

Inhalt

1. Allgemeine Übersicht

1.1 Unser Sonnensystem

1.2 Die Erdbahn

1.3 Die Mondbahn

2. Besondere Konstellationen

2.1 Mondfinsternis

2.2 Sonnenfinsternis

3. Berechnungen

4. Praktische Beobachtung

4.1 Ausrüstung

4.2 Fehlerquellen und Probleme

4.3 Die Beobachtung

5. Technischer Anhang

6. Literaturverzeichnis

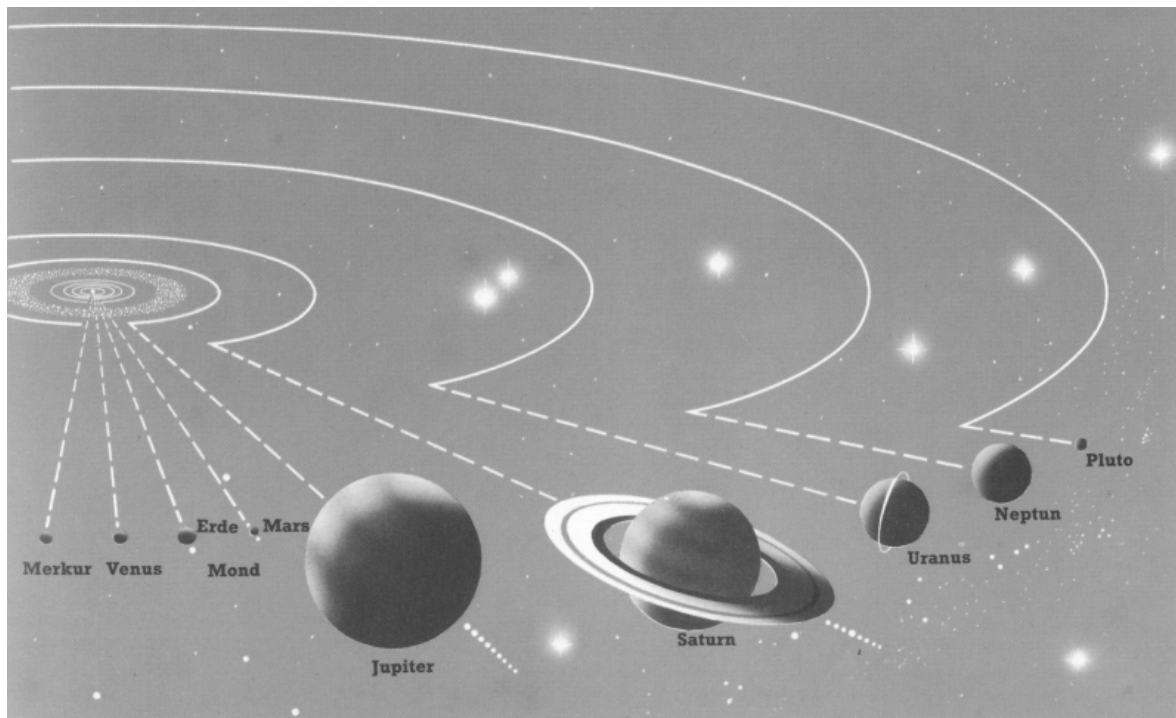
1. Allgemeiner Überblick

1.1 Unser Sonnensystem

Schon die ersten Astronomen entdeckten, daß es besondere „Sterne“ gab, die Griechen bezeichneten sie als *planeto*i (= Wanderer), davon leitet sich der Begriff Planet ab. Im Gegensatz zu den übrigen funkelnden Sternen leuchteten die Planeten für die Griechen in einem ruhigerem Licht, außerdem nahmen sie sie als Lichtscheibe wahr, anders als die punktförmigen Sterne. Diese neun Planeten bilden zusammen mit Planetoiden, Kometen, Meteorschwärmen, interplanetarer Materie und der Sonne im Zentrum unser Sonnensystem, welches sich wie folgt kurz beschreiben läßt:

Viele Planeten werden von Monden umkreist. Zwischen der Bahn von Mars und Jupiter liegt ein Planetoidengürtel. Der gesamte interplanetare Raum ist mit kosmischem Staub und Meteoren gefüllt. Außerdem umlaufen Kometen die Sonne in geschlossenen Bahnen mit oft großer Exzentrizität und Neigung. Die Sonne besitzt die überwiegende Masse, die Planeten zusammen mit ihren Monden verfügen nur über einen Bruchteil (1/700) der Sonnenmasse. Alle Planeten (außer Uranus) und fast alle Monde rotieren um ihre Achsen in der gleichen Richtung wie die Planeten um die Sonne laufen, nämlich im Gegenuhrzeigersinn. Die Bewegungen selbst folgen den Keplerschen Gesetzen. Die Entstehung des Sonnensystems läßt sich mit Hilfe der Theorie der Sternentwicklung erklären. Wahrscheinlich haben sich die heute beobachtbaren Verhältnisse aus einer rotierenden Gaswolke unter Einfluß eines Magnetfeldes im Laufe eines Zeitintervalls der Größenordnung von ca. 4,6 Milliarden Jahren entwickelt.

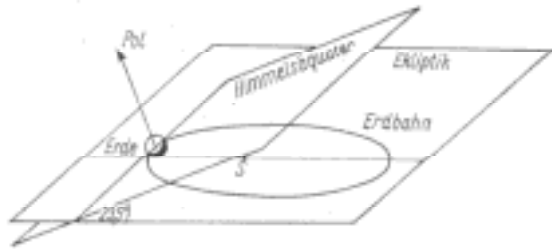
Die Erforschung der meisten Planeten unseres Sonnensystems ist eine der größten Leistungen von Wissenschaftlern dieses Jahrhunderts.



Graphik aus: Mitton: Lebendiges Wissen Astronomie

1.2 Die Erdbahn

Eine Betrachtung der Erdbahn ist unter anderem nötig, weil ihre Ebene als Bezugsebene für die Bahnen der anderen Körper des Sonnensystems verwendet wird.



Lage vom Himmelskörper und Ekliptik
aus Müller: Grundzüge der Astronomie

Die Erdbahn ist eine Ellipse, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht. Allerdings beträgt die mittlere numerische Exzentrizität der Erdbahn 0,0167, sie weicht also nicht viel von einem Kreis ab. Der Winkel zwischen Ekliptik¹ und dem Himmelsäquator² beträgt 23°27'. Der Umlauf erfolgt gegen den Uhrzeigersinn. Bei der Bezeichnung Jahr als Umlaufzeit unterscheidet die Wissenschaft wie folgt:

- **Tropisches Jahr** : Zeitintervall zwischen zwei Durchgängen durch den Frühlingspunkt; 365,24219 d
- **Siderisches Jahr** : Ein Umlauf um 360° gemessen an Fixsternen; 365,25962 d
- **Anomalistisches Jahr** : Zeitintervall von einem Durchgang der Erde durch ihr Perihel bis zu ihrem nächsten; Dauer: 365,25962 d
- **Finsternis-Jahr** : Von einem Durchgang der Sonne durch einen und denselben Mondknoten vergehen 246,62003 d

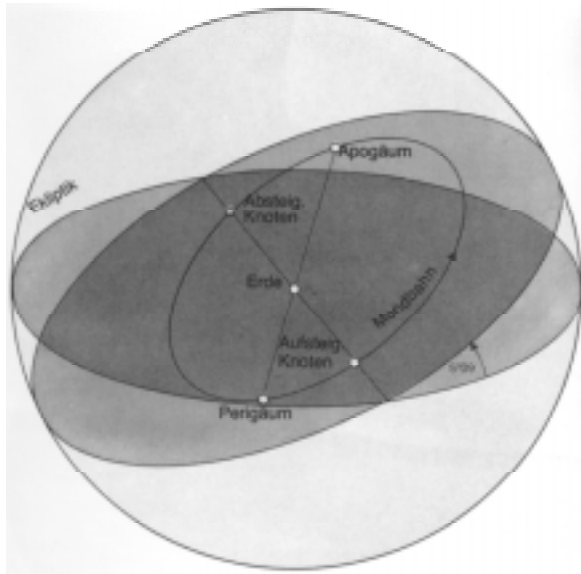
Den mittleren Abstand von Erde und Sonne bezeichnet man als astronomische Einheit (AE), sie beträgt 149,6 Millionen Kilometer. Anfang Januar (z.B. 4.1.1998) steht die Erde der Sonne am nächsten, sie befindet sich also im Perihel (Entfernung 147 Mill. km). Im Aphel, d.h. im sonnenfernsten Punkt ihrer Bahn (152 Mill. km), befindet sie sich Anfang Juli (z.B. 4.7.1998). Nach dem zweiten Keplerschen Gesetz ist die Bahngeschwindigkeit der Erde im Perihel am größten, im Aphel am geringsten (Mittel: 29,8 km/s). Während der Bewegung auf ihrer Bahn rotiert sie, von Westen nach Osten, um ihre eigene Achse. An dieser Rotation sind auch die inneren Teile der den Erdkörper umgebenden Erdatmosphäre beteiligt. Die Bewegung erfolgt jedoch nicht völlig gleichförmig, die Rotationsdauer von 24 Stunden (Sonnenzeit) ist also in geringem Maße veränderlich.

