

**Ludwig-Thoma-Gymnasium
Priem am Chiemsee**

Kollegstufe

Abiturjahrgang 2005

**Facharbeit
Leistungskurs Physik
Die Mondfinsternis im Mai 2004**

Verfasser: Eva Steffen

Kursleiter: StD Horst Jena

Abgabetermin: 28.02.2005

Erzielte Note:

Erzielte Punkte:
(einfache Wertung)

.....
Unterschrift des Kursleiters

Inhaltsverzeichnis

1 Historische Bedeutung des Mondes in der Astronomie	3
2 Die Mondfinsternis	4
2.1 Entstehung einer Mondfinsternis	4
2.2 Arten von Mondfinsternissen	5
2.2.1 Totale Mondfinsternis	6
2.2.2 Partielle Mondfinsternis und Halbschattenfinsternis	7
2.3 Häufigkeit und Vorausberechenbarkeit von Mondfinsternissen	8
3 Experimenteller Teil	10
3.1 Datenerhebung der Totalen Mondfinsternis am 4. Mai 2004	10
3.2 Astronomische Berechnungen	11
3.2.1 Beschaffenheit der Erdatmosphäre	11
3.2.1.1 Berechnung der Erdatmosphärendicke	13
3.2.2 Entfernung Erde - Mond	17
3.2.2.1 Methoden zur Bestimmung der Entfernung Erde - Mond	17
3.2.2.2 Durchführung der Methode von Hipparch von Nikaea	17
4 Diskussion der Berechnungsergebnisse	20
4.1 Erdatmosphärendicke	20
4.2 Entfernung Erde-Mond	21
5 Zusammenfassung und Ausblick	22
6 Literaturverzeichnis	23
7 Anhang	24
7.1 Bildnachweis	24
7.2 Dokumentarische Fotos	25
7.3 Skizze	26
7.4 Anekdote über Christoph Kolumbus	27
7.5 Textauszug	28

1 Historische Bedeutung des Mondes in der Astronomie

Sonne, Mond und andere Himmelskörper haben in fast allen Kulturen seit jeher eine mythologische Bedeutung, waren aber bereits seit der Antike auch Gegenstand astronomischer Überlegungen und teilweise sogar exakter Berechnungen.

So hat bereits im 4. Jahrhundert v.Chr. Aristoteles erkannt, dass die Erde eine Kugel sein muss. Als Grund nannte er den Erdschatten auf dem Mond, der stets einen runden Rand hat. Ein Jahrhundert später schätzte Aristarch von Samos die relative Größe von Mond und Erde durch die Messung der Zeit, die der Mond für einen Durchgang durch den Erdschatten benötigt. Ebenso beschäftigte er sich mit den relativen Distanzen von Sonne und Mond indem er die Halbmondphasen beobachtete. Daraus schloss er, dass die Sonne wesentlich größer als die Erde, der Mond aber höchstens $\frac{1}{3}$ so groß wie die Erde ist. Auch Hipparch von Nikaea beschäftigte sich im 2. Jahrhundert v.Chr. mit dem Mond. Er ermittelte die schwierig zu bestimmenden geographischen Längen einzelner Städte. Dazu ließ er Bewohner die Zeiten für Ein- und Austritte des Mondes in bzw. aus dem Kernschatten der Erde notieren. Da dies für alle Menschen gleichzeitig sichtbar war, konnte er aus den Differenzen der notierten Ortszeiten die Unterschiede in den geographischen Längen berechnen. Eine Längendifferenz von 1° entspricht dabei einem Zeitunterschied von etwa 4 Minuten. Des weiteren hat Hipparch von Nikaea den Abstand vom Mond zur Erde berechnet. Diese Methode wird in 3.2.2.2 genauer beschrieben und durchgeführt.¹

Mondfinsternisse spielten aber auch in der Mythologie vieler antiker Kulturen eine Rolle. So gibt es bei den Griechen, den Chinesen, im Islam und bei den Maya einige Legenden, die Mondfinsternisse mit der Pest, Erdbeben oder anderen Katastrophen in Verbindung bringen.²

Der astronomiekundige Christoph Kolumbus nutzte diesen Aberglauben bewusst zur Abwendung einer Notlage, als er auf einer seiner Reisen auf der Insel Jamaika landete.³

¹ Keller, Hans-Ullrich (Hrsg.), Kosmos Himmelsjahr 2000, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co., Stuttgart, 1999, S. 39

² Harrington, Philip S., Sonnen- und Mondfinsternisse beobachten / Philip S. Harrington. Aus dem Amerikan. übers. von Michael Basler. - Heidelberg; Akad.Verl. Spektrum, Berlin, 2002, S. 3

³ Harrington, Philip S., Sonnen- und Mondfinsternisse beobachten, S. 3
Anekdote über Kolumbus im Anhang genauer nachzulesen

2 Die Mondfinsternis

2.1 Entstehung einer Mondfinsternis

Eine Mondfinsternis kommt immer dann zu Stande, wenn der Vollmond den Erdschatten durchläuft. Dies ist der Fall, wenn Sonne, Erde und Mond annähernd auf einer Linie stehen. Dies ist ein relativ seltenes, doch ziemlich regelmäßiges und vorhersagbares Ereignis.

Der Mond umkreist die Erde alle 27,3 Tage (siderischer Monat); die Erde benötigt 365,2 Tage um einmal um die Sonne zu wandern. Zusammen führen diese beiden Bewegungen dazu, dass der Mond 29,5 Tage benötigt, um alle Phasen - Neumond, erstes Viertel, Vollmond, letztes Viertel - zu durchlaufen. Dies wird als synodischer Monat bezeichnet.

Hinzu kommt nun, dass die Umlaufbahn des Mondes um die Erde um $5^{\circ}09'$ gegenüber der Ekliptik (Erdumlaufbahn) geneigt ist. Dadurch gibt es genau zwei Schnittpunkte zwischen Ekliptik und Mondbahn. Diese bezeichnet man als Knoten oder Drachenschnittpunkte (K1, K2). Dabei unterscheidet man zwischen aufsteigendem und absteigendem Knoten. Beim aufsteigenden Knoten (K1) schneidet der Mond die Erdumlaufbahn von Süden nach Norden, beim absteigenden Knoten (K2) schneidet der Mond die Erdumlaufbahn von Norden nach Süden, bzw. wandert der Mond von oberhalb der Ekliptikebene nach unterhalb.

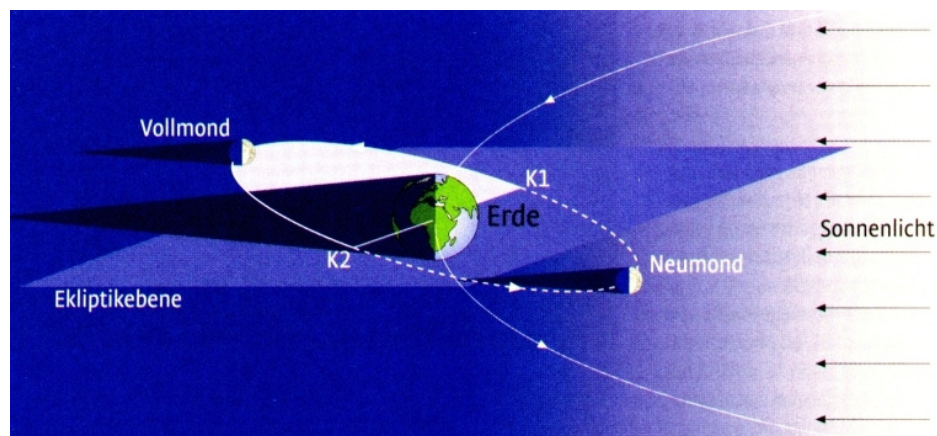


Abb. 1: Neigung der Mondbahn gegen die Ekliptikebene

Geht der Mond nun zur Vollmondphase durch einen Knoten oder nur knapp daneben vorbei, so kommt es zu einer Mondfinsternis, sofern der Schattenkegel der Erde lang genug ist, den Mond zu erreichen.

