

Mond

Der **Mond** (lateinisch *Luna*) ist der einzige natürliche Satellit der Erde. Seit den Entdeckungen von Trabanten bei anderen Planeten des Sonnensystems, im übertragenen Sinn zumeist als Monde bezeichnet, wird er zur Vermeidung von Verwechslungen auch **Erdmond** genannt. Er ist mit einem Durchmesser von 3476 km der fünftgrößte Mond des Sonnensystems.

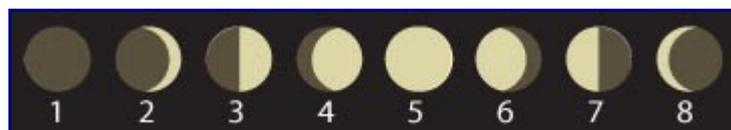
Aufgrund seiner verhältnismäßigen Nähe ist er der einzige fremde Himmelskörper, der bisher von Menschen betreten wurde und somit auch der am weitesten erforschte. Trotzdem gibt es noch viele Unklarheiten, etwa in Bezug auf seine Entstehung und manche Geländeformen. Die jüngere Entwicklung des Mondes ist jedoch weitgehend geklärt.

Sein astronomisches Symbol ist die, von der irdischen Nordhalbkugel aus betrachtete, abnehmende Mondsichel.



Mondphasen

Das Aussehen des Mondes variiert im Laufe seines Bahnumlaufs und durchläuft die Mondphasen:



Mondphasen von Neumond über Vollmond bis kurz vor dem nächsten Neumond (siehe auch Animation im Abschnitt Rotation)

- Neumond (1) – der Mond steht zwischen der Sonne und der Erde,
- zunehmender Mond (2–4) – abends sichtbar,
- Vollmond (5) – die Erde steht zwischen der Sonne und dem Mond,
- abnehmender Mond (6–8) – morgens sichtbar,
- Halbmond – zunehmend (3) oder abnehmend (7) – ist die Halbphase (Dichotomie).

Diese Darstellung gilt für die Betrachtung von der Nordhalbkugel (der Erde) aus. Betrachtet man den Mond stattdessen von der Südhalbkugel aus, so kehrt sich die visuelle Erscheinung um: Neumond (1), zunehmender Mond (8, 7, 6), Vollmond (5), abnehmender Mond (4, 3, 2). Einem Beobachter in der Nähe des Äquators erscheint die Mondsichel waagrecht und die Verlaufsrichtung des Phasenwechsels senkrecht zum Horizont. Diese Abhängigkeit der Lage vom Breitengrad widerspiegelt sich zum Beispiel bei der Verwendung einer symbolischen Mondsichel in Form einer Schale auf der Staatsflagge einiger äquatornaher Länder.

Die nicht von der Sonne beleuchteten Teile der erd zugewandten Mondseite sind dabei nie völlig dunkel, sondern werden durch das Erdlicht – den Widerschein der Erdoberfläche und der Erdatmosphäre – ein wenig aufgehellt. Diese Aufhellung wird als Erdschein oder auch als aschgraues Mondlicht bezeichnet und ist am besten bei schmaler Mondsichel zu sehen.



Seine Ursache wurde schon von Leonardo da Vinci richtig erkannt. Mit einem Fernglas selbst geringer Vergrößerung sind in dem Erdschein sogar Einzelheiten erkennbar, denn aufgrund des größeren Durchmessers und des höheren Rückstrahlungsvermögens (Albedo) der Erde ist die „Vollerde“ rund 50-mal so hell wie der Vollmond. Messungen des aschgrauen Mondlichts erlauben Rückschlüsse auf Veränderungen der Erdatmosphäre. Bei Vollmond beträgt seine Beleuchtungsstärke 0,2 Lux.

Die ständig erdabgewandte Rückseite des Mondes ist natürlich nicht immer dunkel, sondern unterliegt dem entsprechend versetzten Phasenwechsel – bei Neumond wird sie vom Sonnenlicht vollständig beschienen.

Finsternisse

Verfinsterungen zwischen Sonne, Mond und Erde treten auf, wenn die drei Himmelskörper auf einer Linie liegen, das heißt, nur bei Vollmond oder Neumond und wenn sich der Mond in einem der zwei Mondknoten befindet. Dies passiert nur zweimal pro Jahr.