In der Bewegung und Rotation der Erde auf ihrer Bahn liegt die scheinbare tägliche und jährliche Bewegung der Himmelskörper sowie der Wechsel von Tag und Nacht begründet.

¹ Schnittkreis der Erdbahnebene mit der Himmelskugel

² Schnittkreis der Himmelskugel mit der Äquatorebene

1.3 Die Mondbahn



Graphik aus: Moore: Der Mond

Von der Erde aus gesehen, bewegt sich der Mond auf einer elliptischen Bahn der mittleren numerischen Exzentrizität 0,0549 mit der Erde in einem Brennpunkt. Die Bahnebene ist um $5^{\circ}9'$ gegen die Ekliptik geneigt. Der erdnächste Punkt wird als Perigäum (365410 km), der erdfernste Punkt als Apogäum (406740 km) bezeichnet. Die mittlere Entfernung des Mondes von der Erde beträgt 384403 Kilometer. Die Kreuzungspunkte der Mondbahnebene mit der Ekliptik nennt man Mondknoten, ihre Verbindungslinie heißt Knotenlinie. Die Bezeichnung für die Verbindungslinie von Perigäum und Apogäum lautet Apsidenlinie.

Für einen Umlauf um die Erde benötigt der Mond einen Monat. Dieser Begriff als Umlaufzeit des Mondes bedarf aber einer genaueren Betrachtung. Man unterscheidet nämlich Monate verschiedener Länge :

- **Tropischer Monat** : Zeitintervall mit der Dauer von 27,3216d, in dem die ekliptale Länge des Mondes um 360° wächst
- **Siderischer Monat** : Die Bahnumlaufzeit (um 360°) gemessen an Fixsternen; Dauer : 27,3217d
- **Synodischer Monat(Lunation)** : 29,5306d vergehen von Neumond zu Neumond
- **Drakonitischer Monat** : Zeitintervall zwischen zwei Durchgängen durch den aufsteigenden Knoten: 27,2122d
- **Anomalistischer Monat** : Umlaufzeit von einem Perigäum zum nächsten mit der Dauer 27,5546d

Jedoch lässt sich die Bahnbewegung des Mondes um die Erde mit den Keplerschen Gesetzen nur ungenügend beschreiben. Die Gravitationswirkung der Sonne auf das System Erde-Mond sind zu stark. Diese Bahnstörungen können in sechs Effekte aufgegliedert werden:

- **Evektion** : Eine periodische Änderung (Periodenlänge ca. 32 Tage) der Exzentrizität der Mondbahn zwischen den Werten 0,044 und 0,067, von Ptolemäus entdeckt
- **Schwankungen der Bahnneigung** zwischen $4^{\circ}58'$ und $5^{\circ}19'$
- **Vorwärtsbewegung der Apsidenlinie**, d.h. das Perigäum schreitet in Rotationsrichtung der Erde fort und umläuft sie einmal in 8,85 Jahren
- **Nutation** : Die Knotenlinie vollführt eine rückläufige Bewegung entlang der Ekliptik entgegengesetzt zur Bewegung des Perigäums (Nutationsperiode: 18,61 Jahre)
- **Variation, jährliche Gleichung** : Berücksichtigung der Position des Mondes in der Bahnberechnung und dadurch veränderte Gravitationsverhältnisse

(Extrempositionen: Erde zwischen Mond, Sonne; Mond zwischen Sonne, Erde)
Auswirkungen: Ähnlich der Evekation, nur in geringerem Ausmaß

- **Schwankung der Länge des synodischen Monats** : Betrachtet man z.B. die Zeiten von Vollmond bis Vollmond treten Schwankungen von über drei Stunden auf

Die vollständige Berechnung der Mondbahn ist eines der schwierigsten Probleme der Astronomie.

Eine weitere, vor allem gut beobachtbare Erscheinung, die die Mondbahn mit sich bringt, sind die Librationen. Die Rotationsperiode des Mondes ist gleich seiner Umlaufzeit, d.h. er wendet der Erde immer die selbe Seite zu. Aufgrund der elliptischen Bahn variiert aber seine Geschwindigkeit, die Rotationsgeschwindigkeit dagegen bleibt konstant. Dadurch sieht man während eines Mondumlaufs etwas mehr als eine Halbkugel. Diese Erscheinung nennt man Libration in der Länge. Aus der Neigung der Bahn gegen die Ekliptik ergibt zusätzlich eine Libration in der Breite, die es ermöglicht, abwechselnd über einen der Pole hinwegzusehen. Schließlich existiert noch eine tägliche Libration, die durch die Rotation der Erde zustande kommt. Zusammengekommen ermöglichen die Librationen eine Beobachtung von 59% (statt 50%) der Mondoberfläche.

2. Besondere Konstellationen

Diese (in 1.) beschriebene Bewegung des Systems Erde-Mond um die Sonne führt zu verschiedenen astronomischen Erscheinungen. Am spektakulärsten für den Beobachter zeigen sich sowohl die Sonnen- als auch die Mondfinsternis, zwei besondere Konstellationen der drei Gestirne Erde, Mond und Sonne.

Erde und Mond werfen lange Schatten in den Weltraum. Bewegt sich der Mond durch den Schatten der Erde, tritt eine Mondfinsternis auf, bei einem Durchgang der Erde durch den Mondschatten, ist eine Sonnenfinsternis zu beobachten. Die beiden Erscheinungen sind also rein geometrisch optische Phänomene.

2.1 Die Mondfinsternis

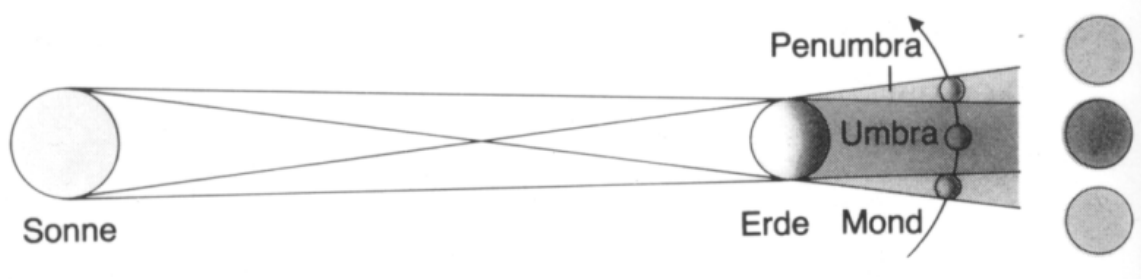
Um in den Erdschatten einzudringen, muß der Mond in Opposition zur Sonne stehen, es muß Vollmond sein. Eine weitere Voraussetzung ist, aufgrund der gegen die Ekliptik geneigten Bahn des Mondes, daß der Mond kurz vor oder nach einem Knotendurchlauf steht (vgl. 1.3), damit er sich nicht über oder unter dem Erdschatten vorbeibewegt. In Daten ausgedrückt, darf der Winkel zwischen Knotenlinie und Sonne oder Mond nicht mehr als $12^{\circ} 15'$ betragen, sonst entsteht keine totale Finsternis. Streift der Mond den Erdschatten nur, d.h. befindet er sich in einer größeren Entfernung zu einem Knoten, ist das Ergebnis eine partielle Finsternis.

Bei einer totalen Finsternis dringt der Mond zuerst in den Halb- (Penumbra) und dann in den Kernschatten (Umbra) der Erde ein. Im Halbschatten nimmt seine Helligkeit kaum ab, darum spricht man häufig nicht von Finsternis. Durch Brechung an der dichten Erdatmosphäre und Beugung wird ein Teil des Sonnenlichts in den geometrisch zu erwartenden Schattenraum gelenkt. Dieser Effekt wirkt sich besonders auf das langwellige Spektrum aus, der Mond ist also bei seinem Durchgang des Kernschattens nicht vollkommen dunkel, sondern erscheint mehr oder weniger stark braun-rot gefärbt. Aus

dieser Färbung kann man Rückschlüsse auf die Zusammensetzung der Erdatmosphäre ziehen. Dieser Aspekt einer Mondfinsternis ist der einzige, dem die heutige Wissenschaft noch Interesse entgegenbringt.

In der mittleren Entfernung des Mondes von der Erde ist der Erdschattenkegel etwa dreimal breiter als der mittlere Durchmesser des Mondes. Falls der Mond genau durch die Kegelmittle läuft, muß er sich von Beginn bis Ende der totalen Finsternis zweimal um seine Breite fortbewegen, daraus ergibt sich die Maximaldauer der Totalität von etwa 100 Minuten. Zwischen dem ersten und letztem Kontakt mit dem Schatten können bis zu 3,5 Stunden vergehen.