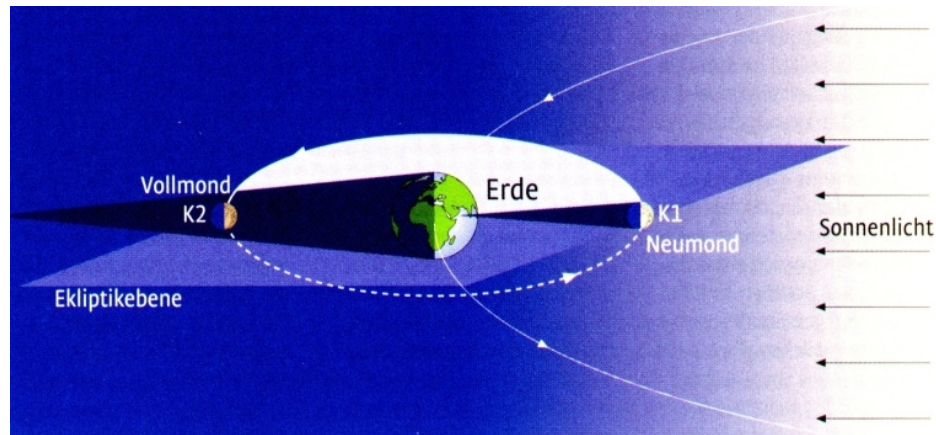


Abb. 2: Knotendurchgang des Mondes

Aufgrund der Knotenregression (eine Art himmlisches Tauziehen zwischen Sonne und Erde, wobei der Mond in der Mitte ist) verschiebt sich die Lage der Knoten allmählich entlang der Ekliptik. Daher stehen die Vollmondphasen (und auch die Neumondphasen, die zu Sonnenfinsternissen führen können) alle 173,3 Tage auf der Verbindungslinie zwischen Erde und Sonne. Dies nennt man Finsternishalbjahr. Ein Finsternisjahr dauert folglich 346,6 Tage, ein Kalenderjahr hingegen 365,2 Tage. Aufgrund dieser Differenz von 18,6 Tagen kann es bis zu 5 Mondfinsternissen bzw. 5 Sonnenfinsternissen kommen. Die Gesamtanzahl von Mond- und Sonnenfinsternissen ist jedoch auf 7 pro Jahr beschränkt. Eine Mondfinsternis ist meist auch mit einer Sonnenfinsternis verknüpft, denn sie treten häufig paarweise auf. So ist eine Sonnenfinsternis oftmals 15 Tage vor oder nach einer Mondfinsternis zu beobachten, jedoch nicht unbedingt am gleichen Ort wie die Mondfinsternis sichtbar.

Kommt es nun zu einer Mondfinsternis, so ist diese von der gesamten Nachtseite der Erde sichtbar und sieht für alle Betrachter auf der Nachthalbkugel der Erde gleich aus. Auf der Tagseite ist die Mondfinsternis jedoch nicht zu bemerken, da der Mond noch nicht „aufgegangen“ ist.⁴

2.2 Arten von Mondfinsternissen

Prinzipiell unterscheidet man 3 Arten von Mondfinsternissen. Die totale Mondfinsternis, bei der die gesamte Mondscheibe in den Kernschatten der Erde eintaucht, die partielle Mondfinsternis, wenn nur ein Teil des Mondes in den Kernschatten der Erde eintritt, und schließlich die Halbschattenfinsternis, wenn sich der Mond lediglich durch den schwachen Halbschattenabschnitt des Erdschattens bewegt.

⁴ Harrington, Philip S., Sonnen- und Mondfinsternisse beobachten, S. 4-6

Diese unterschiedlichen Finsternisse hängen davon ab, wie weit der Vollmond vom Knoten entfernt ist.

2.2.1 Totale Mondfinsternis

Eine totale Mondfinsternis findet dann statt, wenn der Vollmond nicht weiter als 2° in ekliptischer Länge von einem Knoten entfernt ist. Diese doch relativ starke Abweichung führt immer noch zu einer totalen Mondfinsternis, da der Querschnitt des Kernschattenkegels in Mondstanz etwa den dreifachen scheinbaren Mond Durchmesser hat. Von dieser Abweichung hängt auch die Dauer der Totalität, der totalen Verfinsternung des Mondes, ab. Je näher der Vollmond am Knoten ist, desto länger dauert die Totalität. Die maximale Dauer ist dann gegeben, wenn der Vollmond direkt durch einen Knoten geht.⁵

Die totale Mondfinsternis beginnt mit dem ersten Halbschattenkontakt (P1), der mit dem Eintreten des Mondes in den Halbschatten der Erde stattfindet, visuell jedoch schwer zu beobachten ist. Einfacher wird es dann beim ersten Kernschattenkontakt (U1), der auch ohne Beobachtungshilfen gut zu erkennen ist. Darauf folgt schließlich der zweite Kernschattenkontakt (U2), der den Beginn der Totalität, bei der der Kernschatten der Erde den Mond komplett verdeckt, kennzeichnet. Das Ende der Totalität wird als dritter Kernschattenkontakt (U3) bezeichnet. Zwischen U2 und U3 befindet sich der Mond vollständig im Kernschatten der Erde. Der vierte und letzte Kernschattenkontakt (U4) gibt an, wann der Mond den Kernschatten der Erde vollständig verlässt. Danach verlässt der Mond auch den Halbschatten der Erde wieder, was als zweiter Halbschattenkontakt (P2) bezeichnet wird.

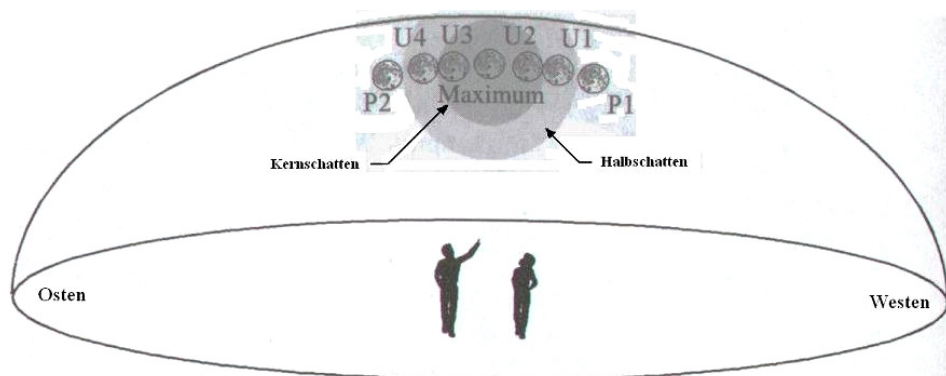


Abb. 3: Lauf des Mondes bei einer Totalen Mondfinsternis

⁵ Keller, Hans-Ullrich (Hrsg.), Kosmos Himmelsjahr 2000, S. 39

Trotz der Bezeichnung „Finsternis“ ist der Mond während des ganzen Ereignisses sichtbar. Dies liegt an der Eigenschaft der Erdatmosphäre, das Licht der Sonne zu brechen, wodurch ein kleiner Teil des Sonnenlichtes in den Erdschatten dringt und diesen aufhellt.

Besonders stark wird das blaue Licht von der Atmosphäre gestreut, das rote hingegen wird stärker hindurchgelassen und dringt in den Erdschatten ein. Dadurch erscheint der Mond während einer Finsternis dunkelrot. Wie dunkel eine Finsternis letztlich ist, hängt jedoch auch von der Klarheit der oberen Atmosphäre ab. Je weniger Partikel sich darin befinden, desto heller ist die Mondfinsternis. Aufgrund der ständigen Veränderung der Atmosphäre hat jede Mondfinsternis ihren eigenen, individuellen Farbton.⁶

2.2.2 Partielle Mondfinsternis und Halbschattenfinsternis

Eine partielle Mondfinsternis entsteht dann, wenn nur ein Teil des Mondes in den Kernschatten der Erde eintritt, was bei einer Entfernung zwischen 2° und $7,5^\circ$ ekliptischer Länge von einem Knoten auftritt. Aus diesem Grund fehlen hier der zweite und der dritte Kernschattenkontakt (U2 und U3), da es keine Totalität gibt. Somit kommen nur P1, U1, U4 und P2 vor. Dabei liegt zwischen U1 und U4 der Moment, in dem ein Teil des Mondes im Kernschatten der Erde verschwunden ist. Aufgrund der Lichtbrechung in der oberen Erdatmosphäre erscheint der im Kernschatten liegende Teil des Mondes dunkelrot bis aschgrau. Je größer der Anteil des Mondes im Kernschatten, desto mehr geht die Farbe ins Dunkelrote. Bei einem geringen Teil im Kernschatten wirkt dieser eher aschgrau. Diese Farbunterschiede liegen am Kontrast zwischen dem leuchtenden Teil des Mondes außerhalb des Kernschattens und dem Teil des Mondes innerhalb des Kernschattens.⁷

