

Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Band: 69 (2011)
Heft: 364

Artikel: Streulicht aus verschiedenen Atmosphärenschichten : farbige Ausleuchtung des Erdkernschattens
Autor: Baer, Thomas
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-897212>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 06.10.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Streulicht aus verschiedenen
Atmosphärenschichten

Farbige Ausleuchtung des Erdkernschattens

Das von CHRISTIAN SAUTER beschriebene «Kappenphänomen» bei Mondfinsternissen auf der folgenden Seite tritt immer auf, wenn der Trabant nicht tief im Kernschatten verschwindet. Streulicht gelangt aus verschiedenen Schichten der Erdatmosphäre in den Schatten. Diese bestimmen Intensität und Färbung des Mondes.

■ Von Thomas Baer

Bei einer Mondfinsternis wird das von der Sonne kommende Licht durch die irdische Atmosphäre in den dunklen Kernschattenraum hineingebrochen. Dabei wird es geschwächt und auch spektral verändert. Die Mondhelligkeit nimmt dabei im Mittel von -12.5^{mag} auf etwa $+1^{\text{mag}}$ ab, also etwa um den Faktor 300'000!

Die Atmosphäre kann als eine Art inhomogene Kugelschale um den Erdkörper herum betrachtet werden, deren Dichte mit der Höhe abnimmt. Die unteren 12 bis 15 km, die Tropo- oder Wettersphäre, ist verglichen mit der darüberliegenden und bis in eine Höhe von 50 km reichende Stratosphäre, wesentlich dichter. Dies ist auch der Grund, warum der Kernschattenrand auf dem Mond keine klare Grenze hat, sondern diffus erscheint (vgl. Figur 1). Im Mittel wirkt der Kernschatten in Mondentfernung wegen der Atmosphäre gegenüber einer atmosphärenlosen Erde um 2 - 3% vergrössert. Interessant ist, dass in diesem Fall die irdische Atmosphäre bis in eine Höhe von 100 km schatten-erzeugend sein müsste, was aber dem Dichteverlauf klar widerspricht. Nach [1] kann die Lufthülle erst unterhalb einer Höhe von 50 km eine Schwächung (Extinktion) der passierenden Lichtstrahlen bewirken. Es wird vermutet, dass eine schwach absorbierende Schicht in 100 bis 150 km liegen muss. In diesen Höhenlagen kämen einzig Meteoritenstaub, zeitweilig auch vulkanischer Staub oder leuchtende Nachtwolken (81 - 85 km) als Absor-



Fig. 1: Der Rand des Kernschattens erscheint wegen der Erdatmosphäre nicht scharf, sondern diffus. Diese vergrössert den Schatten sogar zwischen 1,7 und 3% gegenüber des geometrisch gerechneten Wertes. (Foto: Thomas Baer)

ber in Frage. Dies würde auch die beobachtete Variation der Erdschattenvergrösserung, die je nach Durchsichtigkeit der Atmosphäre geringer ausfällt, bei untersuchten Mondfinsternissen erklären.

Geometrische Faktoren

Wie wir aus eigener Erfahrung wissen, gleicht keine totale Mondfinsternis der anderen. Die eine ist dunkler, andere zeichnen sich durch ihre intensive Färbung aus. Bereits der französische Astronom ANDRÉ-LOUIS DANJON hat die Helligkeiten von Mondfinsternissen in Abhängigkeit von atmosphärischen Verunreinigungen untersucht und in einer nach ihm benannten fünfteiligen Skala klassifiziert. Die Ursachen, wie uns eine totale Mondfin-

sternis am Himmel erscheint, sind vielfältig und nicht nur vom Zustand der Erdatmosphäre abhängig. So bestimmt auch die Geometrie, etwa ob der Vollmond im Perigäum oder Apogäum den Erdkernschatten durchläuft, die Resthelligkeit des Mondes, zum anderen spielt die Grösse der Finsternis eine entscheidende Rolle (Fig. 2). DANJON glaubte sogar, einen Zusammenhang zwischen der Sonnenaktivität und der Mondfinsternishelligkeit entdeckt zu haben. Ihm fiel nämlich auf, dass die hellsten totalen Finsternisse, also jene mit der stärksten Lumineszenz, stets kurz vor einem Sonnenaktivitätsminimum eintraten, wenn die aktivsten Zonen auf der Sonne nach dem Gesetz von FRIEDRICH WILHELM GUSTAV SPÖRER nahe des heliografischen Äquators lagen. In

[2] wird das Phänomen mit Veränderungen der ultravioletten Strahlung und Strömen elektrisch geladener Teilchen erklärt, welche aus dem Bereich der Sonnenkorona kommen. Im Unterschied zu Licht, das sich geradlinig im Raum ausbreitet, können die geladenen Teilchen den Mond auch während einer totalen Finsternis erreichen und seine Oberfläche «kalt leuchten» lassen. Dieser Vorgang nennt man Phosphoreszenz, der ein Nachleuchten bis zu mehreren Stunden bewirken kann.

