	19 49	21 12	I	III	O	T	O	E	91 E
58	2086 Nov. 14	19 18	21 22	I	IV	T	O	O	E	68 W
59	2097 Jan. 20	2 29	2 56	I	III	O	T	E	E	162 E
60	2097 Feb. 13	22 21	23 42	IV	II	OE	T	T	T	135 E
61	2098 May 4	3 27	5 10	III	II	OE	T	T	E	89 E

5. Fortsetzung Referat: Verfinsterungen und Bedeckungen der Galilei'schen Jupitermonde

Ein kleines Gedankenexperiment

Angenommen, vier Beobachter, in verschiedenen Ländern, verfolgen gleichzeitig den Verlauf eines Austrittes aus dem Kernschatten, dann spielt sich das etwa so ab:

Beobachter „A“, mit einem 35 cm Ø Spiegelteleskop, sieht als erster das Lichtpünktchen aus dem Nichts auftauchen. Beobachter „B“, mit einem 20 cm Ø Teleskop, erblickt erst 21 Sekunden später den sichtbar werdenden Mond. Acht Sekunden später bemerken Beobachter „C“ mit einem 25 cm Ø und Beobachter „D“ mit einem 20 cm Ø Fernrohr gleichzeitig das erste Erscheinen des aus dem Jupiterschatten tretenden Mondes. Diese unterschiedlichen Beobachtungszeiten haben verschiedene Ursachen. In der folgenden Aufstellung möchte ich einige Faktoren aufzählen, die die Zeitbestimmung einer Verfinsterung beeinflussen.

Beobachtungsinstrument

Die Grenzhelligkeit eines Sternes, der für das Auge gerade noch sichtbar ist, hängt einerseits vom Durchmesser des Fernrohrobjektivs und andererseits von der Helligkeit des Himmelshintergrundes ab. Die Helligkeit des flächenhaften Himmelshintergrundes nimmt quadratisch mit dem Durchmesser der Austrittspupille ab. Die Austrittspupille in mm ergibt sich durch Division des Objektivdurchmessers durch die Vergrößerung (γ).

Daraus ergibt sich für die Grenzgröße folgende Formel:

$$m = m_0 + 2,5 \cdot \log D + 2,5 \cdot \log \gamma$$

m_0 entspricht dem Wert von 5,5 (mag), für D in cm.

Beobachter

Unkorrigierter Astigmatismus

Transparenz der Augenlinse (Trübung,...)

Dunkeladaptation

Brille bei der Beobachtung (Brillenglas verhindert nahes Herangehen des Auges an die hintere Linse des Okulars, dadurch kleineres Gesichtsfeld. Durch Streulicht verursachte Reflexion im Brillenglas. Behebung durch Brillenträgerokulare)

Persönliches Befinden.

Beobachtungsplatz

Störende Lichter, die das Auge beim Blick ins Fernrohr irritieren.

Atmosphäre

Höhe eines Sternes über dem Horizont. Mit zunehmendem Zenitabstand wird die Sternhelligkeit durch die Vergrößerung des Lichtweges in der Atmosphäre und der damit verbundenen Absorption verringert (Extinktion), siehe nebenstehende Tabelle.

Luftgüte

Zur Bewertung der Luftbeschaffenheit dient eine fünfstufige Skala [4]. Sie beruht auf der persönlichen Einschätzung durch den Beobachter.

6. Fortsetzung Referat: Verfinsterungen und Bedeckungen der Galilei'schen Jupitermonde

Mittlere Extinktion Ext und Zenitdistanz ZD

ZD	Ext.								
15°	0 ^m 00	30°	0 ^m 03	45°	0 ^m 09	60°	0 ^m 23	75°	0 ^m 65
16	0.00	31	0.03	46	0.09	61	0.25	76	0.70 ⁵
17	0.01	32	0.03	47	0.10	62	0.26	77	0.76 ⁶
18	0.01	33	0.04	48	0.11	63	0.28	78	0.82 ⁶
19	0.01	34	0.04	49	0.11	64	0.30	79	0.90 ⁸
									8
20	0.01	35	0.04	50	0.12	65	0.32	80	0.98
21	0.01	36	0.05	51	0.13	66	0.34	81	1.07 ⁹
22	0.01	37	0.05	52	0.14	67	0.36	82	1.18 ¹¹
23	0.01	38	0.05	53	0.15	68	0.39	83	1.32 ¹⁴
24	0.02	39	0.06	54	0.16	69	0.42	84	1.49 ¹⁷
									23
25	0.02	40	0.06	55	0.17	70	0.45	85	1.72
26	0.02	41	0.07	56	0.18	71	0.48	86	2.04 ³²
27	0.02	42	0.07	57	0.19	72	0.52	87	2.48 ⁴⁴
28	0.02	43	0.08	58	0.20	73	0.56	88	3.10 ⁶²
29	0.03	44	0.08	59	0.22	74	0.60		