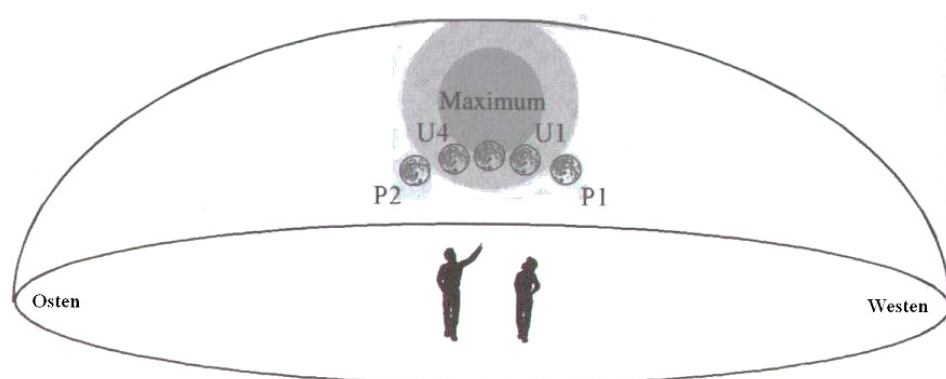


Abb. 4: Lauf des Mondes bei einer Partialem Mondfinsternis

⁶ Harrington, Philip S., Sonnen- und Mondfinsternisse beobachten, S. 19-21

⁷ Harrington, Philip S., Sonnen- und Mondfinsternisse beobachten, S. 21

Zu einer Halbschattenfinsternis kommt es, wenn sich der Mond lediglich durch den schwachen Halbschattenabschnitt des Erdschattens bewegt. Dies geschieht, wenn der Mond zwischen $7,5^\circ$ und $13,5^\circ$ ekliptischer Länge von einem Knoten entfernt ist.

Bei dieser Finsternisart ist nur eine leichte Verdunkelung des Mondteils, der dem Kernschatten am nächsten ist, zu erkennen. Tritt weniger als die Hälfte des Mondes in den Halbschatten, so ist es möglich, dass die Finsternis in keinsten Weise zu bemerken ist. Liegt nun die Hälfte des Mondes im Halbschatten, so spricht man von einer flachen Halbschattenfinsternis mit einer Halbschattengröße von 0,7. Ist die Halbschattengröße über 0,7, also mehr als die Hälfte des Mondes im Halbschatten liegt, wird von einer tiefen Halbschattenfinsternis gesprochen.⁸

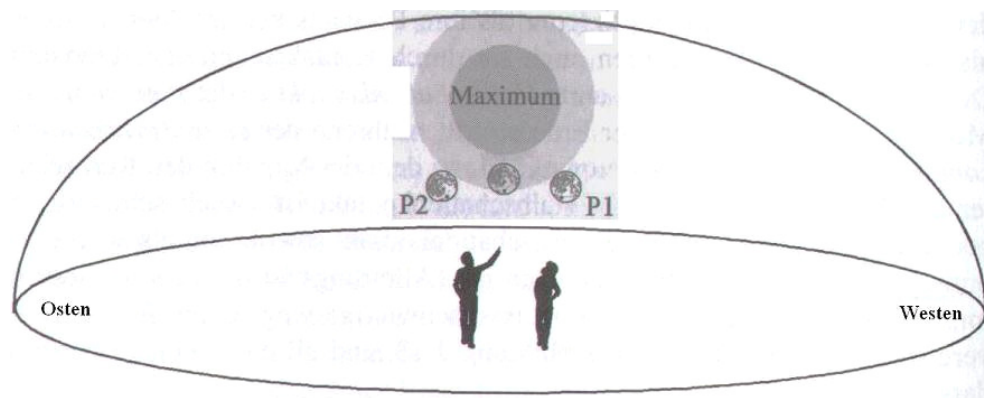


Abb. 5: Lauf des Mondes bei einer Halbschatten-Mondfinsternis

2.3 Häufigkeit und Vorausberechenbarkeit von Mondfinsternissen

Bereits 750 v.Chr. erkennen chaldäische Astronomen, dass sich Sonnen- und Mondfinsternisse nach etwas mehr als 18 Jahren wiederholen. Genauer gesagt tritt der Vollmond nach 223 Lunationen wieder in den Erdschatten ein. Dies liegt ursächlich daran, dass 223 synodische Monate (Umlaufzeit des Mondes von Neumond zu Neumond; 29,5 Tage) fast genauso lange wie 242 drakonische Monate (Dauer von einem Knoten zum selben Knoten zurück; 27,2 Tage) dauern. Beides entspricht etwa 18 Jahren und $10 \frac{1}{3}$ Tagen bzw. $11 \frac{1}{3}$ Tagen, je nachdem, ob 4 oder 5 Schaltjahre in diesem Zeitraum liegen. Nach diesem Zeitraum, den man als Saros-Periode bezeichnet, befindet sich der Vollmond wieder in der gleichen Position. Dabei ist die Erdrotation jedoch unberücksichtigt.

⁸ Keller, Hans-Ullrich (Hrsg.), Kosmos Himmelsjahr 2000, S. 39

Da $\frac{1}{3}$ Tag 8 Stunden entspricht, ist die Mondfinsternis in der nächsten Saros-Periode am selben Ort eventuell nicht sichtbar, weil dort der Mond schon untergegangen ist. Westlich davon kann die Mondfinsternis jedoch gut sichtbar sein.

Zusätzlich verspätet sich der Knotendurchgang des Mondes mit jeder Saros-Periode um 0,035 Tage, was etwa 50 Minuten entspricht, da 223 synodische Monate nicht exakt 242 drakonische Monate sind. Daher kommt es nach einigen Saros-Perioden dazu, dass der Vollmond nicht mehr ganz in den Kernschatten eintaucht und es somit nicht mehr zu einer totalen, sondern zu einer partiellen Mondfinsternis kommt. Das Gleiche ist für partielle Mondfinsternisse möglich, die so zu Halbschattenfinsternissen werden und nach einigen Saros-Perioden schließlich ganz verschwinden. Irgendwann ist die Differenz von Vollmondposition und Knotendurchgang so groß, dass es zu keiner Mondfinsternis mehr kommt.

Es entsteht jedoch wieder eine neue Serie, wenn die Vollmondtermine langsam wieder einer Knotenpassage näher rücken. Diese Serie nennt man Saros-Zyklus. Ein Saros-Zyklus umfasst zahlreiche Saros-Perioden und beginnt immer mit Halbschattenfinsternissen, die sich von Periode zu Periode, aufgrund der Näherung des Mondes an den Knoten, langsam zu partiellen Mondfinsternissen und weiter zu totalen Mondfinsternissen entwickeln und dann den selben Weg wieder zurück nehmen, bis schließlich ein neuer Saros-Zyklus beginnt.⁹

Die Dauer eines Saros-Zyklus liegt zwischen 12 und 16 Jahrhunderten; die einzelnen Zyklen werden durchnummeriert. Dabei stehen gerade Nummern für Finsternisse in aufsteigenden Knoten, ungerade Nummern für Finsternisse in absteigenden Knoten.

Die totale Mondfinsternis vom 04.05.2004 gehört zu Saros-Zyklus Nummer 131, also zu einem Zyklus mit Finsternissen im absteigenden Knoten. Der Zyklus begann am 10.05.1427 und wird am 07.07.2707 enden. Mit einer Dauer von 1280 Jahren gehört er also eher zu den kurzen Saros-Zyklen. Insgesamt umfasst er 72 Mondfinsternisse, wovon 15 totale Mondfinsternisse, 42 partielle Mondfinsternisse und 15 Halbschattenfinsternisse sind. Die zweite totale Mondfinsternis im Jahr 2004, am 28. Oktober, gehört zum Saros-Zyklus Nummer 136, der 27 totale Mondfinsternisse umfasst, am 13.04.1680 begann und bei gleicher Dauer am 01.06.2960 enden wird.¹⁰

⁹ Keller, Hans-Ullrich (Hrsg.), Kosmos Himmelsjahr 2000, S. 39-40

¹⁰ Keller, Hans-Ullrich (Hrsg.), Kosmos Himmelsjahr 2004, S. 124

3 Experimenteller Teil

Ziel des experimentellen Teils dieser Arbeit ist es, unter Verwendung einer Mondphotographie den Abstand Erde-Mond sowie durch die Messung von Kraterein- und Austrittszeiten die Dicke der Erdatmosphäre zu berechnen.

Da während der Finsternis nur wenig Zeit zum Studieren einer Karte sein würde, habe ich bereits einige Tage zuvor die Mondoberfläche mit einem Spiegelteleskop betrachtet und mir die Positionen der Krater, die ich bei der Finsternis beobachten wollte, eingeprägt.