Heute wird dem Zusammenhang Sonnenaktivität und Mondfinsternishelligkeit eine sekundäre Bedeutung beigemessen. Andere Faktoren, etwa die Transparenz der Erdatmosphäre oder eben rein geometrische Aspekte scheinen einen wesentlich grösseren Einfluss auf die

Beobachtungen

Resthelligkeit des Mondes zu haben. Wie CHRISTIAN SAUTER in seinem Beitrag richtig bemerkt, zeigen randnahe Mondfinsternisse das typische «Kappenphänomen», ein Effekt, der auf unterschiedliche Lichtstreuung- und -beugung zurückzuführen ist.

Verschiedene Streueffekte

Die Atmosphäre der Erde bricht und streut das einfallende Sonnenlicht an Gasmolekülen, Staub- und Schwebeteilchen. Wir können drei verschiedene Streuvorgänge unterscheiden; die Lichtstreuung an Luftmolekülen (vornehmlich an Stickstoff und Sauerstoff), auch als Ray-

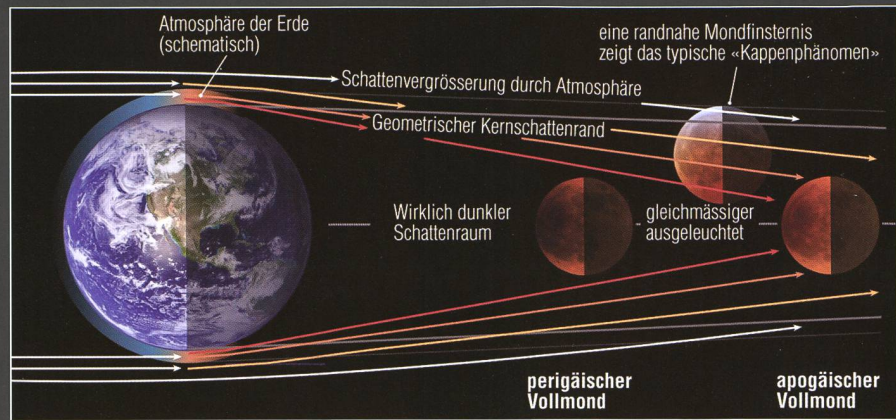


Fig. 2: Geometrische Faktoren bestimmen das Aussehen einer Mondfinsternis. Perigäische Mondfinsternisse fallen dunkler aus als apogäische. Ausserdem zeigen randnahe Finsternisse eine typische Aufhellung der Kalotte, die näher am Schattenrand steht. Sie wird von Streulicht getroffen, das durch höhere Schichten der Stratosphäre auf die Mondscheibe geworfen wird. (Grafik: Thomas Baer)

Das «weisse Kappenphänomen» bei randnahen Mondfinsternissen



Das «weisse Kappenphänomen» war bei den Finsternissen vom 3./4. März 2007 a) und am 21. Februar 2008 c) selbst zur Finsternismitte gut zu sehen. Die fast zentrale Mondfinsternis am 28. August 2007 b) hingegen zeigte im Maximum eine praktisch homogene Beleuchtung. (Fotos: Archiv Sternwarte Bülach)

In den letzten Jahren hatte ich die Gelegenheit drei Mondfinsternisse zu fotografieren, nämlich am 16. Mai, am 9. November 2003 und am 21. Februar 2008. Die Dauern der Totalitäten lagen alle unter einer Stunde. Bei der totalen Verfinsternung, wenn sich der Mond vollständig im Kernschatten der Erde befindet, erscheint uns dieser rötlich. Diese Färbung rührt daher, dass der langwellige Anteil des Sonnenlichts durch die unteren Schichten der Erdatmosphäre in den an sich dunklen Kernschatten abgelenkt wird.