a) Durchsicht

Die Beurteilung erfolgt mit dem freien Auge.

D = 1, klarer Himmel. Sterne der 5 Größenklasse, oder auch schwächere können erkannt werden.

D = 2, Nicht mehr ganz klarer Himmel, Sterne der 4. Größe sind noch zu sehen. für die Planetenbeobachtung aber noch gut zu gebrauchen.

D = 3, brauchbare Durchsicht. Sterne der 2. Bis 3, Größenklasse sind noch auszumachen.

D = 4, der Dunst ist bereits so stark, daß nur noch die hellsten Sterne um die erste Größenklasse herum zu sehen sind. Die Planetenbeobachtung ist durchaus noch möglich.

D = 5, starker Dunst oder (schon Hoch-) Nebel. Der Planet ist mit den freien Auge nur noch blickweise auszumachen, auch wenn seine Position am Himmel bekannt ist. Bei mittleren Vergrößerungen ist das Bild im Fernrohr derart dunkel, daß keine Details wahrgenommen werden können.

b) Luftruhe

R = 1, sehr gut. Auch bei starker Vergrößerung sind die Bilder ruhig und scharf.

R = 2, gut. Der Bildeindruck ist wie vorher, doch mit blickweisen Wallungen.

R = 3, befriedigend. Die Wallungen nehmen mit der Zeit zu. Die Konturen sind in den Zeitabschnitten der Luftruhe bei mittelstarker Vergrößerung einwand-frei.

R = 4, mäßig. Die Luftunruhe stört die Beobachtung merklich. Details sind nur blickweise zu sehen.

R = 5, unbrauchbar. Es ist unmöglich, Einzelheiten einigermaßen sicher zu erfassen. Auch niedrigere Vergrößerungen bringen kein scharfes Bild.

Neben den eben erwähnten Einflüssen, verändern nach andere Faktoren die Vorausbe-rechnungen. Zu ihnen zählen langfristige Veränderungen, aber auch kurzfristige, die von den

7. Fortsetzung Referat: Verfinsterungen und Bedeckungen der Galilei'schen Jupitermonde

Monden untereinander verursacht werden.

Über Jahrzehnte hindurch wurden die Erscheinungen der Jupitermonde nach den Grundlagen von A. Sampson 1910 berechnet, z.B. für den *Astronomical Almanac*. Es zeigten sich ständig Abweichungen zwischen Beobachtung und Berechnung. 1976 wurde ein Projekt gestartet, in dem Verfinsterungen der Jupitermonde von Amateurastronomen in sämtlichen Kontinenten beobachtet wurden. Dieses Unternehmen war ein Programm der „Association of Lunar and Planetary Observers“ (ALPO 1977). Dabei wurde der Zeitpunkt des Verschwindens des letzten beleuchteten Teiles der Mondoberfläche bzw. des ersten Auftauchens aus dem Kernschatten bestimmt. Die Zeitpunkte wurden auf Sekunden genau bestimmt. Die Ergebnisse der Bahnverbesserung aus beobachteten Jupitermondverfinsterungen waren sehr zufriedenstellend. Aus Beobachtungen von sieben Sichtbarkeitsperioden zwischen 1976 – 1982 ergab sich eine durchschnittliche Unsicherheit in der Mondbahn laut einer verbesserten Theorie nach Lieske E-2:

Io	± 79 km
Europa	± 127 km
Ganymed	± 186 km
Kallisto	± 173 km

Dazu ein Vergleich. Die Unsicherheit in der Mondbahn nach Sampson, der seine Daten ebenfalls aus den Verfinsterungen berechnet hat, beträgt bei Io 1700 km, bei Europa durchschnittlich 1000 km. Bei Ganymed konnte sogar ein Vorzeichenwechsel festgestellt werden. Aufgrund dieser Beobachtungen erkennt man, daß die Umlaufzeit von Ganymed um $0,6 \pm 0,2$ Sekunden länger ist, als bei Sampson angenommen. Auch die Durchmesser der Monde lassen sich aus solchen Verfinsterungen bestimmen. Dazu ein Vergleich aus Zeitbestimmungen und Messungen von Voyager.