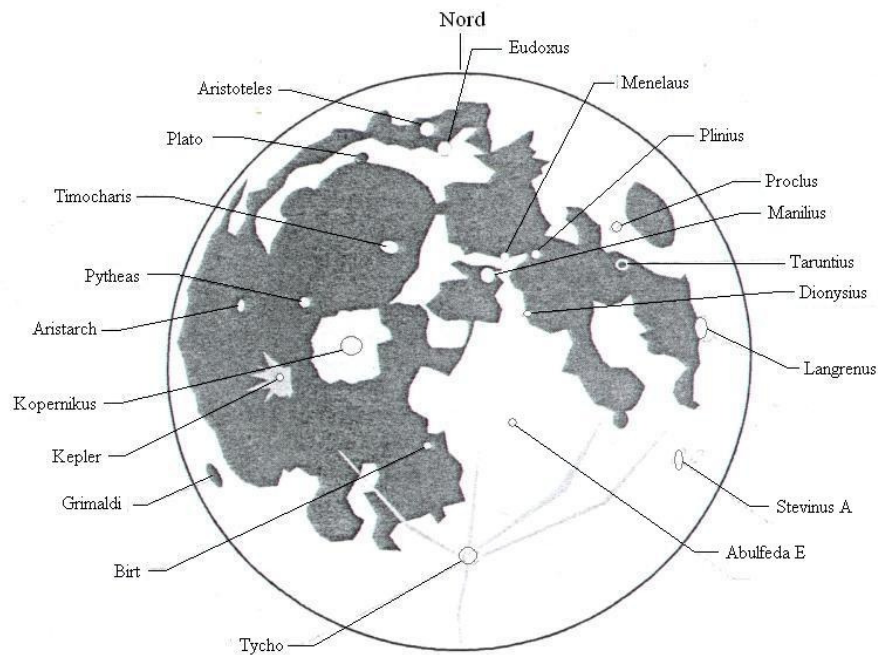


Abb. 6: Lage der Krater auf dem Mond

3.1 Datenerhebung der Totalen Mondfinsternis am 4. Mai 2004

Die Beobachtung der totalen Mondfinsternis vom 04.05.2004 fand mit einem Spiegelteleskop mit (BRENNWEITE USW) in der Nähe von Ainring im Berchtesgadener Land statt. Dort erfolgte auch die photographische Dokumentation der Verfinsternung des Mondes, sowie die Messung der Kraterein- und Austrittszeiten.

Bei der Beobachtung selbst habe ich für jeden Krater, der vom Kernschatten der Erde erfasst wurde, notiert, wann der Schatten den Krater "wahrscheinlich" (T1), "ziemlich sicher" (T2) und "ganz sicher" (T3) erreicht hat. Bei T3 ist der Krater schon ganz vom Schatten bedeckt. Dadurch erhielt ich die Kratereintrittszeiten. Das Gleiche habe ich dann für die Austritte der Krater aus dem Kernschatten gemacht, um die Krateraustrittszeiten zu erhalten.

3.2 Astronomische Berechnungen

Mit den bei der Mondfinsternis erhobenen Daten lassen sich die ungefähre Höhe der Erdatmosphäre und der Abstand Erde - Mond berechnen.

3.2.1 Beschaffenheit der Erdatmosphäre

Bei Mondfinsternissen lässt sich beobachten, dass der Rand des Kernschattens der Erde auf dem Mond nicht scharf abgebildet ist, sondern leicht verschwommen wirkt.

Projiziert man beispielsweise den Schatten einer Kugel auf eine Leinwand, so ist der Schattenrand scharf zu erkennen. Dass es bei einer Mondfinsternis zu einer Abweichung von diesem einfachen Vorstellungsmodell kommt, liegt daran, dass die Erde von einer Atmosphäre umgeben ist.

Die Erdatmosphäre, die aus viele einzelnen Schichten besteht, bricht das einfallende Sonnenlicht ähnlich wie ein fester Körper. Es ist jedoch unmöglich für sie einen Brechungsindex, wie beispielsweise von Glas oder Wasser, zu ermitteln, da die irdische Atmosphäre sehr inhomogen ist.

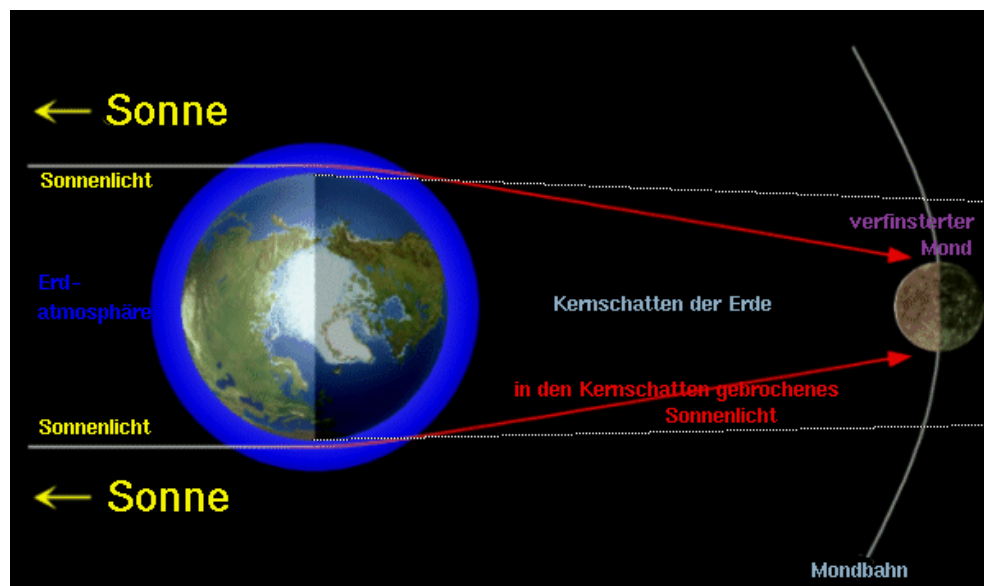


Abb. 7: Lichtbrechende Wirkung der Erdatmosphäre

Dies kommt zum einen durch die verschiedenen Schichten (Troposphäre, Stratosphäre, Mesosphäre, Thermosphäre, Exosphäre) mit den unterschiedlichsten Gasgemischen, zum anderen auch durch ständige Temperatur- und Druckschwankungen zustande.

Auch fortlaufende Veränderungen der Troposphäre, der untersten Schicht der Erdatmosphäre, wie beispielsweise aktuelles Wettergeschehen, Ereignisse auf der Erdoberfläche wie Vulkanausbrüche oder große Waldbrände haben darauf Einfluss. Alle diese Naturereignisse verändern die Troposphäre durch Wassertropfen oder Rußpartikel, was zu einer anderen Brechung des einfallenden Sonnenlichts führt.

Aber auch von außerirdischen Geschehnissen kann die Atmosphäre beeinflusst werden. Dabei spielen sowohl stärkere Meteorschauer, deren Staub sich für einige Monate vor allem in der oberen Ionosphäre einlagert, als auch die Korpuskularstrahlung der Sonne eine Rolle. Korpuskularstrahlung ist Strahlung, die im Gegensatz zur elektromagnetischen Wellenstrahlung aus kleinen Teilchen (Korpuskeln) besteht, z. B. Alpha- oder Betastrahlung. Diese Strahlung beeinflusst die Elektronendichte und die Höhe der Erdatmosphäre.

Die optische Wirkung der Erdatmosphäre lässt sich mit einem gewaltigen Ring aus lichtdurchlässigen, in sich inhomogener Prismen, die das Sonnenlicht brechen, vergleichen. Ähnlich wie der ringförmige Randbereich einer Linse bricht die Atmosphäre wie ein entsprechender Prismenring einfallendes Licht zur Achse dieses Ringes hin.