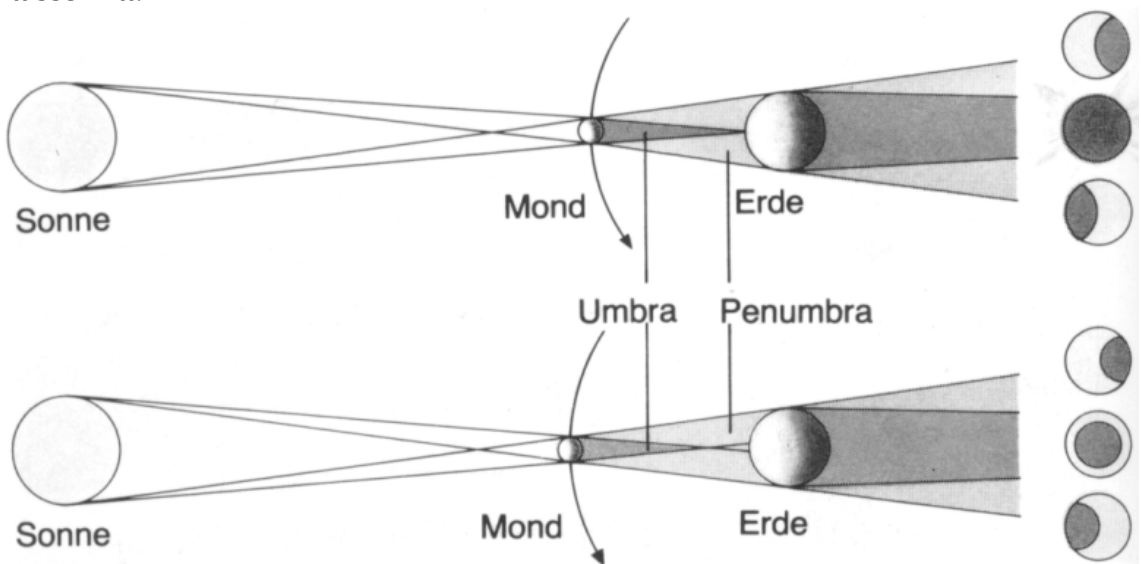
Die Verfinsterung ist an allen Punkten der Erde zu beobachten, an denen der Mond über dem Horizont steht.



Graphik aus: Moore: Der Mond

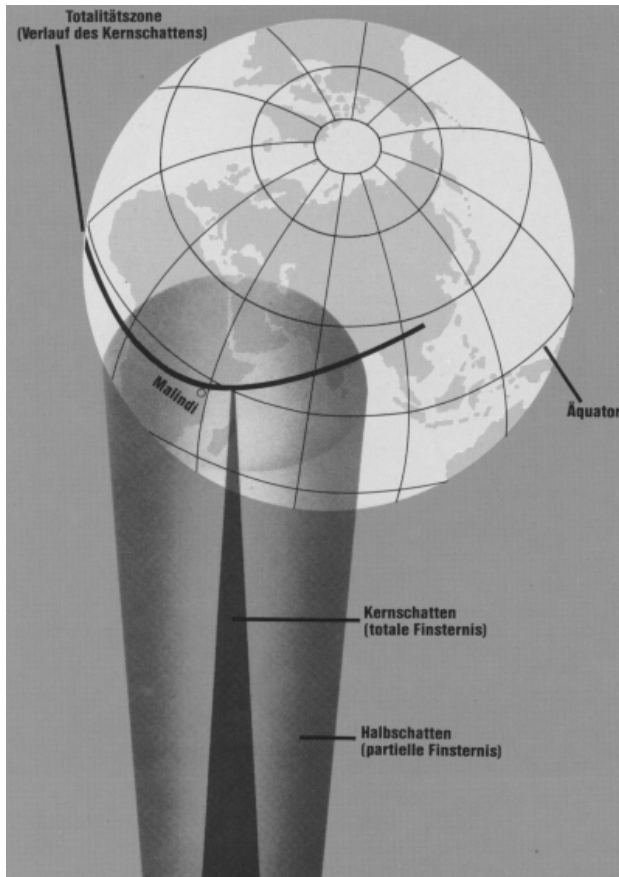
2.2 Sonnenfinsternis

Bei einer Sonnenfinsternis bewegt sich die Erde durch den Mondschatten, die Mondscheibe bewegt sich vor der Sonne vorbei und bedeckt sie für einen kurzen Zeitabschnitt.



Graphik aus: Moore: Der Mond

Dazu müssen zwei Bedingungen erfüllt sein. Es muß Neumond sein, d.h. die beiden Gestirne Sonne und Mond müssen die gleiche ekliptale Länge haben und der Mond muß sich kurz vor oder nach einem Knotendurchgang befinden (Winkel zwischen Knotenlinie und Sonne oder Mond nicht größer als $18^{\circ}15'$). Verfolgt man nun den Schattenwurf des Mondes vom Standpunkt eines irdischen Beobachters, werden die folgenden Verhältnisse



Graphik aus: Ekrutt: Die Sonne

klarer. Auf der Abbildung links erkennt man den Kernschatten (Umbra) des Mondes, den Bereich, in den kein Licht direkt von der Sonnenscheibe eindringen kann. Daran schließt sich der Bereich des Halbschattens (Penumbra) an, in dem ein Beobachter die Sonne partiell verfinstert sieht, es dringt nur von Teilen der Sonnenscheibe Licht ein. Aufgrund eines kosmischen Zufalls erscheinen beide Himmelskörper auf der Erde etwa gleich groß, d.h. die Größen- und Entfernungsverhältnisse entsprechen einander. Deshalb erreicht das Ende des Kernschattenkegels gerade die Erde, die Totalitätszone begrenzt sich dadurch auf höchstens 300 und der Bereich des Halbschattens auf 1000 km. Der Schattenkegel läuft im Mittel mit einer Geschwindigkeit von 35 km/min über die Erde, das beschränkt die Totalitätsdauer im günstigsten Fall auf 7,6 Minuten.

Die Entfernung vom Mond zur Erde schwankt allerdings und ändert damit die Verhältnisse von Finsternis zu Finsternis. Befindet sich der Mond in einer großen Entfernung von der Erde, erreicht sie sein Schattenkegel nicht mehr ganz, es kommt zu einer sogenannten ringförmigen Finsternis (vgl. Abbildung vorherige Seite), weil die Mondscheibe kleiner als die Sonnenscheibe erscheint. Eine Finsternis kann auch von ringförmig zu total oder umgekehrt wechseln. Haben Sonne und Mond den scheinbar gleichen Durchmesser, zeigt sich das Perlschnurphänomen: Unebenheiten des Mondrandes lassen an einigen Stellen das Sonnenlicht sehen, dabei schrumpft die Totalitätszone auf eine Linie und die Dauer auf einen Moment.

Eine Sonnenfinsternis führt zu einem merklichen Temperaturabfall auf der Erde. Ein sich in größerer Höhe befindender Beobachter kann den Mondschatten über die Erde streichen sehen. Kurz vor der Totalität verursachen Schlieren in der Atmosphäre sich rasch bewegende Licht- und Schattenwirkungen.

Für die Astronomie bietet eine totale Finsternis außerordentliche Beobachtungsmöglichkeiten. Das intensive Streulicht der zentralen Sonnenscheibe wird ausgeschaltet und die äußeren Schichten (Korona, Chromosphäre) sowie die nähere Umgebung der Sonne werden sichtbar. Man kann Aufnahmen der Korona und Chromosphäre gewinnen

und auch die genaue Position von Fixsternen am Sonnenrand bestimmen. Mit solchen Positionsbestimmungen kann z.B. die durch die allgemeine Relativitätstheorie vorausgesagte Lichtablenkung durch die Gravitation der Sonne nachgeprüft werden.

3. Berechnungen / Daten

Als nächstes ist nun zu klären, nach welchem Zeitintervall eine gleichartige Sonnen- oder Mondfinsternis wiederkehrt. Es muß also der Zeitraum von einer Konstellation der drei Gestirne Erde, Mond und Sonne bis zur nächsten gleichartigen bestimmt werden bzw. von einem Bahnknotendurchgang zum folgenden. In Bezug auf den Mond haben wir diese Periode unter dem Begriff synodischer Monat (vgl. 1.3) oder im Bezug auf die Bahnknoten als drakonitischer Monat und bei der Erde als Finsternis-Jahr³ (vgl. 1.2) kennengelernt. Eine Kombination dieser Werte erfolgt über die Bestimmung ihres kleinsten gemeinsamen Vielfachen, d.h. des kürzesten Intervalls in dem sie annähernd ganzzahlige Teiler sind :

346,62	Tage * 19	= 6585,78 Tage; (Finsternis-Jahr)
29,5306	Tage * 223	= 6585,32 Tage; (synodischer Monat)
27,2122	Tage * 242	= 6585,26 Tage; (drakonitischer Monat)

Es ergibt sich eine Periode von ungefähr 6585,5 Tagen oder 18 Jahren und 11,3 Tagen, nach der Erde, Mond und Sonne sich wieder in einer gleichartigen Konstellation befinden. Diese Periodizität der Verfinsterung wird als die Saros-Periode bezeichnet. Sie liefert auch eine einfache Erklärung für die verschiedenen Lagen der Totalitätszonen aufeinanderfolgender Sonnenfinsternisse. Die Saros-Periode besteht aus einer ganzen Anzahl von Tagen und einem Drittel Tag, die Erde ist also im Vergleich zu ihrer vorherigen Position um 120° um ihre eigene Achse weiter rotiert. Die oben verglichenen Perioden sind aber nicht exakt gleich, d.h. eine Finsternis unterscheidet sich leicht von der vorhergehenden und ein Saros-Zyklus findet schließlich ein Ende.

