

Astronomie und Astrophysik

Der Mond

**von
Andreas Schwarz**



Stand: 27.04.2026

0 Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	3
2 Die Entstehung des Mondes	5
2.1 Die drei klassischen Hypothesen zur Mondentstehung.....	5
2.2 Die favorisierte Hypothese zur Mondentstehung.....	6
3 Der Aufbau des Mondes	6
3.1 Die Kruste, der Mantel und der Kern des Mondes.....	6
3.2 Seismische und tektonische Mondaktivitäten.....	7
3.3 Restentgasungen aus der Mondkruste, die Exosphäre des Mondes und Wassereis.....	7
4 Die Oberfläche des Mondes	8
4.1 Die Mondkrater.....	8
4.2 Die Terrae (Hochländer) des Mondes.....	10
4.3 Die Maria (Meere) des Mondes.....	11
4.4 Rillen auf dem Mond.....	12
5 Die Bahnbewegung des Mondes	13
5.1 Siderischer und synodischer Monat sowie Mondphasen.....	14
5.2 Mond- und Sonnenfinsternisse.....	15
5.3 Bahnstörungen auf der Bewegung des Mondes und der Mondrotation.....	16
5.4 Die Libration des Mondes.....	17
6 Lunar-terrestrische Beziehungen	17
6.1 Die Gezeiten.....	17
6.2 Der Einfluss des Mondes auf biologische Systeme.....	19
7 Raumfahrtmissionen zum Mond	20
8 Schlusswort	25
9 Literatur-, Quellen- und Bilderverzeichnis	26

1 Einleitung

Der Mond ist ein natürlicher Satellit bzw. Trabant der Erde. Aufgrund der Größenverhältnisse zwischen Erde und Mond wird auch von einem Doppelplaneten-System gesprochen. Der Durchmesser des Mondes beträgt 3.476 km und damit rund ein Viertel des Erddurchmessers. Im Sonnensystem ist der Mond damit der fünftgrößte Trabant. Die Entfernung zwischen Erde und Mond bewegt sich in einem Bereich von 363.300 km bis 405.500 km. Die mittlere Entfernung beträgt 384.400 km. Die Masse des Mondes beträgt 1/81 der Erdmasse. Aufgrund der geringen Oberflächengravitation kann der Mond keine Atmosphäre halten. Die mittlere Dichte des Mondes beträgt 3,3 g/cm³.

Der Mond rotiert in rund 27,3 Tagen um seine eigene Achse, im Prinzip genauso lange wie er für einen Umlauf um die Erde benötigt. Dadurch ist, abgesehen von leichten Schwankungen, der Erde immer dieselbe Mondseite zugewandt. In diesem Fall wird von einer gebundenen Rotation gesprochen. Sie kommt durch die Gezeitenwirkung (periodische Verschiebung von Massen aufgrund der Gravitation) zwischen Erde und Mond zustande. Insgesamt können aufgrund von leichten Schwankungen 59 Prozent der Mondoberfläche von der Erde aus gesehen werden. Ursachen hierfür sind, dass sich während eines Mondumlaufs auch die Erde auf ihrer Bahn um die Sonne weiterbewegt. Des Weiteren ist die Mondbahn bezogen auf die Erdbahnebene (Ekliptik) um 5,145° geneigt und ihre Exzentrizität (Abweichung von der Kreisbahn) beträgt 0,0549. Die Neigung der Mondachse hat einen Wert von 6,68°.

Besonders auffällig sind die Phasen des Mondes. Es wird in der Regel zwischen der siderischen und der synodischen Umlaufzeit des Mondes unterschieden. Erstere bezieht sich auf die Sterne und beträgt 27,32 Tage. Letztere auf den Durchlauf der Mondphasen, etwa von Vollmond zu Vollmond, und beträgt 29,5 Tage. Wie oben bereits beschrieben bewegt sich auch die Erde auf ihrer Bahn weiter, so dass der Mond bis zum Wiedererreichen einer bestimmten Phase etwas nachlaufen muss. Die Mondphasen kommen durch die Stellung von Erde, Mond und Sonne zueinander zustande. Bei Halbmond stehen die drei Himmelsobjekte in einem Winkel von 90° zueinander. Bei Vollmond steht der Mond in Opposition zur Sonne (180° voneinander an der Himmelskugel entfernt) bzw. die Erde steht zwischen Sonne und Mond. Wenn Sonne und Mond in Konjunktion zueinanderstehen (0°), also zusammen etwa am gleichen Himmelsort, ist Neumond. Alle anderen Phasen des Mondes ergeben sich aus den Stellungen dazwischen.