Die Erdatmosphäre ist auch für das Farbenspiel bei einer Mondfinsternis verantwortlich. Aufgrund der etwa sechzehnmal stärkeren Streuung von blauem Licht gegenüber Rotem, verfärbt sich die Mondoberfläche bei einer Mondfinsternis meist rötlich.¹¹

Für die verschiedenen Farbkombinationen die bei Mondfinsternissen auftreten können gibt es eine Einteilung in 5 Stufen. Diese Klassifizierung erfolgt nach dem französischen Astronom André Danjon (1890-1967), der die Stufen wie folgt definiert hat:

L0: Sehr dunkle Finsternis mit grau-schwarz erscheinender Mondscheibe;
der Mond ist bei Finsternismitte kaum sichtbar

L1: Dunkle Finsternis mit grau oder bräunlicher Mondscheibe;
Oberflächendetails sind nur schwer erkennbar

L2: der Mond leuchtet dunkelrot, manchmal rostrot;
der Zentralbereich des Kernschattens ist recht dunkel;
es besteht eine Aufhellung zum Rand des Kernschattens hin

L3: der Mond leuchtet ziegelrot; Aufhellung des Kernschattens in den Randzonen

L4: der Mond zeigt eine helle, kupferrote Verfärbung, manchmal orange;
der Kernschatten hat oft einen hellen, bläulichen Saum
Oberflächeneinzelheiten sind gut erkennbar¹²

¹¹ Benthin, Klaus & Federspiel, Martin, Mondfinsternis am 17.10.1986 Teil 1: Schattenspiele auf dem Mond, in: Sterne und Weltraum 4/1988, Hrsg. v. Vereinigung der Sternfreunde, Heidelberg, 1988, S. 252-253

¹² Keller, Hans-Ullrich (Hrsg.), Kosmos Himmelsjahr 2001, S. 44

3.2.1.1 Berechnung der Erdatmosphärendicke

Durch Messungen von Mondkrateren- und Austrittszeiten lässt sich, unter der Kenntnis der Polynomkoeffizienten der Mondbewegung (Rektaszension, Deklination, Parallaxe) aus dem Astronomical Almanac (ein astronomisches Jahrbuch, bzw. ein Programm), einem Wert für Delta T und natürlich den Kraterkoordinaten, die Schattenvergrößerung des Erdschattens berechnen. Daraus lässt sich dann die Dicke der Teile der Atmosphäre, die für die Lichtbrechung verantwortlich sind, ermitteln.

Zur Berechnung der Schattenvergrößerung habe ich das Programm „Mofi.exe“ von Herrn Martin Federspiel verwendet. Es beruht auf einem komplexen Rechenvorgang¹³ und nimmt der Einfachheit halber die Erde als ideale Kugel an.

Das Programm verwendete für den 04.05.2004 folgende Berechnungsgrundlagen:

Rektaszension	210.1598522	13.5666013	.4415952	.0391679	-.0040012	-.0011104
Deklination	-11.3839839	-6.2983267	.2453358	.0783552	.0032134	-.0005356
Parallaxe	1.00419117	.01011714	-.00191469	-.00019041	.00002161	
Delta T	64.50					

Im Programmpunkt „Einzelauswertung von Krateren- und Austrittszeiten“ wurden zuerst von allen Kratern die Eintrittszeit und im zweiten Durchgang die Austrittszeit angegeben.

Als Ein- bzw. Austrittszeit verwendet man einen gewichteten Wert aus den 3 gemessenen Zeiten, den man wie folgt berechnet

$$T = \frac{T1 + 2 \cdot T2 + T3}{4}$$

Das Programm arbeitet mit UTC¹⁴, wobei für unseren Beobachtungsort

UTC = MESZ-2h gilt.¹⁵

Nach der Eingabe von Stunde, Minute und Sekunde in das Programm gibt man nun die Selenographischen Koordinaten (Länge und Breite) des beobachteten Kraters ein.

¹³ beschrieben in: Benthin, Klaus & Federspiel, Martin, Mondfinsternis am 17.10.1986 Teil 2: Schattenvergrößerung, in: Sterne und Weltraum 6/1988, Hrsg. v. Vereinigung der Sternfreunde, Heidelberg, 1988, S. 388-391

¹⁴ UTC (Coordinated Universal Time) ersetzt seit 1926 die GTM (Greenwich Mean Time) und wurde aus astronomischen Beobachtungen gewonnen. Dabei entspricht sie etwa der mittleren Sonnenzeit am Meridian durch Greenwich. UTC bietet sowohl eine hochkonstante Zeiteinheit als auch eine Übereinstimmung mit dem Sonnenlauf

¹⁵ MESZ = Mitteleuropäische Sommerzeit

Anschließend berechnet das Programm die Werte für den Theoretischen Schattenradius, den Positionswinkel gegen die Ost-West-Richtung und die Schattenvergrößerung. Dadurch erhält man die für die Berechnung der Atmosphäre relevanten Daten:

Name des Kraters	Länge	Breite	UTC	Schattenvergrößerung
La Condamine A	-30,06	54,34	19:07:28	1,32500%
Kopernikus	-20,00	09,60	19:08:29	1,63400%
Plato	-09,20	51,40	19:12:39	2,03600%
Archimedes A	-06,40	28,02	19:14:01	1,60500%
Manilius	09,10	14,50	19:22:24	1,60500%
Tycho	-11,28	-43,34	19:25:08	1,80200%
Dionysius	17,30	02,77	19:28:00	1,84000%
Cepheus A	46,51	41,03	19:31:33	1,64900%
Proclus	46,96	16,09	19:37:46	1,64000%
Picard	54,65	14,58	19:40:32	1,80200%
Langrenus M	66,46	-09,77	19:47:47	1,96200%

Tab.: Kratereintrittsdaten

Name des Kraters	Länge	Breite	UTC	Schattenvergrößerung
Grimaldi	-68,40	-05,30	21:15:57	1,34000%
Billy	-50,05	-13,82	21:18:53	1,55400%
Tycho	-11,28	-43,34	21:23:40	1,13400%
Kepler	-37,96	08,11	21:29:07	1,68700%
Kopernikus	-20,00	09,60	21:36:55	2,17500%
La Condamine A	-30,06	54,34	21:43:57	2,04000%
Archimedes A	-06,40	28,02	21:46:54	1,60800%
Plato	-09,20	51,40	21:49:13	1,80900%
Manilius	09,10	14,50	21:51:11	2,00400%
Dionysius	17,30	02,77	21:51:57	2,22000%
Langrenus M	66,46	-09,77	22:02:05	0,72400%
Proclus	46,96	16,09	22:05:44	2,12400%
Cepheus A	46,51	41,03	22:05:46	1,82200%
Picard	54,65	14,58	22:07:35	2,13900%

Tab.: Krateraustrittsdaten

Daraus ergibt sich eine für die Berechnung der Dicke der Erdatmosphäre zu berücksichtigende Schattenvergrößerung von 1,7312%.

Geometrische Zusammenhänge und Berechnung:¹⁶

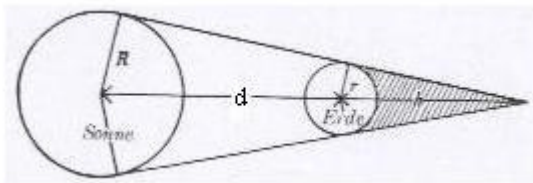


Abb. 8 : geometrische Beziehung Sonne-Erde

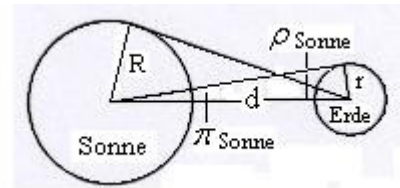


Abb. 9: Winkelbeziehungen Sonne-Erde

$$\frac{h}{h+d} = \frac{r}{R} \rightarrow h = \frac{r}{\frac{R}{d} - \frac{r}{d}}$$

mit $\sin \pi_{\text{Sonne}} = \frac{r}{d}$ und $\sin \rho_{\text{Sonne}} = \frac{R}{d}$

folgt wegen der Kleinheit der Winkel π_{Sonne} und ρ_{Sonne} :

$$\pi_{\text{Sonne}} = \frac{r}{d} \cdot \frac{1}{\sin 1''} \quad \text{und} \quad \rho_{\text{Sonne}} = \frac{R}{d} \cdot \frac{1}{\sin 1''} \quad \left(\text{mit } \frac{1}{\sin 1''} = 206265''\right)$$

$$h1 = \frac{1}{\sin 1''} \cdot \frac{r}{\rho_{\text{Sonne}} - \pi_{\text{Sonne}}} \tag{1}$$

Herleitung der Formel zur Berechnung der Höhe der Erdatmosphäre

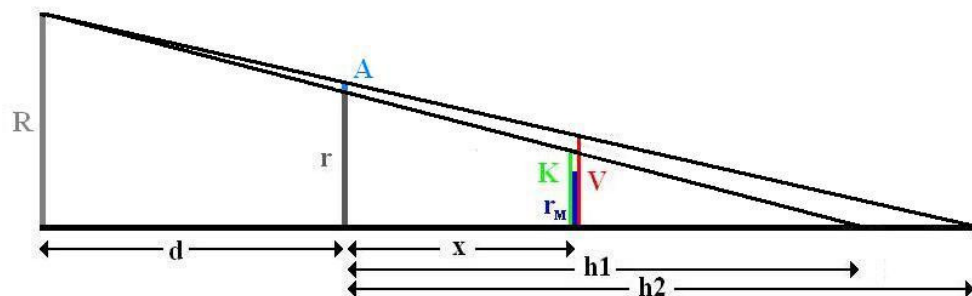


Abb. 10

$$\frac{h1-x}{h1} = \frac{K}{r} \rightarrow K = \frac{h1-x}{h1} \cdot r \tag{2}$$

$$V = K \cdot (1+z) \tag{3}$$

$$\frac{h2-x}{h2+d} = \frac{V}{R} \rightarrow h2 = \frac{V \cdot h2}{R} + \frac{V \cdot d}{R} + x \rightarrow h2 \cdot \left(1 - \frac{V}{R}\right) = \frac{V \cdot d}{R} + x \tag{4}$$