Aufgrund mehrerer parallel laufender Saros-Zyklen ergeben sich folgende Häufigkeiten: Für einem bestimmten Platz auf der Erde ist eine Sonnenfinsternis im Mittel nur alle 360 Jahre zu beobachten. Auf die ganze Erde bezogen treten aber Sonnen- 1,5mal häufiger auf als Mondfinsternisse. Es finden in einem Jahr maximal 7 Finsternisse statt, davon 2 Mond- und 5 Sonnen- oder 3 Mond- und 4 Sonnenfinsternisse.

Eine Aufstellung aller Sonnen- und Mondfinsternisse von 1980 bis 2000 ist den folgenden Tabellen (nach Schaifers, Traving: Meyers Handbuch Weltall, S. 45-48) zu entnehmen.

Sonnenfinsternisse:

Erläuterungen:

Typ: t = total, r = ringförmig, p = partiell

Verlauf der Totalität:

Totalität bei totaler bzw. Zone maximaler Bedeckung bei ringförmiger Sonnenfinsternis. „-“, wenn der Kernschatten die Erde nicht berührt.

³Eigentlich beträgt der Zeitraum eines synodischen Umlaufs etwa 365,24 Tage, aber unter Berücksichtigung der Mondbahnstörungen (vgl.1.3) muß das Finsternis-Jahr gewählt werden

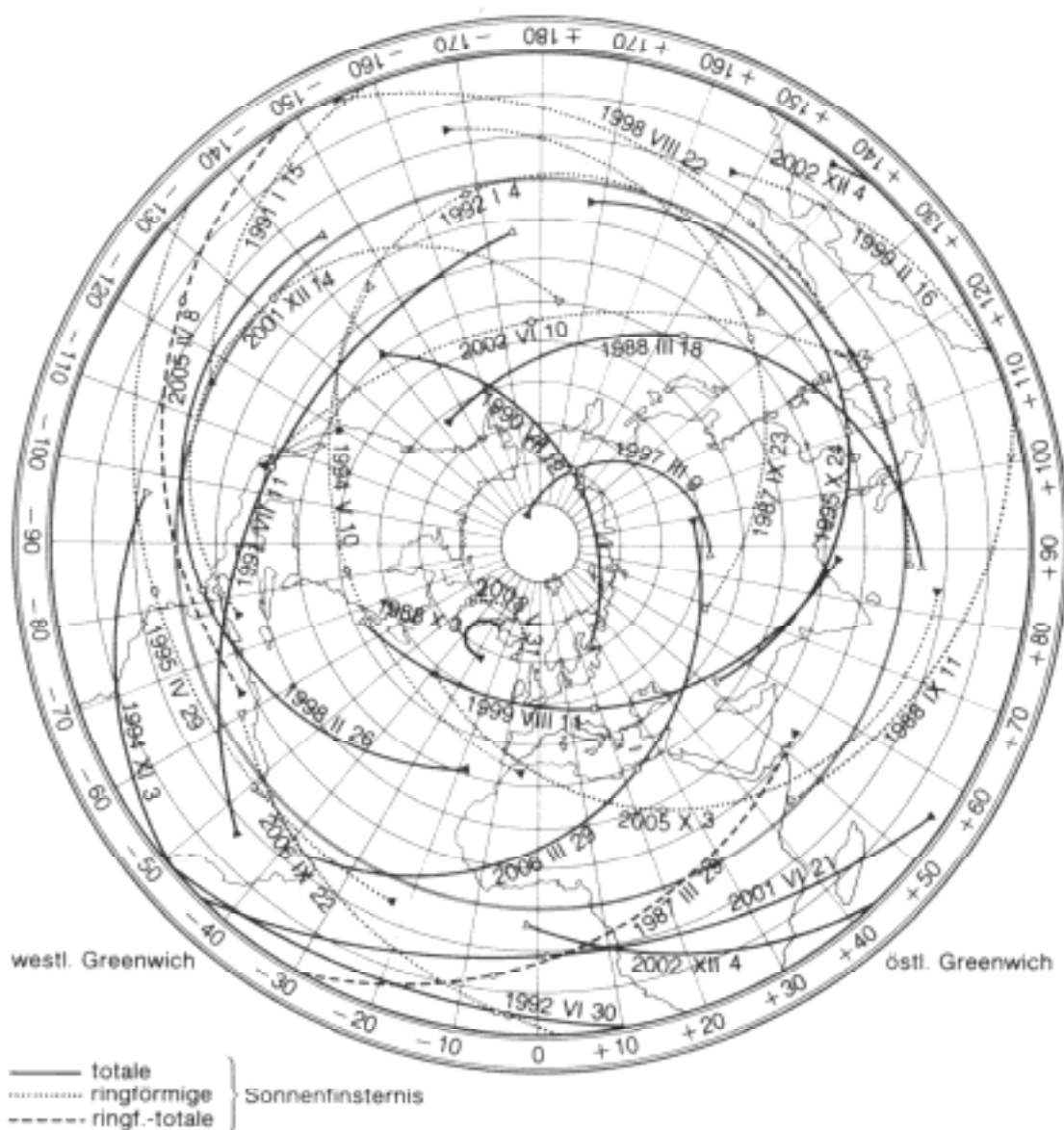
Sichtbarkeit in Deutschland:

Zeit = Zeit der maximalen Bedeckung

Anteil = Anteil des bedeckten Sonnendurchmessers

Datum	Typ	Verlauf der Totalität	Sichtbarkeit in Deutschland		
			Typ	Zeit	Anteil
1980, 16. Februar	t	Äquatorialafrika, Indien, China	-	-	-
1980, 10. August	r	Peru, Brasilien	-	-	-
1981, 4. Februar	r	südl. von Australien, Pazifik	-	-	-
1981, 31. Juli	t	Rußland	p	vor Sonnenaufgang	< 10%
1982, 15. Januar	p	-	-	-	-
1982, 21. Juni	p	-	-	-	-
1982, 20. Juli	p	-	p	Sonnenuntergang	28%
1982, 15. Dezember	p	-	p	9h 25m	43%
1983, 11. Juni	t	Indonesien	-	-	-
1983, 4. Dezember	r	Äquatorialafrika	p	13h 15m	2%
1984, 30. Mai	r	USA, Azoren, Algerien	p	nach Sonnen- untergang	< 42%
1984, 22. November	t	Indonesien, Australien	-	-	-
1985, 19. Mai	p	-	-	-	-
1985, 12. November	t	südl. Pazifik	-	-	-
1986, 9. April	p	-	-	-	-
1986, 3. Oktober	t	Grönland	-	-	-
1987, 29. März	r	Zentralafrika	-	-	-
1987, 23. September	r	Zentralasien, China	-	-	-
1988, 18. März	t	Indonesien, Pazifik	-	-	-
1988, 11. September	r	Indischer Ozean	-	-	-
1989, 7. März	p	-	-	-	-
1989, 31. August	p	-	-	-	-
1990, 26. Januar	r	Südatlantik	-	-	-
1990, 22. Juli	t	Finnland, Eismeer, Sibirien	-	-	-
1991, 15. Januar	r	Australien, Neuseeland	-	-	-
1991, 11. Juli	t	Mittelamerika, Kolumbien, Brasilien	-	-	-
1992, 4. Januar	r	Pazifik	-	-	-
1992, 30. Juni	t	Südatlantik	-	-	-
1992, 24. Dezember	p	-	-	-	-
1993, 21. Mai	p	-	p	16h 35m	5%
1993, 13. November	p	-	-	-	-
1994, 10. Mai	r	USA, Marokko	p	nach Sonnenunter- gang	51%
1994, 3. November	t	Chile, Argentinien, Südafrika	-	-	-
1995, 29. April	r	Peru, Brasilien	-	-	-
1995, 24. Oktober	t	Persien, Indien, Südostasien	-	-	-
Datum	Typ	Verlauf der Totalität	Sichtbarkeit in Deutschland		