	Verfinsterungen	Voyager	Differenz
Io	3 517 km	3 630 km	- 3%
Europa	2 718 km	3 138 km	- 13%
Ganymed	6 044 km	5 662 km	+ 15%
Kallisto	5 070 km	4 800 km	+ 6%

Wie die Graphik aus [6] auf der Seite nebenan zeigt, sind die Differenzen pro Sichtbarkeitsperiode nicht gleich groß, sondern schwanken zyklisch. Das bedeutet, daß weitere Beobachtungen notwendig sind, um diese noch nicht berücksichtigten Abweichungen zu erkennen und in den Elementen unterzubringen.

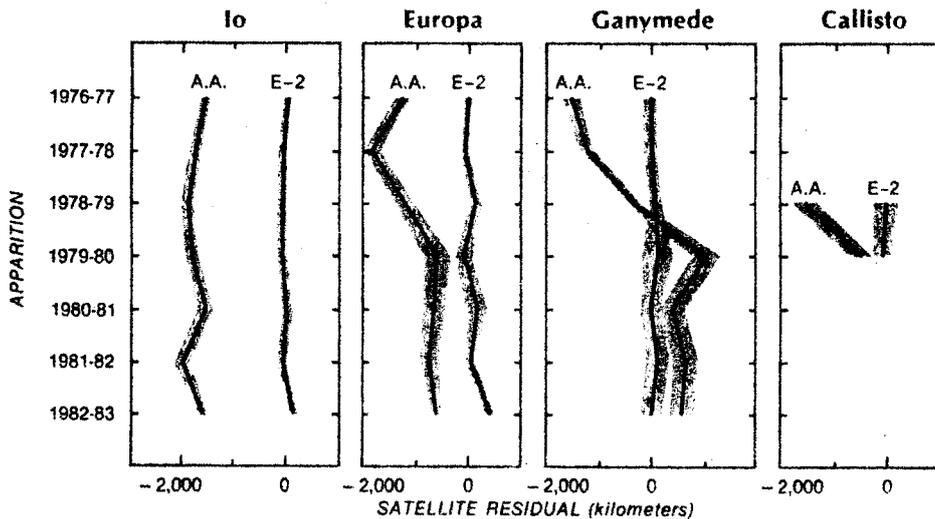
Wer mit der Beobachtung ganz speziell von Jupitermondverfinsterungen mithelfen möchte, wende sich an:

John E. Westfall, Dept. Of Geography, San Francisco State University
1600 Holloway Ave., San Francisco, Calif. 941 32, U.S.A.

Eine andere Möglichkeit, Abweichungen in der Mondbahnbewegung festzustellen, ist die Beobachtung von gegenseitigen Jupitermondkonjunktionen. Vorausdaten können dem Österreichischen Himmelskalender [7] entnommen werden.

Seit vielen Jahren führe ich ein Jupitermond-Beobachtungsprogramm des Österreichischen Astronomischen Vereins zur Verbesserung der Bahnelemente der Galilei'schen Jupitermonde und lade herzlich zur Mitarbeit ein, siehe Schlußseite des Referats.

8. Fortsetzung Referat: Verfinsterungen und Bedeckungen der Galilei'schen Jupitermonde



Amateurbeobachtungen seit 1977 zeigen die Abweichungen der Sampson-Ephemeride der Galilei'schen Jupitermonde des Astronomical Almanac (A.A., Stand 1985) gegen die des Jet Propulsion Laboratory (E-2). Grauzone markiert Unsicherheit von ± 1 Standardabweichung.

6 Längenbestimmung auf See im 17. Jahrhundert durch Beobachtung von Jupitermondverfinsterungen

Im Jahre 1610 entdeckte Galilei die vier Monde des Jupiter. Zwei Jahre später beobachtete er die Verfinsterung eines Mondes durch den Jupiterschatten. Er erkannte, daß solche Verfinsterungen, die man berechnen konnte, als Zeitmesser auf See benutzen konnte. Denn über längere Zeit auf See zeigten die Schiffsuhren größere Abweichungen. Zu jener Zeit wurden auch Verfinsterungen unseres Erdmondes für die Zeitbestimmung benutzt. Allerdings kommen derartige Mondfinsternisse doch zu selten vor.