¹⁶ Schwahn, Paul, Mathematische Theorie der astronomischen Finsternisse, Leipzig-Berlin 1910 S.1-2

$$\rightarrow h2 = \frac{\frac{V \cdot d}{R} + x}{1 - \frac{V}{R}}$$

$$\frac{h2 - x}{h2} = \frac{V}{A + r} \rightarrow A = \frac{h2 \cdot V}{h2 - x} - r \quad (5)$$

Einsetzen der konkreten Werte von der Mondfinsternis vom 04.05.2004 :

Gegeben: $\rho_{\text{Sonne}} = 951,5''$ (siehe Berechnung des Abstandes Erde-Mond)

$$\pi_{\text{Sonne}} \approx 9''$$

$$r = 6368 \text{ km}$$

$$R = 109 \cdot r$$

$$z = \text{Schattenvergrößerung} = 0,0173$$

$$x = 60,3 \cdot r$$

$$d = \frac{r}{\pi(\text{Sonne})} \cdot \frac{1}{\sin 1''} = \frac{206265''}{9''} \cdot r \approx 22918 \cdot r$$

Rechnung: $h1 = 206265'' \cdot \frac{r}{951,5'' - 9''} = 218,85 \cdot r$

$$K = \frac{218,85 \cdot r - 60,3 \cdot r}{218,85 \cdot r} \cdot r = 0,72447 \cdot r$$

$$V = 0,72447 \cdot r \cdot (1 + 0,0173) = 0,73700 \cdot r$$

$$h2 = \frac{\frac{0,73700 \cdot r \cdot 22918 \cdot r}{109 \cdot r} + 60,3 \cdot r}{1 - \frac{0,73700 \cdot r}{109 \cdot r}} = 216,72 \cdot r$$

$$A = \frac{216,72 \cdot r \cdot 0,73700 \cdot r}{216,72 \cdot r - 60,3 \cdot r} - r = 1,0211 \cdot r - r = 0,0211 \cdot 6368 \text{ km}$$

$$A = 134,40 \text{ km}$$

Die Dicke der Erdatmosphäre, bzw. der Schicht der Erdatmosphäre, die für die Schattenvergrößerung hauptsächlich verantwortlich ist, beträgt nach dieser Rechnung 134,40 km.

3.2.2 Entfernung Erde - Mond

3.2.2.1 Methoden zur Bestimmung der Entfernung Erde - Mond

Zur Bestimmung der Entfernung von Erde und Mond gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- Änderung der Mondgröße mit der Höhe
- parallaktische Libration
- Sternbedeckung durch den Mond
- Methode nach Hipparch von Nikaea

Die Mondfinsternis spielt jedoch nur in der Methode nach Hipparch von Nikaea eine direkte Rolle. Ca. 150 v.Chr. benutzte er die Mondfinsternis um das Verhältnis von Mondentfernung und Erdradius aus dem Verhältnis der scheinbaren Radien der Kernschattengrenze und der Mondscheibe zu berechnen.

Dazu beobachtete er den Kernschattenrand auf der Mondscheibe, der sich als relativ scharfer Kreisbogen abzeichnet, und stellte schließlich relativ einfache geometrische Berechnungen an.¹⁷

3.2.2.2 Durchführung der Methode nach Hipparch von Nikaea

Folgende Bezeichnungen werden in der Herleitung zur Berechnung des Abstandes Erde-Mond verwendet:

ρ_{Schatten}	scheinbarer Radius des Kernschattens der Erde am Ort des Mondes
ρ_{Mond}	scheinbarer Radius der Mondscheibe
ρ_{Sonne}	scheinbarer Radius der Sonnenscheibe
π_{Sonne}	Parallaxe der Sonne
π_{Mond}	Parallaxe des Mondes
R	Erdradius
r	Entfernung Erde-Mond

Für die eigentliche Berechnung werden als konkrete Zahlenwerte jedoch nur ρ_{Schatten} , ρ_{Mond} und ρ_{Sonne} benötigt.

¹⁷ relevante Seiten der benutzen Literatur sind im Anhang zu finden

Herleitung der Formeln zur Berechnung des Abstands Erde-Mond

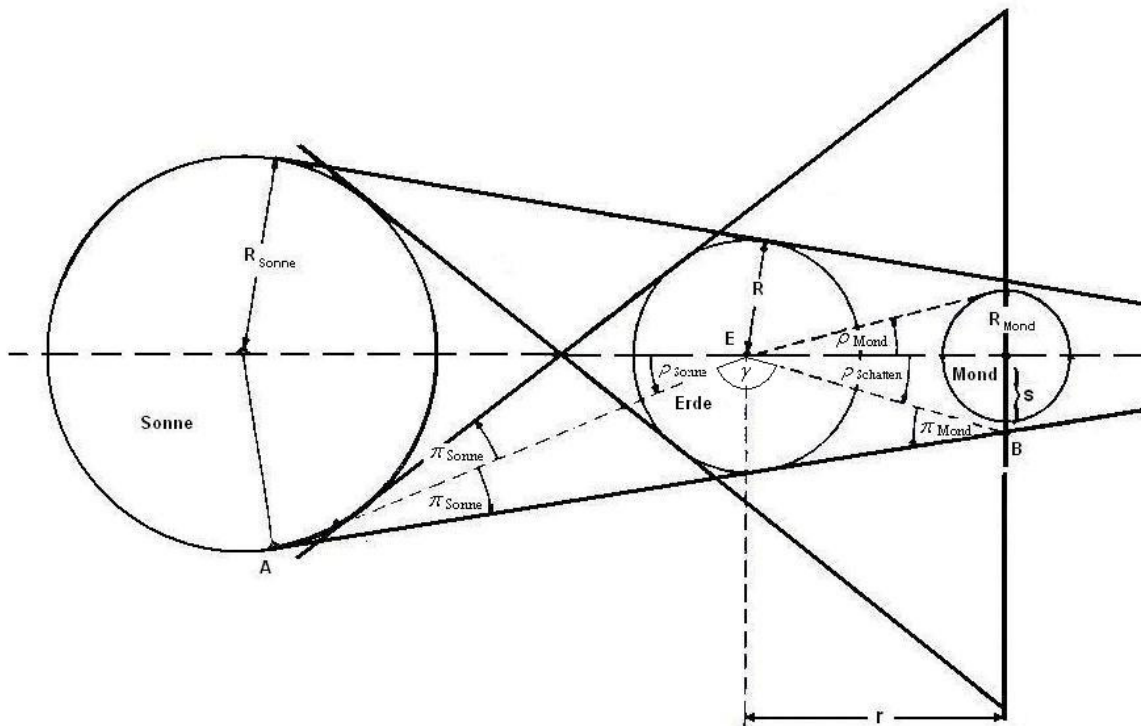


Abb. 13: geometrische Beziehungen Sonne-Erde-Mond

Im Dreieck AEB gilt:

$$\pi_{\text{Sonne}} + \pi_{\text{Mond}} + \gamma = 180^\circ \quad \text{und} \quad \rho_{\text{Sonne}} + \gamma + \rho_{\text{Schatten}} = 180^\circ$$

$$\rightarrow \pi_{\text{Sonne}} + \pi_{\text{Mond}} = \rho_{\text{Sonne}} + \rho_{\text{Schatten}} \quad (1)$$

Das Verhältnis zwischen dem scheinbaren Radius des Kernschattens und dem Radius der Mondscheibe wird mit x bezeichnet und errechnet sich wie folgt:

$$x = \frac{\rho_{\text{Schatten}}}{\rho_{\text{Mond}}}$$

$$\text{mit (1) folgt } x = \frac{\pi_{\text{Sonne}} + \pi_{\text{Mond}} - \rho_{\text{Sonne}}}{\rho_{\text{Mond}}} \quad (2)$$

Für die Horizontalparallaxe des Mondes π_{Mond} gilt:

$$\rho_{\text{Mond}} = \frac{R}{r} \quad (3)$$

Einsetzen von (3) in (2) und Auflösen nach r :

$$r = \frac{R}{x \cdot \rho_{\text{Mond}} + \rho_{\text{Sonne}} - \pi_{\text{Sonne}}}$$

Bei dem Verhältnis x spielt wieder die Schattenvergrößerung durch die Erdatmosphäre eine Rolle. Dadurch ist der Radius des optischen Kernschattenrandes größer als der des geometrischen Kernschattenrandes.