In der Theorie zeigt sich der Mond kupferrot. Doch die Praxis lieferte ein etwas anderes Bild. Schon am 16. Mai 2003 fiel mir auf, dass auch nach Beginn der Totalität eine weisse Kappe am Nordostrand des Mondes verblieb, ähnlich einer «Polarkappe» (siehe Foto rechts).

Die totale Mondfinsternis vom 9. November 2003 fand praktisch im Zenit statt. Auch jetzt wurde der Mond selbst in der Mitte der Totalität nicht homogen rötlich. Es verblieb wiederum

eine «Polarkappe». Am 21. Februar 2008 um 04:31 Uhr, also praktisch mitten in der totalen Eklipse, war dieses «Kappenphänomen» wiederum deutlich zu beobachten (vgl. Abbildungen oben). Wann sollen wir eine Eklipse total nennen? Theoretisch waren alle drei Ereignisse total, denn der Mond befand sich vollständig im Kernschatten der Erde.

Wie ist dieses «Kappenphänomen» zu erklären? Die Totalität aller drei Eklipsen dauerte weniger als 60 Minuten. Der Mond stand in der Nähe des Randes des Kernschattens (vgl. dazu ORION 1/08). Das ermöglicht offensichtlich der Erdatmosphäre das weisse Licht soweit abzulenken, dass dieses «Kappenphänomen» zustande kommen kann. Interessant wird die bevorstehende totale Mondfinsternis vom 15. Juni 2011 sein. Die totale Phase dauert dann 100 Minuten und 53 Sekunden. In der Mitte dieser langen Finsternis – leider während der Dämmerung – verschwindet das «weisse Kappenphänomen» möglicherweise. (chs)



Der Mond zu Beginn der totalen Finsternis am 16. Mai 2003 wies ebenfalls das «Kappenphänomen» auf. (Foto: Christian Sauter)

leigh-Streuung bekannt, die Lorenz-Mie-Streuung, sowie die Lichtstreuung an stratosphärischem Ozon. Von der Rayleigh-Streuung sprechen wir, wenn es sich um eine Streuung elektromagnetischer Wellen an Teilchen handelt, deren Durchmesser klein ist im Vergleich zur Wellenlänge selbst. Die Bedingung für Rayleigh-Streuung ist zum Beispiel bei der Streuung von Licht an Gasmolekülen erfüllt. Blaues Licht hat eine höhere Frequenz (kürzere Wellenlänge) als rotes und wird daher stärker gestreut. Luftmoleküle besitzen eine geringe Streuwirkung, die aber immerhin stark genug ist, um in den unteren Schichten der Atmosphäre einen sichtbaren Effekt zu erzeugen, nämlich das uns vertraute Himmelsblau. In der unteren Atmosphäre sorgen neben den Luftmolekülen auch Schwebeteilchen, sogenannte Aerosole für Streueffekte. Ihre Verteilung, Dichte und Teilchengröße ist über dem Kontinent anders als über den Ozeanen. Auch Vulkane können riesige Mengen an Gasen, Staub- und Russpartikeln in die Atmosphäre schleudern, je nach Stärke der Eruption in Höhen von 10 - 12 km oder auch über die Tropopause hinaus in den unteren Bereich der Stratosphäre. Die Auswirkungen von vulkanischen Aerosolen konnten wir besonders eindrucksvoll nach dem in den frühen 90er-Jahren ausgebrochenen Vulkan Pinatubo bestaunen und jüngst auch nach dem Ausbruch des Isländischen Vulkans Eyjafjallajökull.

Die Lorenz-Mie-Streuung, benannt nach dem deutschen Physiker GUSTAV MIE und dem dänischen Physiker LUDVIG LORENZ, bezeichnet eine Streuung von Licht an Teilchen, deren Grösse etwa der Wellenlänge des gestreuten Lichtes selbst entspricht. Es handelt sich um Schwebeteilchen mit Teilchengrößen von ca. 0,01 bis 100 Mikrometern. Diese sind im Vergleich zu den Luftmolekülen (0,5 Nanometer) wesentlich grösser. Rotes Licht wird also auch von den Aerosolen besser durchgelassen als blaues (Fig. 5).