			Typ	Zeit	Anteil
1996, 17. April	p	-	-	-	-
1996, 12. Oktober	p	-	p	15h 30m	65%
1997, 9. März	t	Rußland	-	-	-
1997, 1. September	p	-	-	-	-
1998, 26. Februar	t	Mittelamerika	-	-	-
1998, 22. August	r	Indonesien	-	-	-
1999, 16. Februar	r	Australien	-	-	-
1999, 11. August	t	Mitteleuropa, Vorderasien, Indien	t	11h 30m	100% in SD
2000, 5. Februar	p	-	-	-	-
2000, 1. Juli	p	-	-	-	-
2000, 31. Juli	p	-	-	-	-
2000, 25. Dezember	p	-	-	-	-

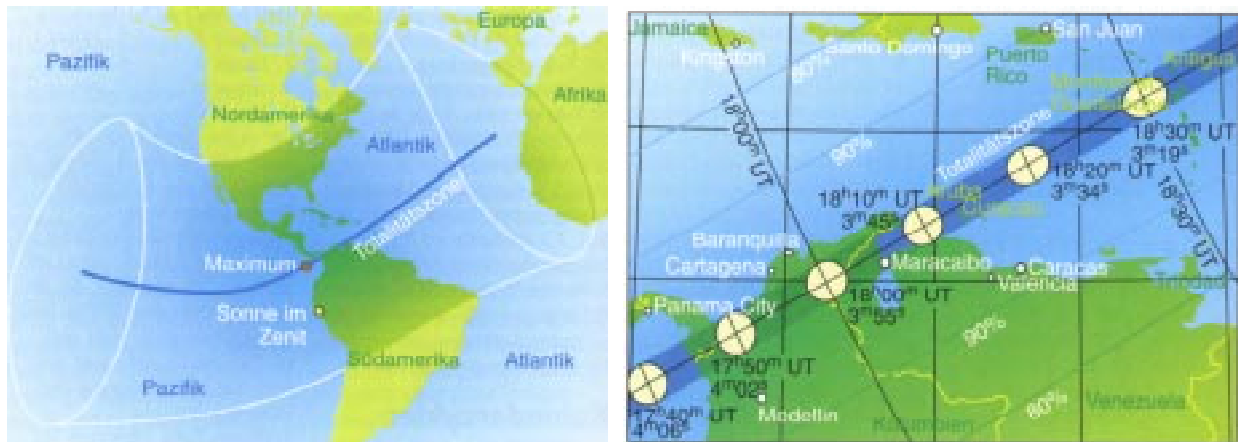


Graphik aus: Schaifers, Traving: Meyers Handbuch Weltall

Die obige Graphik veranschaulicht noch einmal den Verlauf der Finsternisse.

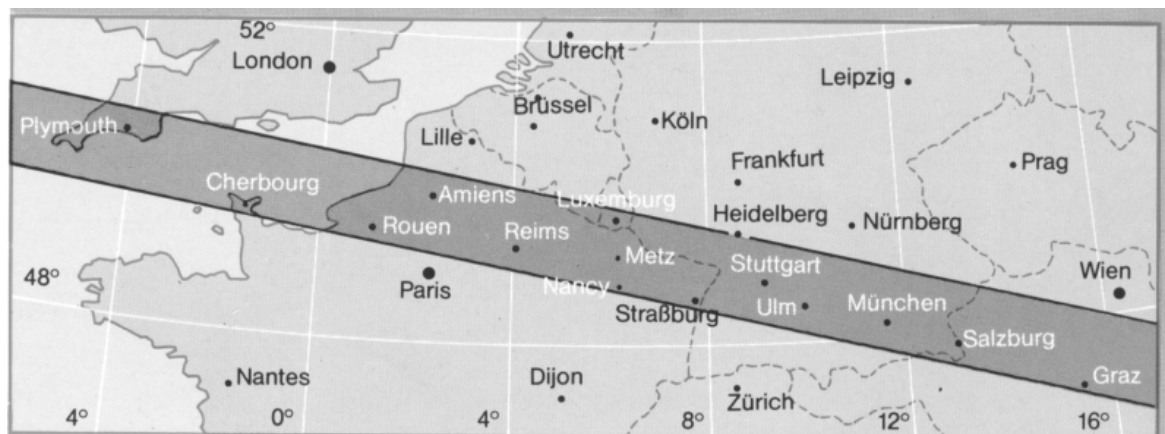
Die nächste totale Sonnenfinsternis findet also dieses Jahr (1998) am 26. Februar statt, ist aber leider von Mitteleuropa aus nicht zu beobachten.

Beginn: 15h 50m MEZ; Ende: 21h 06m MEZ; Mond- 1,44mal größer als Sonnenscheibe
Der Verlauf der Totalitätszone ist den beiden Graphiken zu entnehmen.



Graphiken aus: Keller: Himmelsjahr 1998

Allerdings ereignet sich am 11. August 1999 die einzige totale Sonnenfinsternis in diesem Jahrhundert, die in Deutschland sichtbar ist. Die Totalitätszone läuft durch Süddeutschland.



Graphik aus: Ekrutt: Die Sonne

Mondfinsternisse von 1980 bis 2000:

Erläuterungen:

t = totale, p = partielle Mondfinsternis

Zeit der Bedeckung in MEZ

Datum	Typ	Zeit der größten Bedeckung	Halbe Dauer part. Phase	Halbe Dauer totale Phase	Sichtbarkeit in Deutschland
1981, 17. Juli	p	5h 48m	80m	-	p
1982, 9. Jan	t	20h 56m	107m	42m	t
1982, 6. Juli	t	8h 30m	112m	51m	-
1982, 30. Dez	t	12h 26m	105m	33m	-

Datum	Typ	Zeit der größten Bedeckung	Halbe Dauer part. Phase	Halbe Dauer totale Phase	Sichtbarkeit in Deutschland
1983, 25. Juni	p	9h 25m	65m	-	-
1985, 4. Mai	t	20h 57m	106m	35m	t
1985, 28. Okt	t	18h 34m	102m	21m	t
1986, 24. Apr	t	13h 44m	105m	34m	-
1986, 17. Okt	t	20h 19m	106m	37m	t
1987, 7. Okt	p	4h 59m	11m	-	p
1988, 27. Aug	p	12h 06m	61m	-	-
1989, 20. Feb	t	16h 37m	106m	38m	-
1989, 17. Aug	t	4h 04m	110m	49m	t
1990, 9. Feb	t	20h 12m	102m	23m	t
1990, 6. Aug	p	15h 07m	87m	-	-
1991, 21. Dez	p	11h 34m	35m	-	-
1992, 15. Jun	p	5h 57m	87m	-	p
1992, 20. Dez	t	0h 43m	106m	37m	t
1993, 4. Jun	t	14h 00m	110m	49m	-
1993, 29. Nov	t	7h 26m	103m	25m	t
1994, 25. Mai	p	4h 28m	58m	-	p
1995, 15. Apr	p	13h 17m	39m	-	-
1996, 4. Apr	t	1h 09m	108m	42m	t
1996, 27. Sep	t	3h 53m	106m	36m	t
1997, 24. Mär	p	5h 41m	97m	-	p
1997, 16. Sep	t	19h 57m	105m	33m	t
1999, 28. Juli	p	12h 36m	71m	-	-
2000, 21. Jan	t	5h 44m	107m	42m	t
2000, 16. Juli	t	14h 55m	112m	51m	-

Das Jahr 1998 fehlt in der Tabelle, da nur sogenannte Halbschattenfinsternisse, d.h. der Mond streift nur den Halbschatten der Erde, stattfinden:

Halbschattenfinsternis am 13. März 1998 Halbschattenfinsternis am 8. August 1998

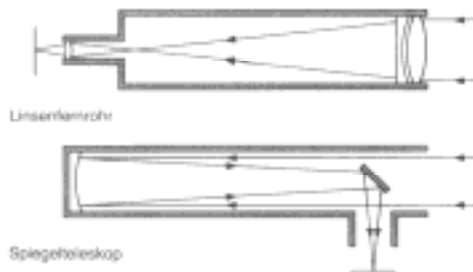
	MEZ		MEZ
Eintritt des Mondes in den Halbschatten	3h 14m	Eintritt des Mondes in den Halbschatten	2h 32m
Mitte der Finsternis	5h 20m	Mitte der Finsternis	3h 25m
Austritt des Mondes aus dem Halbschatten	7h 26m	Austritt des Mondes aus dem Halbschatten	4h 18m

(nach Keller: Himmelsjahr 1998, S. 27)

4. Praktische Beobachtung

4.1 Ausrüstung

Meine Ausrüstung zur Beobachtung und Dokumentation der in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen astronomischen Phänomene besteht aus einem Spiegelteleskop und einer einfach gehaltenen einäugigen Spiegelreflexkamera⁴.