Für die Mondfinsternis vom 04.05.2004 ergab sich, wie in 3.2.1.1 berechnet, ein Wert von 1,73% für die Schattenvergrößerung. Daher muss bei der Berechnung von x der Faktor 0,9827 berücksichtigt werden.

Die Sonnenparallaxe π_{Sonne} kann gegenüber den scheinbaren Radien von Sonne und Mond vernachlässigt werden.

Für die gemessenen Werte ergibt sich also folgendes:

$$x = 0,9827 \cdot \frac{14,6\text{cm}}{5,6\text{cm}} = 2,562$$

$$\rightarrow r = \frac{180 \cdot 3600''}{\pi} \cdot \frac{R}{2,562 \cdot 998,5'' + 951,5''} \approx 58,77 \cdot R$$

Der Faktor $\frac{180 \cdot 3600''}{\pi}$ (=1) dient nur der Umrechnung der Winkelsekunden.

4 Diskussion der Berechnungsergebnisse

4.1 Erdatmosphärendicke

Bei der Berechnung der Höhe der Erdatmosphäre über die Schattenvergrößerung können einige Ungenauigkeiten auftreten, die das Ergebnis beeinflussen.

Als Hauptfaktor tritt dabei die starke Schwankung der Schattenvergrößerung auf. Diese Schwankung beruht darauf, dass es sehr schwierig ist, die exakten Zeiten für die Krater-eintritte und -austritte zu bestimmen. Dies liegt zum einen daran, dass der Mond nie still steht, sondern ständig ein klein wenig „wackelt“. Zum anderen liegt ein Krater von der Erde aus gesehen auch nicht immer an der exakt gleichen Stelle auf dem Mond, da der Mond seine Achse während eines Erdumlaufs nach vorne oder hinten kippt. Dies bezeichnet man als Librationsphänomen. Des weiteren kann es leicht passieren, dass man in der Beobachtungshektik irrtümlicherweise einen benachbarten Krater für das eigentliche Beobachtungsobjekt hält. Gibt man dann diese Zeit des falschen Kraters mit den Koordinaten des eigentlich zu beobachtenden Kraters ein, so erhält man einen extrem verfälschten Wert für die Schattenvergrößerung.

Daher ist es unbedingt notwendig möglichst viele Krater zu beobachten und aus den Werten für die Schattenvergrößerung den Mittelwert zu bilden.

Die zweite große Fehlerquelle besteht in der Rechnung selbst. Da mehrere Schritte notwendig sind, bis man ein endgültiges Ergebnis für die Höhe der Atmosphäre erhält, kann es zu Rechenungenauigkeiten aufgrund von Runden der Zwischenergebnisse kommen. Ich habe versucht diesen Fehler so gering wie möglich zu halten, indem ich den exakten Wert im Taschenrechner gespeichert habe und mit diesem weitergerechnet habe.

4.2 Berechnung der Entfernung Erde - Mond

Bei der Methode zur Berechnung des Abstandes von Erde und Mond nach Hipparch von Nikaea kann es zu stark schwankenden Ergebnissen kommen. Dies hat mehrere Ursachen.

Ein Hauptaspekt ist hierbei die Zeichen- und Konstruktionsungenauigkeit. Trotz großer Sorgfalt treten bereits beim Durchpausen der vergrößerten Mondphotographie geringe Fehler auf. Hinzu kommt noch die manuelle Konstruktion der Mittelpunkte und schließlich die Messung des Radius mit einem gewöhnlichen Lineal. Um diese Fehlerquelle gering zu halten könnte man mit verschiedenen Bildern der selben Mondfinsternis arbeiten und daraus Mittelwerte für die Radien von Mond und Schatten ermitteln.

Des weiteren spielt aber auch die Ungenauigkeit der Schattenvergrößerung, die in der Rechnung als 1,73% angenommen wurde, eine Rolle. Da die Schattenvergrößerung in 3.2.1.1 durch die Beobachtung von Kraterein- und Austrittszeiten selbst berechnet wurde, enthält dieser Wert, wie bereits in 4.1 erwähnt, eine gewisse Ungenauigkeit.

Ein weiteres Problem bei der Berechnung war die Ungenauigkeit der durch das Programm „Red Shift 3“ angenommenen Werte für ρ_{Sonne} und ρ_{Mond} . Für beides wurde eine geographische Länge von $12^\circ 30'$ Ost und eine geographische Breite von $47^\circ 45'$ Nord angenommen. Dies liegt in der Nähe von Marquartstein im Landkreis Traunstein. Der Beobachtungspunkt lag jedoch in der Nähe von Ainring im Berchtesgadener Land, was eine Länge von $12^\circ 56' 60''$ und eine Breite von $47^\circ 49' 0''$ hat. Diese Abweichung könnte zu einer weiteren Rechenungenauigkeit führen. Obwohl jede einzelne „Fehlerquelle“ relativ klein ist, summieren sich die Fehler und erklären Abweichungen von „offiziellen“ Daten dieser Finsternis.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurde gezeigt, dass es auch mit relativ einfachen Mitteln möglich ist, die ungefähre Höhe der Erdatmosphäre sowie den Abstand Erde-Mond zu berechnen. Heutzutage hat man jedoch andere Mittel und Wege gefunden, den Abstand Erde-Mond zu bestimmen.

Bei den Mondmissionen Apollo 11, 14 und 15 haben amerikanische Astronauten "Spiegel", die aus etwa jeweils 100 Katzenaugen bestehen, die so geschliffen sind, dass sie einfallendes Licht in sich selbst zurückwerfen, auf dem Mond zurückgelassen. Dadurch ist es möglich, durch die Laufzeitmessung von Laserstrahlen den Abstand Erde-Mond zu berechnen. Bei einer Messgenauigkeit von 0,1 Nanosekunden kann so die Entfernung des Mondes bis auf drei Zentimeter genau ermittelt werden. Dies ist allerdings nur mit einem relativ starken Laser möglich, wodurch die Anwendung durch kleinere Sternwarten ausgeschlossen ist.

Um einen der jeweils nur 1m² großen Spiegel zu treffen, orientieren sich Astronomen an den Mondkratern und nutzen andererseits die Tatsache aus, dass ein Laserstrahl die Messstation mit einer Breite von 1,5 m verlässt und durch die Erdatmosphäre so stark aufgeweitet wird, dass er beim Erreichen des Mondes eine Breite von ca. 10 km hat und einige der 10¹⁹ Photonen des Laserpulses den Spiegel treffen, zurückgelenkt werden und vom Teleskop wieder „aufgefangen“ werden.

Diese Art der Entfernungsbestimmung Erde-Mond wurde erstmals im August 1969 vom Lick-Observatorium in Kalifornien durchgeführt. Heute wird diese Messung noch an vier Orten der Welt so durchgeführt, um die Bahn des Erdtrabanten genau zu vermessen und zu ermitteln, ob eventuelle Schwankungen der Mondbahn Hinweise auf Massenverschiebungen im Inneren des Mondes oder der Erde geben.

Einer dieser Beobachtungsorte ist die Fundamentalstation Wettzell im Bayerischen Wald.¹⁸

¹⁸ Münter, Daniel, <http://www.quarks.de/dyn/11183.phtml> und ohne Autor, http://www.weltderphysik.de/themen/quanten/licht/laser/messtechnik/index_print.html

6 Literaturverzeichnis

Benthin, Klaus & Federspiel, Martin, Mondfinsternis am 17.10.1986 Teil 1:
Schattenspiele auf dem Mond, in: Sterne und Weltraum 4/1988, Hrsg. v. Vereinigung
der Sternfreunde, Heidelberg, 1988, S. 252-256.

Benthin, Klaus & Federspiel, Martin, Mondfinsternis am 17.10.1986 Teil 2:
Schattenvergrößerung, in: Sterne und Weltraum 6/1988, Hrsg. v. Vereinigung der
Sternfreunde, Heidelberg, 1988, S. 388-391.

Harrington, Philip S., Sonnen- und Mondfinsternisse, Spektrum, Berlin, 2002.