Mondfinsternis



Totale Mondfinsternis am 9. November 2003

Bei einer Mondfinsternis, die nur bei Vollmond auftreten kann, steht die Erde zwischen Sonne und Mond. Sie kann auf der gesamten Nachtseite der Erde beobachtet werden und dauert maximal 3 Stunden 40 Minuten. Man unterscheidet

- die *totale* Mondfinsternis, bei welcher der Mond völlig in den Schatten der Erde wandert. Die Totalität dauert höchstens 100 Minuten. Betrachtet man die geometrischen Verhältnisse bei einer totalen Mondfinsternis, so sollte der Mond im Kernschatten der Erde liegen, der sich theoretisch knapp 1,4 Millionen Kilometer in den Raum erstrecken sollte, tatsächlich aber wegen der starken Streuung durch die Erdatmosphäre nur etwa 250.000 km weit reicht. Der Mond wird deshalb auch bei totalen Finsternissen nicht völlig verdunkelt. Da die Erdatmosphäre die blauen Anteile des Sonnenlichts stärker streut als die roten, erscheint der Mond bei totalen Finsternissen als dunkle rotbraune Scheibe; daher auch die gelegentliche Bezeichnung „Blutmond“.
- die *partielle* Mondfinsternis, bei der nur ein Teil des Mondes von der Erde abgeschattet wird, das heißt, ein Teil des Mondes bleibt während des gesamten Verlaufs der Finsternis sichtbar.
- die *Halbschattenfinsternis*, bei welcher der Mond nur (ganz oder teilweise) in den Halbschatten der Erde eintaucht. Halbschattenfinsternisse sind ziemlich unauffällig; es zeigt sich lediglich eine leichte Vergrauung derjenigen Mondseite, die dem Kernschatten der Erde am nächsten ist.

Vom Mond aus gesehen stellt sich eine Mondfinsternis als Sonnenfinsternis dar. Dabei verschwindet die Sonne hinter der schwarzen Erdscheibe. Bei einer totalen Mondfinsternis herrscht auf der ganzen Mondvorderseite totale Sonnenfinsternis, bei einer partiellen Mondfinsternis ist die Sonnenfinsternis auf dem Mond nur in einigen Gebieten total, und bei einer Halbschatten-Mondfinsternis herrscht auf dem Mond partielle Sonnenfinsternis. Ringförmige Sonnenfinsternisse gibt es auf dem Mond wegen des im Verhältnis zur Sonne viel größeren scheinbaren Durchmessers der Erdscheibe nicht; lediglich durch die beschriebene Lichtstreuung in der Erdatmosphäre wird der Rand der schwarzen Scheibe zu einem kupferrot schimmernden Ring, der dem Mond die entsprechende Farbe verleiht.

Sonnenfinsternis



Totale Sonnenfinsternis mit sichtbarer Korona

Bei einer Sonnenfinsternis, die nur bei Neumond auftreten kann, steht der Mond zwischen Sonne und Erde. Sie kann nur in den Gegenden beobachtet werden, die den Kern- oder Halbschatten des Mondes durchlaufen; diese Gegenden stellen sich meist als lange, aber recht schmale Streifen auf der Erdoberfläche dar. Man unterscheidet:

- *totale* Sonnenfinsternis, bei der der Mond die Sonnenscheibe einige Minuten lang

vollständig bedeckt und die Erde den Kernschatten (*Umbra*) des Mondes durchläuft;

- *partielle* Sonnenfinsternis, bei welcher der Mond die Sonnenscheibe nicht vollständig bedeckt; der Beobachter befindet sich dabei im Halbschatten (*Penumbra*) des Mondes;
- *ringförmige* Sonnenfinsternis, wenn der Mond durch zu große Erdferne die Sonnenscheibe nicht ganz abdeckt (siehe auch: Durchgang).

Eine *Sonnenfinsternis* wird nur vom irdischen Betrachter als solche wahrgenommen. Die Sonne leuchtet natürlich weiter, dagegen liegt die Erde im Schatten des Mondes. Entsprechend zur Mondfinsternis müsste man korrekterweise also von einer *Erdfinsternis* sprechen.

Wasser

Der Mond ist ein extrem trockener Körper. In den Proben, die von den Astronauten der Apollo-Missionen zur Erde gebracht wurden, kommt Wasser, im Gegensatz beispielsweise zu einigen chondritischen Meteoriten, nicht einmal in Form hydratisierter Minerale vor.

Jedoch konnten Wissenschaftler mit Hilfe eines neuen Verfahrens im Sommer 2008 winzige Spuren von Wasser (bis zu 0,0046 %) in kleinen Glaskügelchen vulkanischen Ursprungs in Apollo-Proben nachweisen. Diese Entdeckung deutet darauf hin, dass bei der gewaltigen Kollision, durch die der Mond entstand, nicht das ganze Wasser verdampft ist.

Außerdem hat die Lunar-Propector-Sonde Hinweise auf Wassereis in den Kratern der Polarregionen des Mondes gefunden; dieses Wasser könnte aus Kometenabstürzen stammen. Da die polaren Krater aufgrund der geringen Neigung der Mondachse gegen die Ekliptik niemals direkt von der Sonne bestrahlt werden und somit das Wasser dort nicht verdampfen kann, könnte es sein, dass dort noch im Regolith gebundenes Wassereis vorhanden ist. Der Versuch, durch den gezielten Absturz des Prospectors in einen dieser Polarkrater einen eindeutigen Nachweis zu erhalten, schlug allerdings fehl.