Aufgrund der Neigung der Mondbahn gegenüber der Erdbahnebene wandert der (Neu-)Mond in der Regel unterhalb oder oberhalb an der Sonne vorbei. Befindet sich der Mond jedoch im Bereich seiner Bahnknoten, der Schnittebene der Mond- und Erdbahnebene, kommt es zu einer Bedeckung der Sonne durch den Mond. Am Himmel betragen die scheinbaren Größen von Mond und Sonne etwa 1/2°, so dass sie etwa gleichgroß sind. Je nach Entfernung des Mondes von der Erde zum Zeitpunkt einer Finsternis erfolgt eine vollständige Bedeckung (totale Sonnenfinsternis) oder die scheinbare Mondscheibe ist etwas kleiner als die scheinbare Sonnenscheibe, womit es dann zu einer ringförmigen Sonnenfinsternis kommt. Von einer partiellen Sonnenfinsternis oder auch Mondfinsternis wird gesprochen, wenn von einem bestimmten Ort der Erde die Himmelskörper nur teilweise bedeckt bzw. verfinstert sind und die Totalitätsphase von dort aus nicht beobachtet werden kann. Die Mondfinsternis kommt ebenfalls nur zustande, wenn sich der Vollmond im Bereich seiner Bahnknoten aufhält. In diesem Fall wandert der Mond durch den Erdschatten und wird verfinstert. Wenn Neumond ist, dann ist vom Mond aus gesehen die Erde voll beleuchtet.

Kurz nach oder vor Neumond kann zeitweise schwach der ganze Mond wahrgenommen werden. Hierbei handelt es sich um von der Erde aus zum Mond reflektiertes Sonnenlicht, in diesem Fall wird vom „Aschgrauen Licht“ des Mondes gesprochen. Bei Vollmond liegt die scheinbare Helligkeit bei -12^m,5. Die Albedo (Rückstrahlungsvermögen) der Mondoberfläche beträgt 0,12.

Die Oberfläche des Mondes weist große Ebenen, die sogenannten Maria (Meere) und Krater auf. Bei den Maria handelt es sich nicht um tatsächliche Meere, sondern um große Impaktbassins, die sich seinerzeit mit Lava füllten. Die Mondkrater gehen ebenfalls auf Impakte (Einschläge) zurück, welche vor allem in der Anfangszeit des Sonnensystems vor rund 3,8 Milliarden Jahren stattfanden.

Nachfolgend wird auf die Entstehung, den Aufbau, die Entwicklung und die Erforschung des Mondes, unter anderem im Rahmen von Raumfahrtmissionen, ausführlich eingegangen.



Bild 1: Erde und Mond von Artemis 2 / Quelle: NASA / JPL

2 Die Entstehung des Mondes

Eine Hypothese bzw. Theorie zur Entstehung des Mondes muss nachfolgende Eigenschaften des Systems Erde – Mond erklären können:

- Im Vergleich zur Erde ist der Mond relativ groß, wobei dies einmalig im Sonnensystem ist und daher von einem Doppelplaneten-System gesprochen wird.
- Der Mond trägt den größten Anteil des Drehimpulses im System Erde – Mond.
- Die Mondbahn ist eine Ellipse mit einer geringen Exzentrizität, die um rund 5° gegenüber der Ekliptik (Erdbahnebene) geneigt ist und nicht in der Ebene des Erdäquators liegt.
- Die mittlere Dichte des Mondes mit rund $3,3 \text{ g/cm}^3$ ist vergleichbar mit der Dichte der Erdkruste, nicht jedoch mit der des gesamten Planeten Erde von rund $5,5 \text{ g/cm}^3$.
- Die Erdkruste und der Mond bestehen zu 98 Prozent aus dem gleichen Material, wie zum Beispiel aus den identischen Zusammensetzungen ihrer Sauerstoffisotope folgt.
- Im Vergleich zur Erde ist der Mond arm an Eisen.
- Die ältesten Mondgesteine haben sich erst 50 bis 100 Millionen Jahre nach der Entstehung des Planetensystems verfestigt, während sich die meisten Planetoiden dieser Größe bereits in den ersten hunderttausend Jahren gebildet haben dürften.
- Der Beginn der Mondbildung dürfte sehr energiereich gewesen sein, so dass sich die ältesten Mondgesteine aus einem Ozean aus Magma herauskristallisiert haben.