Iannuarius. 1668.	
Configurations Mediceorum.	
Hora 7. P.M.	
Die	
A 1	3 * ⊕ 1 2 4
2	2 1 ⊕ 3 4
3	2 3 ⊕ 1 4 * 3
4	2 1 ⊕ 3 4 3
5	Primus in facie. 4 * ⊕ 3 2
6	* 3 2 ⊕ 1 4 * *
7	* 3 2 ⊕ 4 * *
A 8	* 3 ⊕ 2 1 4 *

Die Verfinsterungen der Jupitermonde hingegen, treten sehr häufig auf und so boten sie sich als Zeitsignale für die Bestimmung der geographischen Länge an. Für den täglichen Gebrauch war aber die Anzahl dieser Verfinsterungen dennoch zu gering. Deshalb wurden die Stellungen der Monde relativ zu Jupiter in graphischer Darstellung publiziert, siehe die nebenstehende Wiedergabe eines Druckes aus dem 17. Jahrhundert. Es war dies eine weniger genaue, aber dafür sehr nützliche Alternative.

9. Fortsetzung Referat: Verfinsterungen und Bedeckungen der Galilei'schen Jupitermonde

Im Jahre 1598 setzte der Spanische König, dessen Schiffe durch alle Weltmeere segelten, eine stattliche Belohnung für denjenigen aus, der die geographische Länge bestimmen konnte. Galilei, der seine Entdeckungen immer finanziell zu nutzen wußte, verhandelte darüber, die Jupitermonde für diese Zwecke zu nutzen. Ein Problem ergab sich dabei durch die Schwankungen des Schiffes auf hoher See. Denn bei hohem Seegang war es unmöglich, die Jupitermonde im Fernrohr zu beobachten. Obwohl man deshalb für den Navigator eine schwingende Plattform anfertigte, um die durch den Seegang bedingten Bewegungen zu reduzieren, waren die praktischen Schwierigkeiten zu groß, um diese Methode auf See anzuwenden.

<i>ANNUATINS.</i>		1668.	
Congressus cum Ioue, Eclipses, & maximæ digressiones Medicorum.			
<i>Jupiter occidet nobis h. 9. o. de Occ.</i>			
Die 1.	Hora 7. 35. p. m.	Maxima digressio orientalis primi.	H. 12. 42. maxima digressio orientalis secundi.
2	Hora 8. 47. p. m.	immersio inferior secundi, h. 11. 13. eiusdem emer- sio. h. 12. 44. ingressus ipsius vmbre in Iouem, h. 15. 10. egressus vmbre.	
3	Hora 7. 20.	maxima digressio occidentalis secundi.	
4	Hora 8. 43.	immersio superior primi, hor. 11. 7. eiusdem emer- sio. Hora 3. 36. immersio superior secundi, h. 6. 6. eiusdem emer- sio, h. 6. 35. immersio in vmbra, hor. 8. 24. emer- sio, h. 18. 30. con- iunctio inferior quarti.	
5.	Hora 5. 47.	immersio inferior primi, h. 7. 4. ingressus ipsius vmbre in Iouem, hora 8. 11. emer- sio ex facte, h. 9. 18. egressus vmbre. H. 10. 24. immersio inferior tertij, h. 13. 20. ipsius emer- sio, h. 15. 35. ingressus vmbre in Iouem, h. 18. 31. egr. vmbre.	
6.	Hora 3. 11.	immersio superior primi, h. 5. 35. emer- sio.	
7.	Hora 6. 50.	maxima digressio occidentalis tertij.	
8.	Hora 9. 29.	maxima digressio orientalis primi.	
9.	Hora 6. 42. 30.	maxima digressio occidentalis primi. Hor. 11. 20. immersio inferior secundi, h. 13. 46. ingressus ipsius vmbre in Iouem, h. 11. 46. emer- sio. h. 16. 2. egressus vmbre.	
10.	Hora 9. 53.	maxima digressio occidentalis secundi.	
11.	Hora 5. 23. 30.	immersio superior secundi, h. 8. 3. 30. emer- sio, h. 8. 16. 30. immersio in vmbra, h. 10. 56. 30. emer- sio.	
12.	Hora 7. 50. 30. p. m.	immersio inferior primi, hor. 8. 11. eiusdem emer- sio h. 7. 4. ingressus ipsius vmbre in Iouem, hora 9. 28. egressus. H. 9. 29. maxima digressio orientalis secundi. H. 14. 8. immersio inferior tertij, h. 17. 4. emer- sio, h. 19. 35. ingressus ipsius vmbre in Iouem.	
13.	Hora 5. 29. p. m.	immersio superior primi, h. 9. 11. emer- sio. H. 5. 15. coniunctio superior quarti.	
16.	Hora 4. 22.	immersio superior tertij, h. 7. 18. ipsius emer- sio ex Ioue, h. 9. 39. immersio in vmbra, h. 12. 35. ipsius emer- sio ex vmbra. H. 8. 28. maxima digressio occidentalis primi. H. 13. 57. emer- sio inferior secundi, h. 16. 23. emer- sio, h. 16. 37. ingressus ipsius vmbre in Iouem, h. 19. 3. egressus eiusdem vmbre.	