Im September 2009 entdeckte die indische Sonde Chandrayaan-1 Hinweise auf größere Wassermengen auf dem Mond.

Am 13. November 2009 bestätigte die NASA, dass die Daten der LCROSS-Mission auf größere Wasservorkommen auf dem Mond schließen lassen.

Atmosphäre

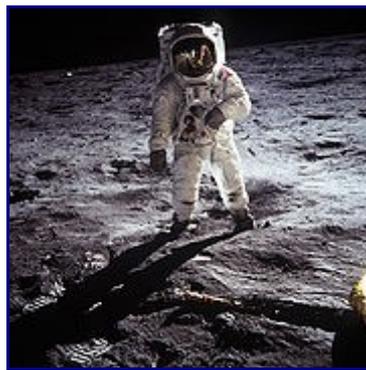
Der Mond hat keine Atmosphäre im eigentlichen Sinn, sondern nur eine Exosphäre. Sie besteht zu etwa gleichen Teilen aus Helium, Neon, Wasserstoff sowie Argon und hat ihren Ursprung in eingefangenen Teilchen des Sonnenwindes. Ein sehr kleiner Teil entsteht auch durch Ausgasungen aus dem Mondinneren, wobei insbesondere $^{40}\text{Argon}$, das durch Zerfall von $^{40}\text{Kalium}$ im Mondinneren entsteht, von Bedeutung ist. Interessanterweise wird ein Teil dieses $^{40}\text{Argon}$ aber durch das im Sonnenwind mittransportierte Magnetfeld wieder auf die Mondoberfläche zurückgetrieben und in die oberste Staubpartikelschicht übernommen. Da $^{40}\text{Kalium}$ früher häufiger war und damit mehr $^{40}\text{Argon}$ ausgasete, kann durch Messung des $^{40}\text{Argon}/^{36}\text{Argon}$ -Verhältnisses von Mondmaterial bestimmt werden,

zu welcher Zeit es in der obersten Schicht des Mondregoliths lag. Es besteht ein Gleichgewicht zwischen den eingefangenen Atomen und dem Verlust durch temperaturbedingtes Entweichen.

Oberflächentemperatur

Aufgrund der langsamen Rotation des Mondes und seiner nur äußerst dünnen Gashölle gibt es auf der Mondoberfläche zwischen der Tag- und der Nachtseite sehr große Temperaturunterschiede. Am Tag erreicht die Temperatur eine Höhe von bis zu etwa 130 °C und fällt in der Nacht bis auf etwa -160 °C ab. Als Durchschnittstemperatur ergeben sich 218 K = - 55 °C. In manchen Gebieten gibt es lokale Anomalien, in Form von einer etwas höheren oder auch etwas niedrigeren Temperatur an benachbarten Stellen. Krater, deren Alter als relativ jung angesehen wird, wie zum Beispiel Tycho, sind nach Sonnenuntergang etwas wärmer als ihre Umgebung. Wahrscheinlich können sie durch eine dünnere Staubschicht die während des Tages aufgenommene Sonnenenergie besser speichern. Andere positive Temperaturanomalien gründen eventuell auf örtlich etwas erhöhter Radioaktivität.

Menschen auf dem Mond



Buzz Aldrin am 21. Juli 1969 (UTC/Apollo 11)



Karte der Landestellen der bemannten und unbemannten Missionen bis 1976



Eugene Cernan am 11. Dezember 1972 mit Mondrover

Der Mond ist nach der Erde bisher der einzige von Menschen betretene Himmelskörper. Im Rahmen des Kalten Kriegs unternahmen die USA und die UdSSR einen Wettlauf zum Mond und in den 1960ern als Höhepunkt einen Anlauf zu bemannten Mondlandungen, die jedoch nur mit dem Apollo-Programm der Vereinigten Staaten realisiert wurden. Das bemannte Mondprogramm der Sowjetunion wurde daraufhin abgebrochen.

Am 21. Juli 1969 UTC setzte mit Neil Armstrong der erste von zwölf Astronauten im Rahmen des Apollo-Programms seinen Fuß auf den Mond. Nach sechs erfolgreichen Missionen wurde das Programm 1972 wegen der hohen Kosten eingestellt. Während des ausgehenden 20. Jahrhunderts wurde immer wieder über eine Rückkehr zum Mond und die Einrichtung einer ständigen Mondbasis spekuliert, aber erst durch Ankündigungen des damaligen US-Präsidenten George W. Bush und der NASA Anfang 2004 zeichneten sich konkretere Pläne ab. Am 4. Dezember 2006 hat die NASA ernsthafte Pläne für eine stufenweise Annäherung des Menschen an den Mond bekannt gegeben. Demnach sollen, nach ersten Testflügen ab 2009, schon 2019 wieder bemannte Missionen zum Mond führen. Ab 2020 sollen vier Astronauten 180 Tage lang auf dem Mond verweilen, bis dann ab 2024 eine permanent bemannte Mondbasis am lunaren Südpol errichtet sein wird.