Es gibt verschiedene Hypothesen über die Entstehung des Mondes, vier davon werden nachfolgend vorgestellt. Die ersten drei Hypothesen zur Mondentstehung sind die klassischen und werden nicht mehr favorisiert, da sie Schwächen aufweisen. Die letztere, die Kollisionshypothese von 1975, ist die in der Wissenschaft favorisierte und erklärt bisher am plausibelsten die Mondentstehung.

2.1 Die drei klassischen Hypothesen zur Mondentstehung

Nach der **Abspaltungshypothese** löste sich der Mond von einer sehr schnell rotierenden Erde ab. Der Prozess soll während der Erdentstehung stattgefunden haben, als sich die noch nicht verfestigte Erde formte. Am Erdäquator bildete sich demnach eine Ausbuchtung, aus der sich das Material für den Mond löste. Aus diesem Material soll sich dann der Mond geformt haben. Die Hypothese würde die Ähnlichkeiten zwischen der materiellen Zusammensetzung des Erdmantels und die des Mondes erklären. Allerdings müsste die Erde in diesem Fall in weniger als zwei Stunden um ihre Achse rotiert haben, was als unwahrscheinlich gilt. Unklar wäre auch, wie sich der Drehimpuls der Erde abgebaut haben soll. Er müsste aufgrund der Drehimpulserhaltung irgendwo hin übertragen worden sein. Im System Erde – Mond befindet sich kein entsprechenden Bahn- und Eigendrehimpulsbetrag, um einen entsprechenden Drehimpulsübertrag erklären zu können.

Die **Doppelplanethypothese** geht von einer gemeinsamen Entstehung der Erde und des Mondes, etwa am gleichen Ort und zur gleichen Zeit, in der protoplanetaren Gas- und Staubwolke aus. Dies würde zwar die Gemeinsamkeiten zwischen Erde und Mond erklären, nicht jedoch die deutlichen Unterschiede. So besitzt die Erde einen Metallkern und der Mond nicht.

Die **Einfanghypothese** geht davon aus, dass der Mond zunächst an einem anderen Ort im Sonnensystem entstanden ist und erst später von der Erde eingefangen wurde. Prinzipiell ist das möglich, jedoch sehr unwahrscheinlich. Die Erde hätte den Mond nicht so einfach einfangen können. Eher würde es zu einer Kollision zwischen beiden Himmelskörpern oder zu einem durch die Erdmasse beschleunigten Vorbeiflug des Mondes kommen. Nur mit Hilfe der entsprechenden Masse eines dritten Himmelsobjektes hätte die Erde den Mond einfangen können. Des Weiteren würde diese Hypothese zwar die Unterschiede zwischen Erde und Mond, nicht jedoch deren Gemeinsamkeiten erklären können.

2.2 Die favorisierte Hypothese zur Mondentstehung

Im Jahr 1975 wurde von Davis und Hartmann die **Kollisionshypothese** aufgestellt. In die noch junge Erde hat vor etwa 4,52 Milliarden Jahren ein großes Objekt eingeschlagen, dessen Größe und Masse mit der des Planeten Mars vergleichbar war. Dabei wurde Material aus der Erdkruste herausgeschlagen, welches sich mit dem Material des Impaktkörpers vermengte und den Mond bildete. Diese Hypothese kann viele Eigenschaften des Systems Erde – Mond erklären. Der metallhaltige Kern des Impaktkörpers ist im Erdkern stecken geblieben und hat nicht zum Mondmaterial beigetragen. Aus diesem Grund befinden sich im Mondkern kaum Metalle. Der Mond hat sich aus den silikatischen Anteilen des Erdmantels und des Impaktkörpers gebildet. Sowohl die Gemeinsamkeiten als auch die Unterschiede in den Zusammensetzungen des Erdmantels und des Mondes finden in dieser Hypothese ihre Erklärung. So weisen die Sauerstoffisotope im Erdgestein ein ähnliches Mengenverhältnis wie im Mondgestein auf, während sich das Verhältnis von Eisen zu Magnesiumoxid unterscheidet. Der Mond besteht zwar auch aus dem herausgeschlagenen Material des Erdmantels, jedoch größtenteils aus dem Material des Impaktkörpers.