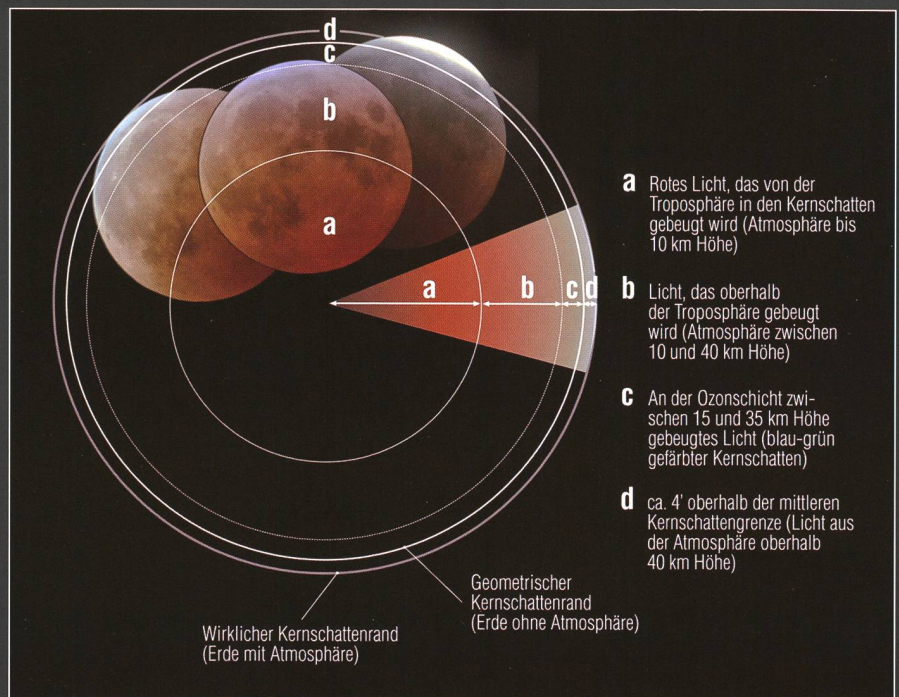


Fig. 3: Am Beispiel der totalen Phase der Mondfinsternis vom 3./4. März 2007 kann der Farbverlauf innerhalb des Kernschattens gut illustriert werden. Wir können vier verschiedene Zonen definieren, welche Streulicht aus unterschiedlichen Schichten der Erdatmosphäre erhalten. Besonders schön ist der leicht türkisfarbene, durch die Ozonschichten verursachte Lichtsaum zu sehen. (Grafik: Thomas Baer)

teilchen mit Teilchengrößen von ca. 0,01 bis 100 Mikrometern. Diese sind im Vergleich zu den Luftmolekülen (0,5 Nanometer) wesentlich grösser. Rotes Licht wird also auch von den Aerosolen besser durchgelassen als blaues (Fig. 5).

Ozon absorbiert rotes Licht

Ein Strahlenbündel von der Sonne, welches die Erdatmosphäre durchdringt, wird je nach Höhe unterschiedlich stark abgelenkt (vgl. dazu Fig. 2). Die Erdatmosphäre wirkt ähnlich einer vergrösserten Sammellinse. Lichtstrahlen, welche

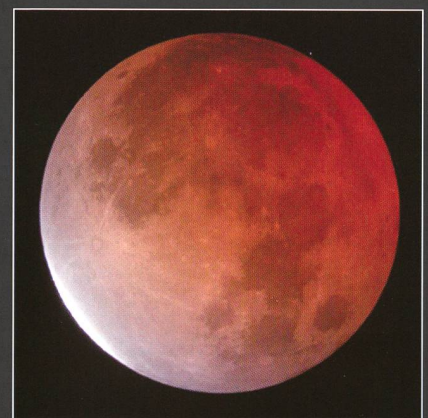
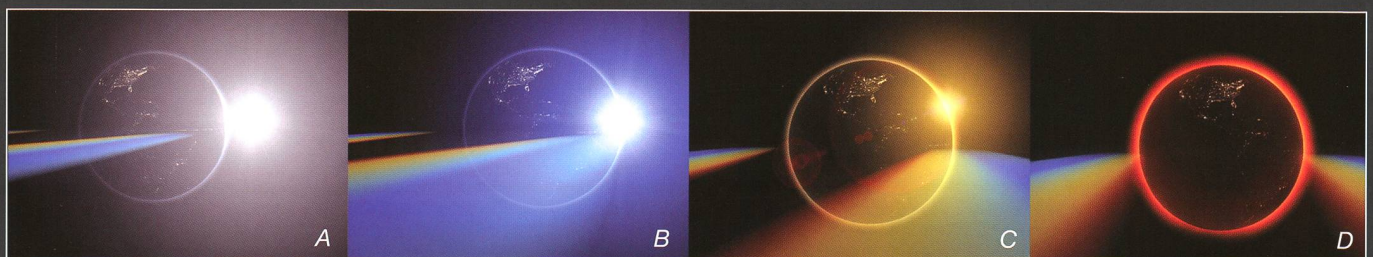