10. Fortsetzung Referat: Verfinsterungen und Bedeckungen der Galilei'schen Jupitermonde

Für den Gebrauch an Land, wo hohe Genauigkeit erforderlich war, benötigte die Jupitermethode zuverlässigere Tafeln der Verfinsterungen. Erst 1668 waren solche Tafeln durch Giovanni Domenico Cassini verfügbar. Vor allem die Franzosen nutzten diese neue Technik.

Die Längendifferenz zwischen dem Ausgangspunkt und dem momentanen Ort ergab sich aus der Zeitdifferenz zwischen der Uhrzeit auf der Uhr des Startortes und der Ortszeit am Schiff.

7 Erstmalige Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit

Bereits im Altertum wurde über die Geschwindigkeit des Lichtes diskutiert.

Während Plinius in seiner „Historia Naturalis“ nur aussprach, daß die Geschwindigkeit des Lichtes größer als die des Schalls sei, lehrte Maximus Tyrius schon im 2. Jahrhundert nach Christus in seinen „Dissertationes“ ausdrücklich, daß die Geschwindigkeit des Lichtes zwar sehr groß, aber dennoch endlich sei. Dieser Meinung war auch der arabische Astronom, Alhazen (996 – 1038 n. Chr.) in seiner „Optica“, dem auch die Erscheinung der Lichtreflexion und Lichtbrechung bekannt war. Auch Francis Bacon (1561 – 1620) war derselben Meinung, wie seinem „Novum Organum“ (London 1620) zu entnehmen ist.

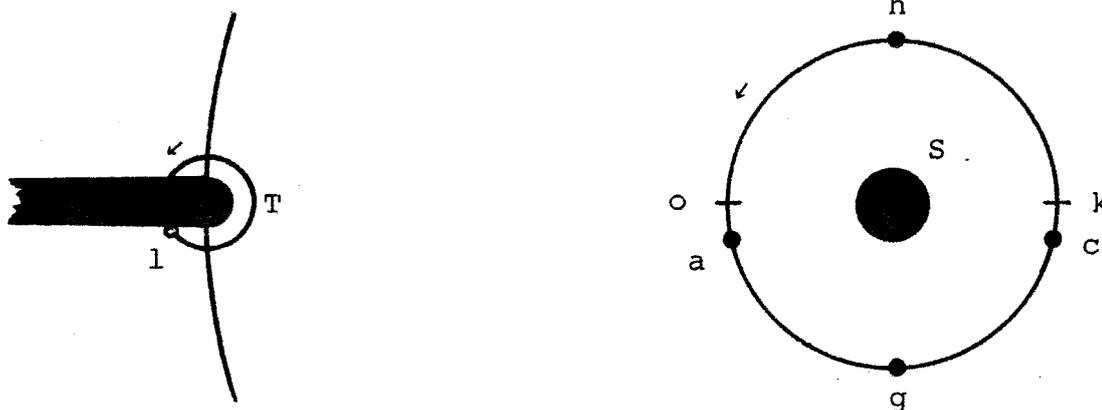
Einen ersten Versuch, die Geschwindigkeit des Lichtes wirklich zu messen, unternahm Galilei. In seinem Werk, „Discorsi e Dimostrazioni“ (1638) beschrieb er sein Laternenexperiment. Zwei Beobachter stellen sich zunächst in geringer Entfernung voneinander auf, um sich einzuüben, sobald einer das Licht abdeckt, muß dies auch der andere tun, Später entfernten sie sich voneinander auf mehrere Kilometer und führten diesen Vorgang genau in derselben Weise aus. Wegen der großen Entfernung wurde ein Fernrohr zu Hilfe genommen. Der Zeitraum zwischen dem Abdecken der eigenen Lichtquelle und dem Erkennen des Signals des anderen Beobachters, ergibt die Zeit, in der das Licht die doppelte Distanz zurücklegt. Leider waren die Versuchsbedingungen zu einfach und der Abstand zu gering, um zu einem brauchbaren Ergebnis zu gelangen. Galilei folgerte aber trotzdem richtig, daß die Geschwindigkeit des Lichtes zu groß sei, um auf diese Art und Weise ermittelt zu werden.