3 Der Aufbau des Mondes

Der Mond besteht aus einer Kruste, einem Mantel und einem Kern. Er dürfte ein vollständig erstarrter Körper sein. Ob es noch partiell geschmolzene Bereiche gibt, ist nicht sicher. Die auffälligsten Strukturen auf der Mondoberfläche sind die Krater, die mit Kratern durchsetzten Hochländer und die mit Flutbasalten gefüllten Maria (lateinisch für Meere). Bei Letzteren handelt es sich natürlich nicht um Meere, da auf dem Mond kein Wasser in flüssiger Form existieren kann.

3.1 Die Kruste, der Mantel und der Kern des Mondes

Die **Kruste** hat auf der Vorderseite des Mondes eine Dicke von etwa 60 km und auf der Rückseite eine von etwa 100 km. Bestandteile der Mondkruste sind fast ausschließlich reine Feldspatgesteine (Anorthosit und anorthositische Gabbros). Bis in eine Tiefe von 25 km ist die Kruste aufgrund von Impakten stark zerklüftet. Weiter tiefer werden die Klüfte und Risse durch den Gesteinsdruck wieder geschlossen, was eine Ursache für die sogenannten Flachbeben auf dem Mond ist.

Der **Mondmantel** gliedert sich wiederum in einen oberen, mittleren und unteren Mantel. Der obere Mantel reicht bis in eine Tiefe von etwa 480 – 500 km und besteht aus olivin- und pyroxenreichen basaltischen Tiefengesteinen. Der mittlere Mantel reicht bis in eine Tiefe von etwa 1.000 km, während der untere bis in eine Tiefe von 1.300 km reicht. Der untere Mantel ist wahrscheinlich partiell geschmolzen, doch steht eine Verifizierung noch aus. Die Mantelgrenzen ergeben sich aus der Erforschung der Mondbebenwellen. An deren Grenzen kommt es zu Diskontinuitäten der verschiedenen Mondbebenwellen. Sie sind zwar nicht gut ausgeprägt, können jedoch gemessen werden. Aus dem Trägheitsmoment des Mondes folgt, dass die Dichteverteilung im Mondmantel gleichförmig ist.

Der **Kern** des Mondes hat einen Durchmesser von rund 500 bis 900 km. Aus seismischen Messwerten kann er zwar nicht eindeutig belegt werden, doch ist seine Existenz nach Messungen der Mondsonde Lunar Prospector sehr wahrscheinlich. Sollte er existieren, könnte sein innerer Bereich im geschmolzenen Zustand vorliegen. Der Mondkern könnte auch eisenhaltig sein. Doch im Vergleich zur Erde ist der Mond sehr arm an Eisen. Eine Theorie zur Entstehung des Mondes muss diesen Sachverhalt erklären können. Die oben beschriebene Kollisionshypothese liefert eine mögliche Erklärung.

3.2 Seismische und tektonische Mondaktivitäten

Da der Mond im Wesentlichen bis zum unteren Mantel erstarrt sein dürfte, zeigt er nur wenig seismische und fast keine tektonischen Aktivitäten mehr.

Dennoch kommt es zu Mondbeben, die nach Flach- und Tiefbeben, Impaktbeben und thermischen Beben unterschieden werden. Das Epizentrum der Flachbeben fällt mit dem Übergangsbereich von der Kruste zum Mantel, in einem Tiefenbereich von etwa 50 bis 300 km, zusammen. Sie erreichen Stärken von bis zu 5 auf der Richterskala und sind oftmals stärker als Tiefbeben. Eine mögliche Ursache für diese Flachbeben ist das oben beschriebene Schließen von Klüften und Rissen in der unteren Mondkruste aufgrund des Gesteinsdruckes. Grundsätzlich dürften Flachbeben tektonische Ursachen aufgrund von Gravitationsanomalien haben, also Gebiete mit höherer Massenkonzentration und Schwerkraft. So treten diese Beben vor allem in entsprechenden Gebieten auf, welche sich hauptsächlich in den Maria befinden. Tiefbeben treten vor allem dann auf, wenn sich der Mond in Erdnähe befindet. Hier dürfte die Gezeitenwirkung der Erde im weitgehend erstarrten Mond Spannungen auslösen, welche sich als Tiefbeben entladen. Impaktbeben treten bei einem Einschlag von Meteoriten auf den Mond auf. Sie werden zu Forschungszwecken auch künstlich durch den kontrollierten Einschlag von nicht mehr benötigtem Raumfahrtmaterial erzeugt. Thermische Beben kommen aufgrund der großen Temperaturdifferenz zwischen der Tagseite und der Nachtseite des Mondes zustande. Ein Mondtag und eine Mondnacht dauern jeweils etwa zwei Wochen. An einem Mondtag beträgt die Temperatur zirka +120 °C, während sie in einer Mondnacht auf -173 °C absinkt. Aufgrund einer fehlenden Atmosphäre kommt es auch zu keinem Temperatenausgleich. Die Erwärmung des kalten Mondgesteins während eines Mondtages führt zu einer Ausdehnung dieses Gesteins, was zu Spannungen führt, die sich in Form von Beben entladen.