Graphik aus: Langford: Enzyklopädie der Photopraxis

Bei einer fotografischen Dokumentation von Himmelsereignissen würde sich eigentlich anbieten, auf Teleobjektive mit langer Brennweite zurückzugreifen, zudem diese auch noch auf den Fotoapparat abgestimmt sind. Die hohen Preise bzw. die geringe Lichtstärke stellen aber den Hobbyastronomen vor ein Problem. Eine gute Alternative besteht in der direkten Verwendung von Linsen- oder Spiegelfernrohren. Deren Nachteil liegt in einer Korrektur ihrer Objektive für visuelle Beobachtung. Spiegelteleskope sind davon

am wenigstens betroffen, denn sie erreichen ihre optische Wirkung durch Reflektion des einfallenden Lichts, Linsenfernrohre hingegen brechen es, dabei kann es zu Abbildungsunschärfen und Farbsäumen um das beobachtete Objekt kommen. Ein Spiegelteleskop ist darum einem Linsenfernrohr vorzuziehen.

Um die Kamera mit dem Fernrohr zu verbinden, gibt es zwei Möglichkeiten. Entweder wird die Kamera ohne Objektiv anstelle des Okulars im Brennpunkt des Fernrohrs montiert, oder mit Hilfe eines Adapters, in dem das Okular eingesetzt ist, direkt am Okularstutzen

befestigt. Ich selbst bevorzuge die zuletzt genannte Methode, die sogenannte Okularprojektion. Ihr Aufbau ist auf dem Bild links zu erkennen.

Unverzichtbar für die Ausrüstung sind ein Draht- oder zumindest ein Selbstauslöser, um die Erschütterungen während des Fotografieren möglichst gering zu halten. Um bei längeren Belichtungszeiten die Erdrotation und damit die scheinbare Bewegung der Himmelskörper auszugleichen, ist eine paralaktische Montierung des Fernrohrs zur Nachführung nötig. Das Fernrohr wird dabei um eine Achse parallel zur Polachse der Erde gedreht. Zu empfehlen ist auch eine Vollmattscheibe für den Sucher der Kamera, sowie eine Sucherlupe, um die Scharfeinstellung zu erleichtern. Sie erweist sich nämlich vor dem dunklen Hintergrund der meisten astronomischen Objekte als schwierig. Ich konnte auf diese beiden Hilfsmittel aus Material- und Kostengründen leider nicht zurückgreifen.

⁴ nähere Daten siehe technischer Anhang

4.2 Fehlerquellen und Probleme

Bei einer Beobachtung und fotografischen Dokumentation astronomischer Ereignisse treten verschiedene Probleme und Fehlerquellen auf.

Am schwierigsten ist vor den eigentlichen Aufnahmen die Wahl des richtigen Filmmaterials. Als erstes muß man sich entweder für Farb-, Schwarzweiß- oder Diapositivfilme entscheiden. Diafilme fallen aufgrund ihres geringen Belichtungsspielraums⁵ nicht in die engere Wahl, es sei denn man benötigt, z.B. für einen Vortrag, projektionsfähige Bilder. Für Schwarzweißfilme sprechen eine höhere Kontrastwirkung sowie eine geringe Körnigkeit im Gegensatz zu Farbfilmen vergleichbarer Empfindlichkeit. Allerdings kann bei den meisten Himmelsereignissen auf eine farbige Darstellung nicht verzichtet werden. Bei der Aufnahme einer Mondfinsternis z.B. wäre die charakteristische Rot-Braunfärbung nicht zu sehen, oder ein Bild des Orionnebels würde nicht seine interessante Farbe zeigen. Falls man nicht selbst entwickelt, gereichen die mangelnde Ausstattung der Labors auf dem Schwarzweißsektor sowie hohe Preise und lange Wartezeiten (eigene Erfahrung) den Schwarzweißfilmen zum Nachteil. Farbfilme bieten sich durch ihre verhältnismäßig geringen Preise sowie durch eine meist qualitativ hochwertige Entwicklung in den Labors an. Außerdem ist eine natürliche Wiedergabe in den Originalfarben gewährleistet.

Als nächstes ist die Wahl der Filmsorte und der geeigneten Empfindlichkeit zu betrachten. Je höher die Empfindlichkeit desto kürzer kann selbst bei geringen Lichtstärken die Belichtungszeit gehalten werden. Bei hoch und höchstempfindlichen Filmen tritt aber meist ein Verlust der Farbbrillanz, der Schärfe und des Kontrastes durch die gröbere Körnung ein. Meine Erfahrungen zeigen, daß sich dieser Effekt etwa ab einer Filmempfindlichkeit von 800 ASA⁶ und bei Vergrößerungen über 13x18cm stark störend bemerkbar macht. Ich verwende bei meinen Aufnahmen meistens Filme der Serien Kodak Gold und Kodak Royal Gold in den Empfindlichkeiten 400 bzw. für Objekte geringer Lichtstärke 1000 ASA. Dabei hat sich der Kodak Royal Gold 400 als besonders geeignet für die meisten Situationen gezeigt, vor allem wegen seines großen Belichtungsspielraums von etwa drei Blenden.

Bei der Aufnahme von Bildern gibt es auch noch einige Fehlerquellen und Probleme. Einen Großteil davon bringt der jeweilige Aufnahmestandpunkt mit sich. Streulicht umliegender Lichtquellen kann die Fotografien verderben. Auch ungünstige atmosphärische Bedingungen (z.B. aufsteigende Warmluft, Dunst) wirken sich negativ auf die Qualität der Bilder aus. Kritisch ist auch der Zeitpunkt des Auslösens der Kamera sowie die darauffolgende Belichtungsdauer, schon kleinste Erschütterungen verwackeln das Foto. Es genügen z.B. schon ihn einiger Entfernung vorbeifahrende Lastwagen. Um einer Erschütterung der Kamera mit der Hand während des Auslösevorgangs vorzubeugen, muß dieses entweder per Draht- oder Selbstauslöser geschehen.

Die größten Fehlerquellen birgt aber die Wahl der Belichtungszeit sowie das Scharfstellen des Teleskops. Eine korrekte Scharfeinstellung gestaltet sich wegen des schwarzen Hintergrundes und der geringen Lichtstärke der Objekte im Sucher als schwierig. Durch die starke Vergrößerung reagiert die Scharfeinstellung optisch bedingt sehr empfindlich, eine Berührung der Kamera kann schon die Schärfe verändern. Ein Erleichterung würden eine Vollmattscheibe und ein vergrößernder Winkelsucher bilden. Bei meiner Kamera ist aber ein Wechsel der Suchermattscheibe nicht vorgesehen und die Anschaffung eines Winkelsuchers scheiterte bis jetzt an den Kosten, ich mußte also auf diese Hilfsmittel leider

⁵Bei Diafilmen kann keine Belichtungskorrektur vorgenommen werden, da Abzüge auf Fotopapier entfallen

⁶siehe technischer Anhang: Filmempfindlichkeiten

verzichten. Die Scharfstellung gestaltete sich, zudem ich noch Brillenträger bin, als relativ schwierig. Aber durch einige Erfahrung und Tricks, z.B. das Achten auf den Kontrast oder die Schärfe der Ränder eines Objekts (z.B. Mond) ließ sich das Problem meistern.

Bei den Belichtungszeiten kam mir meine mehrjährige Erfahrung auf dem Gebiet der herkömmlichen Fotografie zugute. Der Belichtungsmesser einer Kamera läßt sich nämlich hier nicht einsetzen, denn der Adapter verhindert eine Synchronisation der Belichtungsautomatik, d.h. man ist auf manuelle Einstellungen angewiesen. Als Orientierung dient die Tatsache, daß für die korrekt belichtete Aufnahme des Vollmonds auf einen 400 ASA Film eine Belichtungszeit von etwa 1/60 sec. erforderlich ist. Um gute Bilder zu erhalten, ist man in diesem Spezialgebiet der Fotografie auf Erfahrungswerte und auf Belichtungsreihen, d.h. auf die Anfertigung mehrerer Aufnahmen mit verschiedenen Belichtungszeiten, die sich um die geschätzte Einstellung bewegen, angewiesen.

Ein weiteres Problem stellt der sogenannte Schwarzschildeffekt dar. Bei extrem kurzen bzw. langen Belichtungszeiten nimmt die relative Empfindlichkeit des Films ab. Das muß besonders bei lichtschwachen Aufnahmeobjekten (lange Belichtung) berücksichtigt werden.

Bei solch langen Belichtungszeiten bringt auch die Erdrotation ein Problem mit sich. Sie bewirkt eine scheinbare Bewegung der Himmelskörper (vgl. 1.2). Bei der Aufnahme muß diese Rotation kompensiert werden, um eine unverwischte Aufnahme zu erhalten, das geschieht mit Hilfe einer paralaktischen Montierung (vgl. 4.1) und einem Motor zur Nachführung.

4.2 Die Beobachtung

In meinem Archiv befinden sich Aufnahmen der partiellen Sonnenfinsternis vom 12. Oktober 1996 (vgl. 3.) und den totalen Mondfinsternissen vom 27. September 1996 sowie vom 16. September 1997. Aufgrund der starken Bewölkung konnte ich die Mondfinsternis vom 24. März 1997 nicht beobachten.