Dem dänischen Astronomen Olaf Römer gelang es 1675 zum ersten Mal, die Lichtgeschwindigkeit zu bestimmen. Er übersiedelte auf Veranlassung von Picard 1671 nach Paris. Dort betätigte er sich unter anderem an den von Giovanni Domenico Cassini seit Jahren regelmäßig beobachteten Jupitermonden. Nach einiger Zeit, stellte er fest, daß zwei aufeinanderfolgende Eintritte des ersten Jupitermondes in den Jupiterschatten (Verfinsterung Anfang), gegenüber dem Durchschnittswert rascher erfolgten, als zwei aufeinanderfolgende Austritte aus dem Kernschatten (Verfinsterung Ende). Besonders deutlich war der Unterschied, wenn Jupiter in Quadratur zur Erde stand. Die Eintritte in den Jupiterschatten sind nur sichtbar, wenn sich die Erde dem Jupiter nähert, während die Austritte aus dem Kernschatten nur beobachtbar werden, wenn sich Jupiter von der Erde auf ihrer Bahn um die Sonne entfernt. Aus dieser Diskrepanz schloß Römer, daß das Licht eine merkliche Zeit brauche, um die sich daraus ergebenden Distanzunterschiede zu durchlaufen. Zum besseren Verständnis dieser Erklärungen zitiere ich aus dem Buch „Der Stemenhimmel“ (1877) von Wilhelm Schütte [1]. Diese Beschreibung ist in der modernen Literatur nicht zu finden.

„Der innerste Mond vollendet einen Umlauf in der kurzen Zeit von etwa 42 ½ Stunden und wir können daher jeden zweiten Tag schon mit einem schwachen Fernrohr das Verschwin-

11. Fortsetzung Referat: Verfinsterungen und Bedeckungen der Galilei'schen Jupitermonde

den oder das Auftauchen des Lichtpünktchens bei dem Ein- und Austritt aus dem Schatten beobachten. Wenn nun die Erde und der Jupiter unbeweglich an derselben Stelle verharrten und nur der Trabant seinen Umlauf vollführte, so würde für uns zwischen je zwei Verfinsterungen stets dieselbe Zeit verfließen. In Wirklichkeit stellt sich die Sache anders. Der Einfachheit wegen nehmen wir an, daß der Jupiter T, der weit langsamer in seiner Bahn fortschreitet, als die Erde, stille stehe, während sich die Erde um die Sonne bewegt. Es zeigt sich nun, daß zwischen zwei aufeinanderfolgenden Verfinsterungen des Trabanten nicht immer die gleiche Zeit verfließt, sondern daß dieses Intervall sich ändert und von der Stellung abhängig ist, welche die Erde in ihrer Bahn einnimmt. Zur Zeit der Opposition und Konjunktion des Jupiter, wenn die Erde sich in o und k befindet, ist