Der Mond verfügt über kein vollständig ausgebildetes Magnetfeld, jedoch haben sich lokal Reste eines Magnetfeldes gehalten. Voraussetzung für ein magnetisches Dipol-Feld wie auf der Erde wäre ein flüssiger Kern. Im flüssigen Erdkern gibt es geladene Teilchen, die durch ihren Fluss einen elektrischen Strom darstellen, welcher wiederum ein Magnetfeld induziert. Es wird in diesem Fall von einem Dynamo-Effekt gesprochen. In der Vergangenheit dürfte der Kern des Mondes flüssig gewesen sein und der Mond über ein Magnetfeld verfügt haben, welches heute nur noch lokal in Resten messbar vorhanden ist. Mit dem Erstarren des Mondkerns war der Dynamo-Effekt beendet und es konnte kein magnetisches Dipol-Feld mehr aufrechterhalten werden.

3.3 Restentgasungen aus der Mondkruste, die Exosphäre des Mondes und Wassereis

In der Mondkruste dürften noch Gase eingeschlossen sein, da noch immer eine geringe Restentgasung stattfindet. Dieses Phänomen wird als „Transient Lunar Phenomena“ („TLP“) bezeichnet. So beobachtete der sowjetische Astronom Nikolai Alexandrowitsch Kozyrew (1908 – 1983) bereits im Jahr 1958 eine Gas- und Staubwolke im Mondkrater Alphonsus. Seitdem wurde eine Vielzahl derartiger Phänomene bzw. TLP's beobachtet. Ebenso wie die Tiefbeben scheinen sie mit der Gezeitenwirkung der Erde auf den Mond korreliert zu sein. TLP's zeigen sich gehäuft, wenn der Mond in Erdnähe steht.

Aufgrund seiner geringen Gravitationskraft beträgt auf seiner Oberfläche die Entweichgeschwindigkeit nur 2,38 km/s und die Schwerebeschleunigung nur 1,62 m/s². Die entsprechenden Werte für die Erde sind 11,2 km/s und 9,81 m/s². Das reicht nicht aus, um eine nennenswerte Atmosphäre zu halten. Dennoch verfügt der Mond über eine sehr dünne Exosphäre, welche etwa zu gleichen Teilen aus Wasserstoff, Helium, Neon und Argon besteht. Diese Teilchen stammen vom sogenannten Sonnenwind und werden immer wieder nachgeliefert. Ein kleiner Teil stammt auch von den oben beschriebenen Entgasungen. So wird insbesondere Ar⁴⁰ durch den radioaktiven Zerfall von K⁴⁰ im Mondinneren erzeugt und entgast anschließend.

Aufgrund des Fehlens einer nennenswerten Atmosphäre dürfte es auf dem Mond kein flüssiges Wasser geben. Jedoch konnte an den Polen des Mondes, welche dauerhaft vorm Sonnenlicht geschützt sind, Wassereis nachgewiesen werden. Für den Nordpol gilt die Entdeckung als relativ sicher. Das dortige Eisvolumen wird auf 10.000 bis 50.000 km³ geschätzt. Hingegen ist die Existenz von Wassereis am Südpol des Mondes noch ungesichert. Es könnte dort ein Eisvolumen von 5.000 bis 20.000 km³ geben. Als mögliche Quellen für das Wassereis gelten Einschläge von Kometen.