Für die nun folgende Beschreibung von Beobachtungen habe ich mich für die totale Mondfinsternis im September letzten Jahres und die partielle Sonnenfinsternis am 12. 10. 1996 entschieden, denn sowohl die visuelle Betrachtung als auch die fotografische Dokumentation waren durchgehend unter ausreichenden Bedingungen möglich. Im Gegensatz dazu beeinträchtigte bei dem anderen Ereignis starker Dunst (27. 9. 1996) die Beobachtung.

Im Vorfeld der geplanten Beobachtung liefern Fachbücher oder Zeitungsartikel einen guten zeitlichen Überblick, hier über die Mondfinsternis vom Dienstag den 16. September 1997 (nach Donaukurier, alle Zeitangaben nach Mitteleuropäischer Sommerzeit):

- Eintritt des Mondes in den Halbschatten: 18.11 Uhr
- Eintritt des Mondes in den Kernschatten: 19.08 Uhr
- Beginn der totalen Verfinsterung: 20.16 Uhr
- Mitte der Finsternis: 20.47 Uhr
- Ende der totalen Verfinsterung: 21.18 Uhr
- Austritt des Mondes aus dem Kernschatten: 22.25 Uhr
- Austritt des Mondes aus dem Halbschatten: 23.22 Uhr

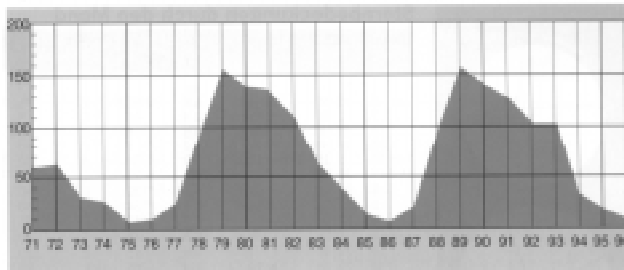
Zur Planung gehört außerdem die Anschaffung des geeigneten Filmmaterials, in diesem Fall zwei mittel- (400ASA) und ein hochempfindlicher Film (1000ASA) mit jeweils 36 Bildern für die Zeit teilweiser bzw. voller Bedeckung.

Der Beginn der Verfinsterung vor dem Mondaufgang in unseren Breiten (19.28 Uhr), gestaltete die Wahl eines geeigneten Beobachtungsstandpunktes als schwierig, der tiefstehende Mond wurde von Geländeformationen oder Gebäuden verdeckt. Dadurch konnte ich mit meiner Beobachtung und den Fotografien erst um 20.02 Uhr beginnen. Der Mond ist fast vollständig bedeckt, nur am Rand ist noch ein heller Streifen zu erkennen.

Zwischen 20.05 und 20.19 war ich damit beschäftigt, Bilder mit variablen Belichtungszeiten (zwischen 10 und 20 sec.) anzufertigen. Die geringe Lichtstärke machte eine zumindestens hilfswiese Orientierung am eingebauten Belichtungsmesser unmöglich, d.h. die Belichtungszeit richtete sich nach Schätzungen von mir. Die Kamera war natürlich mit hochempfindlichem Film geladen. Um 20.28 Uhr ereignet sich ein leichter Wechsel im visuellen Erscheinungsbild des Mondes, der stark rot-bräunlich gefärbt am noch tief dunkelblauen Himmel steht. Die Gebirge des Mondes treten im Schatten zurück und durch ihre farblich dunkle Kontrastwirkung treten die Maria⁷ deutlich hervor.

In den folgenden Minuten verstärkt sich dieser Effekt durch die nachlassende Resthelligkeit des Himmels noch. Die Beobachtung war bis zu diesem Zeitpunkt durch die in der Nähe vorbeiführende Straße gestört. Für die Aufnahmen mußte ich immer Verkehrspausen abwarten, um Streulicht zu vermeiden. Der höhersteigende Mond ermöglichte mir aber nun einen Positionswechsel. Nach etwa einer Viertelstunde konnte ich um 21.04 Uhr die Beobachtung an meinem neuen Standort wieder aufnehmen. Ich führte im Intervall von 5 Minuten bis 21.30 Uhr Belichtungsreihen durch. Zu diesem Zeitpunkt ist ein deutlicher heller Streifen am Mondrand zu sehen. Der Schatten wird davon überstrahlt und tritt optisch in den Hintergrund. Es folgten wieder Belichtungsreihen im Abstand von jeweils 5 Minuten. Um 21.49 Uhr hat sich der Mond nach meiner Schätzung etwa zur Hälfte aus dem Kernschatten herausbewegt. Ich setzte das 5 minütige Intervall bis zum vollständigen Austritt des Mondes, nach meiner Beobachtung um etwa 22.23 Uhr, fort. Danach brach ich meine Observation ab. Die Verfinsterung im Halbschatten ist mit meiner Ausrüstung kaum zu beobachten.

Die Beobachtung der Sonnenfinsternis vom 12. Oktober 1996 gestaltete sich weniger interessant. Die Bedeckung betrug nur etwa 65%, wie der Tabelle in 3. zu entnehmen ist.



T.8: Jahresmittel der Sonnenfleckenrelativzahlen von 1970 bis 1995.

Graphik aus: Keller: Himmelsjahr 1998

Außerdem war auf der Oberfläche der Sonne nur eine geringe Strukturierung zu erkennen, die Sonnenfleckenaktivität befand sich in einem Minimum (vgl. Diagramm links). Bei der Beobachtung einer Sonnenfinsternis müssen aufgrund der starken Helligkeit

Schutzmaßnahmen sowohl für die optischen Systeme als auch das Auge getroffen werden. Das Objektiv des

Teleskops wird nur teilweise geöffnet und in das Okular ein spezieller Filter eingeschraubt, dieser erklärt auch die Grünfärbung der Bilder der Sonnenfinsternis im folgenden Kapitel. Aus dem selben Grund kann auch der Sucher nicht verwendet werden, die Ausrichtung des Teleskops erfolgt bei Sonnenbeobachtungen im Allgemeinen mit Hilfe des Schattenwurfs auf einem neutral grauem Karton. Zu Beginn der Finsternis um 15.30 Uhr war weder mit bloßem Auge (durch z.B. eine Schweißmaske geschützt) noch im Teleskop etwas zu

⁷flache, tiefliegende Gebiete der Mondoberfläche

erkennen. Erst 4-5 Minuten später schob sich der Mond im Fernrohr deutlich erkennbar vor die Sonnenscheibe. Für den normalen Beobachter machte sich die Sonnenfinsternis nur kurz bzw. nach und während der Vollbedeckung bemerkbar. Trotz eines hellen Herbsttages war die Umgebung in ein leicht fahles Licht getaucht. Am Höhepunkt der Verfinsterung bewölkte sich der Himmel und die Beobachtung mußte abgebrochen werden.

Abschließend möchte ich bemerken, daß ich meiner Meinung nach unter Anbetracht meiner einfachen Ausrüstung sehr gute Ergebnisse erzielt habe, die auch einem Vergleich mit Bildern aus der Fachliteratur durchaus standhalten können. Nach Abschluß dieser Arbeit beabsichtige ich, das Bildmaterial im Internet der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Bei der weiteren Planung meiner Beobachtungen und fotografischer Dokumentationen freue ich mich schon auf die in unseren Breiten sichtbare totale Sonnenfinsternis am 11. August 1999, die mir hoffentlich unter guten Bedingungen einige Aufnahmen der Sonnenkorona ermöglicht.

5. Technischer Anhang

Es folgen Auszüge aus den Bedienungsanleitungen der Kamera und des Spiegelteleskops:

Kamera:



Technische Daten

- Typ:** Elektronische 35 mm SLR-Kamera mit Lichtmessung durch das Objektiv und 16 LED-Anzeigepunkten im Sucher
- Bildformat:** 24 mm x 36 mm (in J135 Filmpatrone)
- Fassung:** Bajonett-"K"-Anschluß
- Verschuß:** Elektronischer vertikal ablaufender Metall-Schlitzverschuß
Bei automatischer Belichtung: 1/1000 bis 8 Sekunden, stufenlos, mit Empfindlichkeitsgrenze
Bei Manueller Belichtung: 1/1000 bis 1 Sekunden und "B" (Langzeitbelichtung)
Elektromagnetische Auslösung
- Sucheranzeige:** LED-Reihe mit 16 blinkenden bzw. leuchtenden Elementen, leuchtende LEDs zur Anzeige der Betriebsarten AUTO, M, 60 $\frac{1}{2}$ und B. Warnanzeige für Überbelichtung (OVER)
Verschlußzeitenanzeige, bestehend aus 12 leuchtenden LEDs, 1/1000 bis LT.

Blinkende LED zur Anzeige der empfohlenen Verschußzeit, 1/1000 bis LT.