dieser Zeitunterschied derselbe, dagegen verfließt eine längere Pause, wenn die Erde in g, eine kürzere, wenn sie in h steht. In den Zeiten der Opposition und Konjunktion ist nun die Bewegung der Erde so gerichtet, daß sie sich weder von dem Jupiter entfernt, noch sich demselben nähert. Dagegen wächst ihre Entfernung auf der Bahnhälfte ogk und verkürzt sich auf der Hälfte kho. Dementsprechend muß sich das Eintreffen des Lichtblitzes bald verspäten, bald verfrühen, je nachdem eine Entfernung oder Annäherung zwischen der Erde und dem Jupiter. Das Maß dieses Verspätens oder Verfrühens wird offenbar bedingt durch die Größe des Weges, den die Erde inzwischen zurückgelegt hat, und durch die Geschwindigkeit, mit der der Lichtstrahl dahinschießt. Da wir nun die Größe der Entfernung oder Annäherung berechnen können, so erhalten wir den Weg, welchen das Licht in einer Sekunde zurücklegt, wenn wir jene Strecke durch die Sekundenzahl der Verspätung oder Verfrüherung dividieren“.

Olaf Römer bestimmte damals den Zeitunterschied der zum Durchlaufen des Erdbahnhalfmessers notwendig ist zu 660 Sekunden. Dieser Wert wurde später auf 493,2 Sekunden abgeändert.

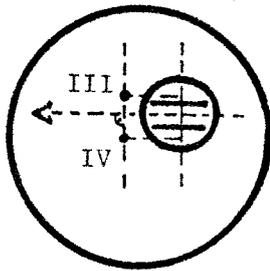
Der genaue Wert der Lichtgeschwindigkeit läßt sich nicht eindeutig angeben, da diese in der Literatur in unterschiedlichen Meilenangaben (geographische, alte französische, usw.) angegeben werden. R. Wolf (1892) gibt in seinem Handbuch [2] den gerundeten Wert von 29000 bayerischen geographischen Meilen zu 7420,4m an. Das ergibt eine Lichtgeschwindigkeit von 215192 km pro Sekunde, bei einer angenommenen Sonnenparallaxe von 9,3“. Der derzeitige, standardisierte Wert beträgt 299792,458 km/s (Sonnenparallaxe 8,794148“)..

12. Fortsetzung Referat: Verfinsterungen und Bedeckungen der Galilei'schen Jupitermonde

Diese Entdeckung wurde anfangs sehr angezweifelt. Es gab neben den Befürwortern Huygens und Newton auch Gegner, wie Cassini und Miraldi. Erst als Bradley die Abberation des Lichtes entdeckte, wurde Römers Entdeckung anerkannt.

8 Beobachtungsprogramm Jupitermonde

Schon mit einem Fernglas können wir die vier großen Monde Jupiters sehen und in kleinsten Fernrohren, die nur ganz einfach aufgestellt zu sein brauchen, sind ihre Erscheinungen und Stellungen zu verfolgen, zu den der Österreichische Himmelskalender [7] Vorausdaten liefert: B Bedeckung durch Jupiter, D Durchgang vor Jupiter, V Verfinsterung durch den Jupiter Schatten und S Schattenvorübergang des Mondes über Jupiter. Die Uhrzeiten sind in MEZ für Anfang A und Ende E gegeben.



Leicht kann aus dem „Ansehen“ eine wertvolle Beobachtung werden, zu der zusätzlich nur eine an einem Zeitzeichen kontrollierte Uhr notwendig ist: Wir lassen Jupiter zufolge der Erddrehung durch das Gesichtsfeld ziehen – genau normal zur Zugrichtung übereinander stehende Monde stehen das in „Konjunktion“ zu einander, wie beispielsweise Mond III und IV in unserer Darstellung. Etwa ab 15 Minuten vor der vorausberechneten Uhrzeit zeichnen wir im-

immer wieder die geschätzte Stellung der Monde zur Zugrichtung auf und schreiben jeweils die Uhrzeit dazu (auf einige Sekunden genau – Uhr z.B. am Telefonsignal überprüfen!). Stärkstmögliche Vergrößerung verwenden, am besten um 100x, und Kopf so drehen, daß die Verbindungslinie der Augen in Zugrichtung liegt. Dies geschieht so oft, daß aus der Stellungen- und Zeitenfolge abschätzbar ist, wann die genaue Senkrechtstellung der Mond zur Zugrichtung erfolgte. Zur Auswertung und Veröffentlichung im „Sternboten“ bitte die Beobachtungsberichte an meine unten angegebene Adresse senden. Vielen Dank!