4 Die Oberfläche des Mondes

Die auffälligsten Strukturen auf der Mondoberfläche sind die Krater, die mit Kratern durchsetzten Terrae (lateinisch für Hochländer) und die mit Flutbasalten gefüllten Maria (lateinisch für Meere). Bei Letzteren handelt es sich natürlich nicht um Meere, da auf dem Mond kein Wasser in flüssiger Form existieren kann. Aufgrund des Fehlens einer Atmosphäre, von flüssigem Wasser und einer Plattentektonik gibt es im Prinzip keine Veränderungen der Mondoberfläche, außer durch Impakte und durch die Einwirkung von Strahlung. Die Mondoberfläche hat sich seit dem Abebben der Impakte vor 3,8 Milliarden Jahren nicht wesentlich verändert. Rund 99 Prozent der Mondoberflächenstrukturen sind älter als 3 Milliarden Jahre, rund 80 Prozent sogar älter als 4 Milliarden Jahre. Die Oberfläche des Mondes ist mit einer Schicht aus Regolith bedeckt, die zwischen mehreren Dezimetern und mehreren Metern dick sein kann. Hierbei handelt es sich um zertrümmertes Mondgestein, welches bei Impakten entsteht.



Bild 2: Der Mond mit seinen verschiedenen Oberflächenformationen / Foto: Ralf Schmidt

4.1 Die Mondkrater

Die **Krater** auf dem Mond sind aufgrund von Einschlägen (Impakte) auf den Mond entstanden. In wenigen Fällen wird auch ein vulkanischer Ursprung aus der Anfangszeit des Mondes vermutet, doch ist dies nicht gesichert.

In der Anfangszeit des Sonnensystems war noch viel Material von der protoplanetaren Gas- und Staubscheibe übrig, welches nicht für die Entstehung der großen Planeten verbraucht wurde. Es bildeten sich viele kleinere Brocken, die durchs Sonnensystem streiften. Besonders das innere Sonnensystem war davon betroffen. In Folge gab es eine hohe Häufigkeit von Impakten auf die Planeten und Monde (Trabanten) im Sonnensystem. Auch das System Erde-Mond war davon betroffen. Nach der in der Wissenschaft favorisierten Kollisionshypothese entstand der Mond, wie bereits im Kapitel „Die Entstehung des Mondes“ beschrieben, durch die Kollision der Erde mit einem Himmelskörper von etwa der Größe und Masse des Mars. Auch nach der Mondentstehung waren Impakte auf der Erde und dem Mond noch sehr häufig. Erst vor zirka 3,8 Milliarden Jahren nahm die Häufigkeit der Impakte dann signifikant ab.

Während auf der Erde die Krater aufgrund von Plattentektonik, Erosion und Verwitterung weitgehend verschwanden, blieben sie auf dem Mond bis heute erhalten. Die Mondkrater kommen in allen Größenordnungen im Bereich von 10 bis 100 km vor. Die größten von ihnen werden als Wallebenen bezeichnet, wenn ihr Durchmesser mehr als 100 km beträgt und sie keinen Zentralberg besitzen. Krater können auch einen deutlich sichtbaren Zentralberg haben, während die Innenseiten der Kraterwälle terrassenförmig abgestuft sind. Im Falle dieser komplexeren Krater wird von Ringgebirgen gesprochen. Diese Ringgebirge können Durchmesser von mehr als 60 km erreichen, wobei die Kraterwälle Höhen von etwa 7 km erreichen können. Die Strukturen der Krater korrelieren auch mit ihrem Alter aufgrund der Einwirkungen von weiteren Impakten.