Blitzsynchronisation: Aufsteckschuh, X-Kontakt (1/60 Sekunde)

Selbstausröser: Elektronisch gesteuert, mit LED-Anzeige (2 Sekunden vor der Auslösung, x: blinkt schneller), druckknopfbetätigt, Funktionsabwahl durch leichte Betätigung des Auslösers möglich, Vorlaufzeit ca. 10 Sekunden.

Sucher: Penta-Prismensucher für drei Scharfeinstellverfahren: Ausrichtung der Halbbilder mit Horizontal-Schnittbildindikator, ferner durch Mikropriemenring und gesamter Mattflächenscheibe; 0,86 fache Bildvergrößerung, Bildwinkel horizontal und vertikal 93% des tatsächlichen Bildfelds, (bei auf Unendlich "∞" eingestelltem Objektiv mit Normalbrennweite 50 mm)

Belichtungssteuerung: volle Blende TTL, mittenbetonte Mittelwertmessung, mit Photosensor-SPD, Blendenpriorität bei Einstellung AUTO mit automatisch geregelter Verschußzeit, LED-unterstützte manuelle Belichtungseinstellung bei Einstellung M

Meßbereich: EV-1 (Blende 2, 2 Sekunden) bis EV-18 (Blende 16, 1/1000 Sekunde) mit ISO 100/21 Film, 50 mm Objektiv und Blende 2.

Filmempfindlichkeitseinstellung: ISO 25/100 —

1600/33 in 1/3-Schritten

Filmtransport: Einzelbildschaltung durch eine Hebelbetätigung mit 135° Einrücken und 30° Spiel

Filmrückspulung: Durch Betätigung von Filmrückspulknopf und Filmrückspulkurbel; der Knopf kehrt nach vollständiger Rückspulung automatisch zur Ausgangsstellung zurück

Bildzählwerk: Vorwärtszählend mit automatischer Rückstellung bei Öffnen der Rückwand

Spannungsquelle: Zwei 1,5 V Alkalibatterien (LR44) oder Silberoxidbatterien (SR44) z. B., VARTA PX76

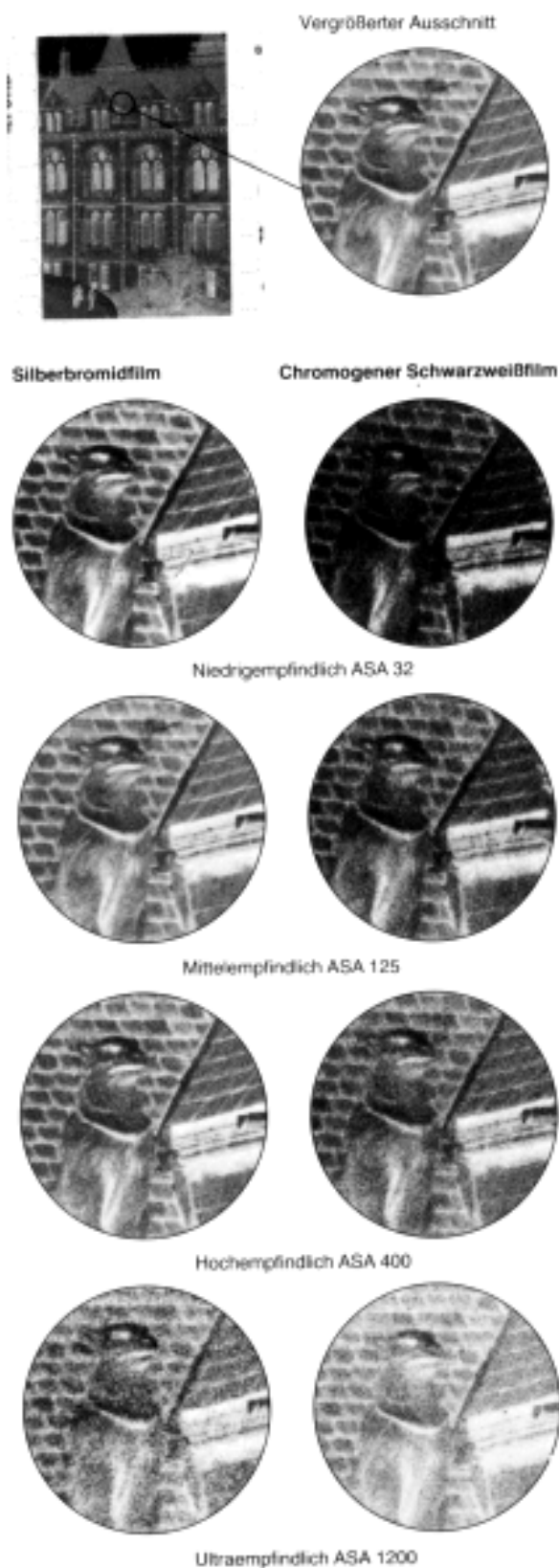
Batteriekontrolle: LED-Warnanzeige im Sucher
Abmessungen und Gewicht: 138,5 x 88 x 58 mm, 370 g (nur Kameragehäuse)

Teleskop:

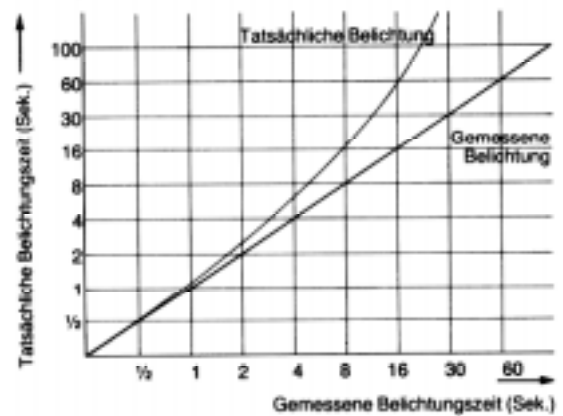


Primary Mirror					Magnification		Photography	
Clear Aperture	Focal Length	Light Gathering Power	Resolving Power (in seconds)	Faintest Discernible Stars (Magnitude)	Eyepieces	Original	With Barlow	f/Ratio
5" (125 mm)	1000 mm	278X	.91	12.5	18 mm 5 mm	56X 200X	112X 400X	f/8

Filme: Empfindlichkeit, Körnung und Schwarzschildeffekt
(alle Graphiken aus: Langford: Enzyklopädie der Photopraxis)



Gleichwertige Filmempfindlichkeit			
ISO	ASA	DIN	GOST
25/15°	25	15	22
32/16°	32	16	28
50/18°	50	18	45
64/19°	64	19	56
80/20°	80	20	70
100/21°	100	21	90
125/22°	125	22	110
160/23°	160	23	140
200/24°	200	24	180
400/27°	400	27	360
1250/32°	1250	32	1125



Das obige Diagramm veranschaulicht die Differenz zwischen gemessener und tatsächlicher Belichtungszeit bei einem durchschnittlichen Film, ausgelöst durch den Schwarzschildeffekt

Diese Graphik zeigt einen Vergleich der Körnung bei verschiedenen Filmempfindlichkeiten

6. Literaturverzeichnis

- Becker**, Udo: Herder Lexikon Weltraumphysik, Freiburg: Herder, 1975
- Ekrutt**, Joachim W.: Die Sonne, Die Erforschung des kosmischen Feuers, Hamburg: Gruner + Jahr AG&Co, 1981
- Gamow**, George: Sonne, Stern unter den Sternen, München: Ehrenwirth, 1967
- Griesser**, Markus: Himmelsfotografie, Bern; Stuttgart: Hallwag, 1982
- Hedgecoe**, John: Fotohandbuch, Bern: Hallwag, 1993
- Henkel**, Hans Rolf: Astronomie: Eine Einführung für Schulen, Volkshochschulen und zum Selbststudium, Thun; Frankfurt/Main: Deutsch, 1982
- Langford**, Michael: Enzyklopädie der Fotopraxis, Augsburg: Weltbild, 1989
- Mitton**, Jaqueline u. Simon: Lebendiges Wissen Astronomie, München: Christian, 1982
- Montenbruck**, Oliver: Grundlagen der Ephemeridenrechnung, München: Verlag Sterne und Weltraum Dr. Vehrenberg GmbH, 1985
- Moore**, Patrick: Der Mond, Freiburg: Herder, 1982
- Müller**, Bernd: Grundzüge der Astronomie, Leipzig: BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, 1984
- Prof. Dr. A. Weigert** u. **Dr. H. Zimmermann**: abc Astronomie, Hanau/Main: Werner Dausien, 1979
- Reichen**, Charles-Albert: Geschichte der Astronomie, Lausanne: Verleger Rencontre und Erik Nitsche International, 1963
- Schäfer**, Hans: Astronomische Probleme und ihre physikalischen Grundlagen, Braunschweig; Wiesbaden: Vieweg, 1980
- Schaifers**, Karl u. **Traving**, Gerhard: Meyers Handbuch Weltall, Mannheim; Wien ; Zürich: Bibliographisches Institut, 1984