Literatur

- [1] Schütte, W.: Der Sternhimmel. Verlag von Friedrich Brandstetter, Leipzig 1877.
- [2] Wolf, R.: Handbuch der Astronomie, ihrer Geschichte und Literatur, Band 1 und 2. Verlag F. Schulthess, Zürich 1890.
- [3] Hoskin, M.: The Cambridge Illustrated History ASTRONOMY, Cambridge University Press, Cambridge UK, 1997.
- [4] Roth, G.D.: Handbuch für Sternfreunde. Springer Verlag 1989.
- [5] Meeus, J.: Mathematical Astronomy Morsels. Willmann-Bell, Inc., Richmond VA, U.S.A. 1997.
- [6] Di Cicco, D.: Timing Eclipses of Jupiter's Moons. Sky and Telescope, Aug. 1984, p.183.
- [7] Mucke, H.: Österreichischer Himmelskalender 1999. Im 43. Jahrgang herausgegeben vom Österreichischen Astronomischen Verein, Wien 1998.

AstroMedia* Verlag

D-97076 WÜRZBURG, Pilziggrundstraße 67, Tel.0049-931 – 27 33 55, Fax –27 33 95
www.astromedia-verlag.de astromedia@t-online.de
Konto 41 20 42 – 858 Postbank Nürnberg, BLZ 760 100 85

Astronomie zum Anfassen

Am Sternenhimmel lesen lernen

OPTI*Media

Spiegel, Prisma, Linse: Optik zum Experimentieren

ASTRO*Materialien

Praktisch einsteigen in die Himmelskunde

Bastelspaß der Wissen schafft

Naturgesetze spielend erforschen

Original BAADER-Sonnenfilter-Folie AstroSolar (TM)

Zum Bau von Filtern für die Sonnenbeobachtung mit Fernglas, Fernrohr und Fotoapparat

Qualitätsgeprüfte Spezialfolie mit besten optischen Eigenschaften

Optimaler Augenschutz durch Filterfaktor 1 : 100.000, Lichtstärkenreduktion um 99,999%.
1Blatt Format 20x30cm DM 19.- + Versand DM 8.-, bei Voreinsendung von DM 20.-Banknote
an obige Anschrift versandkostenfreie Lieferung (Sammelbestellung empfehlenswert!).



Ferngläser besonderer Qualität

Der Sternenhimmel stellt die höchsten Ansprüche:

Hochschärfe in großem Feld – Kontrast – Transparenz.

Qualität macht Freude – ein Leben lang!

Das Modell 10x40 B/GA T* binokular mit Dachprismen, für Brillenträger und gummiarmiert, zeigt in seinem mehr als 6° großen Sehfeld dank der 40mm Ø Objektive 3,5 Sterngrößenklassen mehr als das freie Auge und damit z.B. alle Sterne des Sky Atlas.

Dieses Glas kann am 11. August die schwarze *Finsternis*sonne mit den roten *Protuberanzen* und dem strahlenden, silbergrünen Hof der *Korona* unvergeßlich eindrucksvoll zeigen.

Aber auch dann, wenn nicht das Großereignis einer *totalen Sonnenfinsternis* lockt, nicht nach dem Billigsten, sondern nach dem Besten zu greifen, lohnt die größere Investition: Man „erlebt“ damit *Mondlandschaften, Mondfinsternisse, Sternbedeckungen, Merkur, Venus am Tag, Galilei'sche Jupitermonde, Saturnmond Titan, Uranus und Neptun, Kleinplaneten* sowie besonders *Kometen, Nebel, Sternhaufen* und *Milchstraßenwolken*. Mit obigem Folienblendschutz, um die Objektivstutzen wie über ein Einsiedeglas gestreift und von je zwei Gummiringen gehalten, zeigen sich die *partiellen Finsternisphasen* und *Sonnenflecken*. – Um derzeit noch 14191.- ATS samt MWST ist dieses optische Juwel zu haben.

Gerne berate ich dazu, auch was die nötige *Fernglas-Bibliothek* betrifft. Näheres, auch über andere Modelle bieten ausführliche Druckschriften von Carl Zeiss, Modècenterstr.16, Postfach 14, A-1034 Wien, (01) 79518–150, Fax –103. Das *Glas ist zu probieren* im Anschluß an die Führungen im Wiener Planetarium 2, Oswald Thomas Platz. Prof.H.Mucke