Keller, Hans-Ullrich (Hrsg.), Kosmos Himmelsjahr 2000, Franckh-Kosmos Verlags-
GmbH & Co., Stuttgart, 1999.

Keller, Hans-Ullrich (Hrsg.), Kosmos Himmelsjahr 2001, Franckh-Kosmos Verlags-
GmbH & Co., Stuttgart, 2000.

Keller, Hans-Ullrich (Hrsg.), Kosmos Himmelsjahr 2004, Franckh-Kosmos Verlags-
GmbH & Co., Stuttgart, 2003.

Münter, Daniel, <http://www.quarks.de/dyn/11183.phtml> (Stand: 16.01.2005).

Schwahn, Paul, Mathematische Theorie der astronomischen Finsternisse, Leipzig-
Berlin, 1910 (Bd. 8 Mathematisch-Physikalische Schriften für Ingenieure und
Studierende, Hrsg. Jahnke, E.).

unbekannter Autor,

http://www.weltderphysik.de/themen/quanten/licht/laser/messtechnik/index_print.html
(Stand: 16.01.2005).

7 Anhang

7.1 Bildnachweis

Abbildung	Quelle
1 2	Keller, Hans-Ullrich (Hrsg.), Kosmos Himmelsjahr 2004, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co., Stuttgart, 2003, S. 120
3 4 5	Harrington, Philip S., Sonnen- und Mondfinsternisse beobachten, Spektrum, Berlin, 2002, S. 20 (nachbearbeitet)
6	Harrington, Philip S., Sonnen- und Mondfinsternisse beobachten, Spektrum, Berlin, 2002, S. 64 (nachbearbeitet)
7	http://www.sternfreunde-breisgau.de/mofi_brechung.gif
8 9	Schwahn, Paul, Mathematische Theorie der astronomischen Finsternisse, Leipzig-Berlin, 1910 (Bd. 8 Mathematisch-Physikalische Schriften für Ingenieure und Studierende, Hrsg. Jahnke, E.) S. 1 (nachbearbeitet)
10	Eigene Skizze
11	Photographie des Verfinsterten Mondes bei der Mondfinsternis vom 04.05.2004
12	selbst erstellte Konstruktionszeichnung der Radien von Mond und Erdschatten (verkleinerte Darstellung, Originalgröße siehe S. 26)
13	Originalbild siehe Anhang S. (nachbearbeitet)

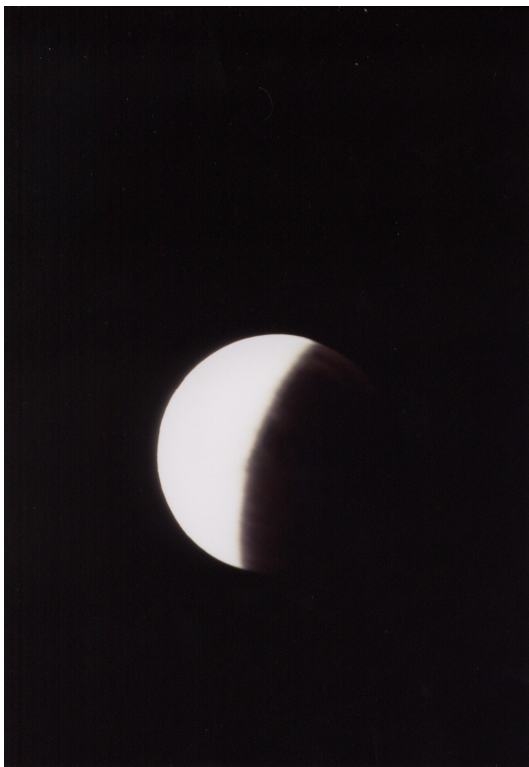
7.2 Dokumentarische Fotos vom 04.05.2004



Mond zu Beginn der Finsternis



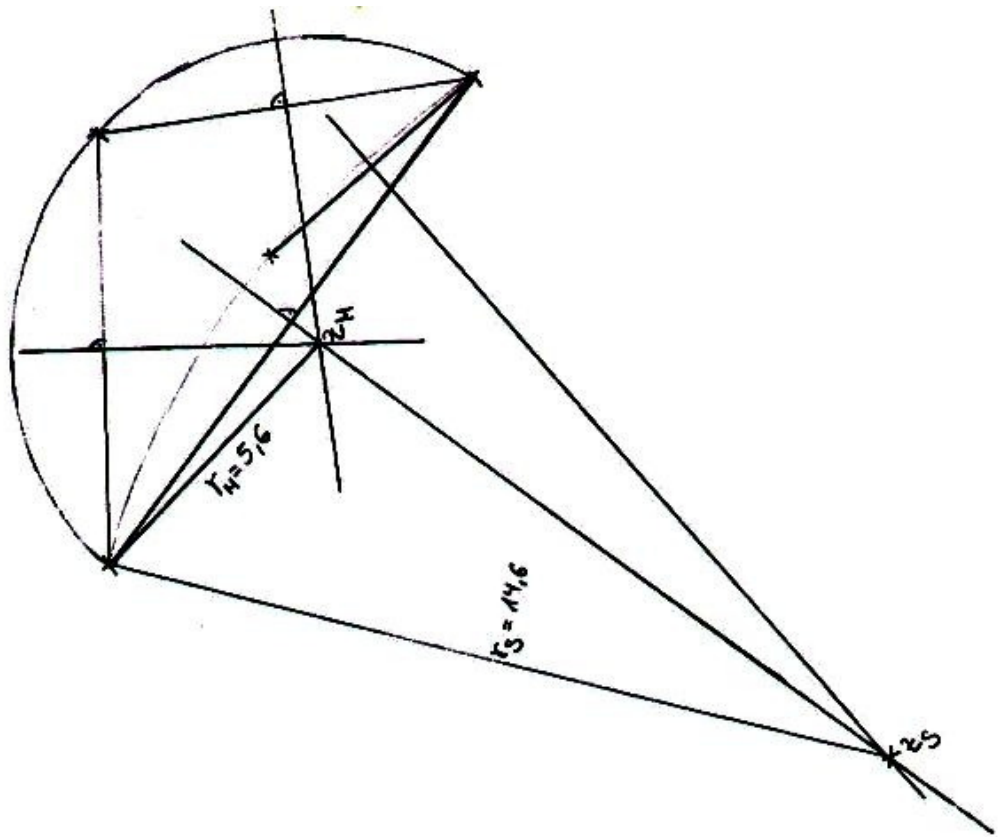
Mond während der Totalen Phase



Für die Berechnung des Abstands
Erde-Mond verwendetes Bild



verwendete Ausrüstung

7.3 Skizze

7.4 Anekdote über Christoph Kolumbus

zitiert aus:

Harrington, Philip S., Sonnen- und Mondfinsternisse, Spektrum, Berlin, 2002, S. 3.

„...Während seiner vierten Reise in die Neue Welt machte sich Verzweiflung breit, als eine Invasion von Holzwürmern seine Flotte in hölzerne Siebe verwandelt hatte. Schließlich zwangen ihn die Umstände, seine sinkende Armada in Jamaika an Land zu ziehen. Zwar boten die Ureinwohner den Schiffbrüchigen Nahrung und Schutz an; als die dort verbrachten Wochen aber zu Monaten wurden, wuchsen die Spannungen unter der schiffbrüchigen Besatzung an. Dies gipfelte schließlich sechs Monate später in einer Meuterei der halben Besatzung, die die andere Hälfte der Besatzung angriff, einen Teil der Ureinwohner umbrachte und ihre Lebensmittel stahl. Erwartungsgemäß bedeutete das das Ende jeglicher Verhandlungen wegen zusätzlicher Lebensmittel, die Kolumbus mit den Ureinwohnern begonnen hatte.

Allerdings wusste Kolumbus aus einem astronomischen Jahrbuch, das er von einer Reise mitgebracht hatte, dass in Jamaika wenige Tage später eine totale Mondfinsternis zu sehen sein würde. Außerdem war ihm bekannt, dass sich die Einwohner Jamaikas vor diesen Ereignissen fürchteten. Dies machte sich Kolumbus zu Nutze, indem er den Führern der Ureinwohner sagte, dass der zornige Christengott den Mond blutrot färben würde, wenn sie die Besatzung nicht sofort mit Lebensmitteln versorgen würden. Tatsächlich kam es in der darauf folgenden Nacht zur Mondfinsternis. Dies war die Rettung: Die verängstigten Ureinwohner begannen unverzüglich, die Besatzung wieder reichlich mit Lebensmitteln zu versorgen, bis Hilfe aus der Heimat kam...“

7.5 Textauszug