Fig. 4: Der türkisfarbene Lichtsaum war auch am 9./10. November 2003 gut sichtbar. (Foto: Fabienne Dubler)



Wir «fliegen» fiktiv durch den Kernschatten der Erde. In Position A befinden wir uns noch im vollen Sonnenschein nahe des Kernschattens. In Position B verschwindet die Sonne allmählich hinter der Erde. Das Sonnenlicht wird in der hohen Atmosphäre gestreut und enthält eine starke Blaukomponente. Je tiefer die Finsternis fortschreitet (Position C), desto stärker färbt sich das Restlicht nach orangegelb. Die Sonnenstrahlen passieren bereits die tieferen Atmosphäreschichten im Bereich der Tropopause. Die Finsternis erreicht in Position D ihren Höhepunkt. Jetzt erreicht uns ausschliesslich Troposphärenlicht, welches eine starke Rötung aufweist. Um die dunkle Erde herum vereinigen sich Morgen- und Abenddämmerung zu einem orangeroten Lichtsaum.



Fig. 5: Sonnenuntergang auf der ISS. Während die unteren Schichten der Erdatmosphäre stark gerötet erscheinen, dominiert in der höheren Atmosphäre der Blauanteil. (Bild: NASA)

die Troposphäre durchlaufen, werden bis zu 1° in Richtung Kernschattenachse gebeugt und leuchten in Fig. 3 vorzugsweise den Bereich **a** aus rötlich aus. Verantwortlich dafür ist vornehmlich die Rayleighstreuung. Die in der obigen Figur gezeichneten Grenzen sind verständlicherweise fließend. Die Bereiche **b** und **c** werden von Licht erhellt, das die Atmosphäre bis in Höhen von 40 km durchläuft. Hier ist der Beugungswinkel mit 0.2° bedeutend flacher. Unter 0.1° ist er für Lichtstrahlen, welche die Hochatmosphäre schon nahezu tangential passieren (Bereich **d**). Interessant ist der grünliche Saum nahe des Kernschattenrandes (Bereich **c**), der nachweislich durch stratosphärisches Ozon in 15 bis 50 km Höhe bewirkt wird. Gemäss Dr. R. KEEN (NASA) absorbiert die Ozonschicht rote Wellenlängen; das Licht wird daher blau oder türkisfarben. Die Ozonabsorption erreicht nach H. K. PAETZOLD ihr Maximum bei 5000 Ångström.

Dunkle Finsternis erwartet

Mondfinsternisse haben ihren wissenschaftlichen Wert längst verloren. Für Amateurastronomen können aber gerade Methoden von damals, etwa den Nachweis der Erdschattenvergrößerung oder die Helligkeitsbestimmung nach DANJON durchaus reizvolle Betätigungsfelder sein. Auch wenn die bevorste-

hende Juni-Finsternis für uns Mitteleuropäer zeitlich ungünstig liegt, dürfte sie dennoch unsere Aufmerksamkeit verdienen. Wer bei dieser oder einer späteren Finsternis einmal die Schattenvergrößerung sel-

ber ermitteln will findet die berechneten Kraterein- und -austritte für die Finsternis vom 15. Juni 2011 auf der Website von FRED ESPENAK unter: <http://eclipse.gsfc.nasa.gov/OH/OH2011.html#LE2011Jun15T> als PDF-File «Table 3». Aufgrund ihrer Tiefe wird allgemein eine recht dunkle Finsternis um 1.6 nach DANJON erwartet (siehe unten). Ihre Färbung dürfte aber um die Finsternismitte infolge der andauernden Abenddämmerung hierzulande nur schwierig zu ermitteln sein, da der Himmel nicht schwarz ist.

■ **Thomas Baer**
Bankstrasse 22
CH-8424 Embrach

Quellen

- [1] H. K. PAETZOLD, 1951, «Die optischen Erscheinungen bei einer Mondfinsternis», in der Zeitschrift *Astrophysik*, Bd. 30, S. 282-292 (1952)
- [2] M. MINNAERT, 1992, «Licht und Farbe in der Natur», S. 378-379, Birkhäuser