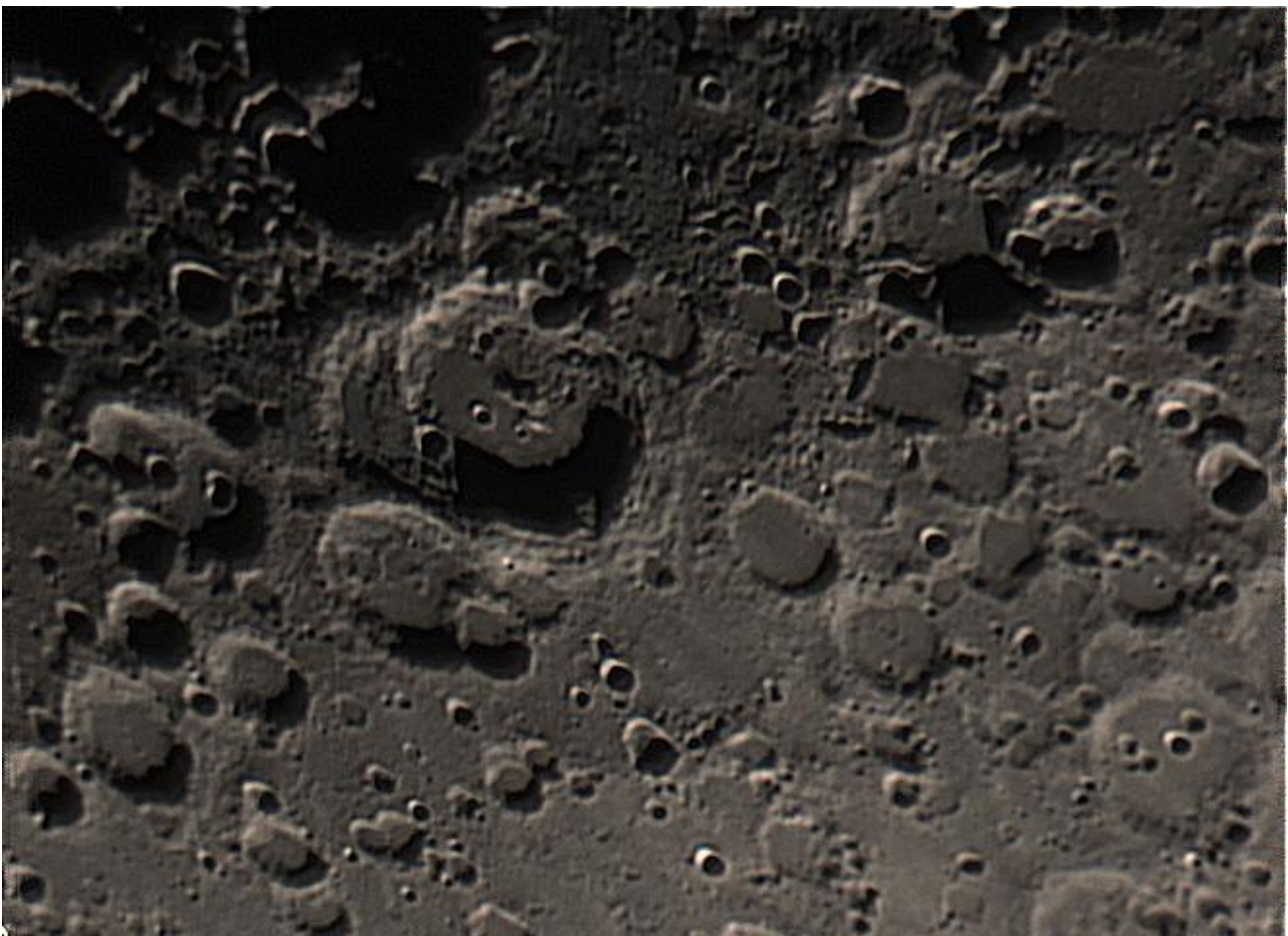


Bild 3: Krater auf dem Mond / Foto: Ralf Schmidt

Die ältesten Krater, mit einem Alter von 4,2 – 4,3 Milliarden Jahren, weisen eine starke Erosion auf Grund von Impakten auf. Ihre Ringgebirge sind teilweise stark zerfallen und nur schwer erkennbar. Die Kraterwälle sehen abgeschliffen und verfallen aus, wobei die typischen Felsformationen fehlen.

Bei Kratern mit einem mittleren Alter von 4,0 – 4,1 Milliarden Jahren ist die Erosion weit weniger fortgeschritten, so dass deren Strukturen weitgehend erhalten geblieben sind. Die Kraterwälle zeigen mehr Details, etwa die typisch terrassenförmige Struktur. In der Kratermitte ist ein Zentralberg zu erkennen.

Junge Krater, mit einem Alter von 3,5 – 4,0 Milliarden Jahren, zeichnen sich durch scharfe Kanten, besonders am Kraterrand oder in der direkten Umgebung des Kraters, aus. Ihre Ringgebirge zeigen oft Strukturen mit spitzen Kanten und engen Tälern.

Krater, welche jünger als 3,5 Milliarden Jahre sind, zeigen als typische Struktur einen Strahlenkranz. Die überwiegende Anzahl der Krater sind jedoch Kleinkrater, welche keinen Zentralberg und keine sich über die Mondoberfläche erhebenden Kraterwälle haben.



Bild 4: Krater auf dem Mond / Foto: Ralf Schmidt

4.2 Die Terrae (Hochländer) des Mondes

Die **Terrae (Hochländer)** des Mondes bilden den Gegensatz zu den Maria. Während die Maria früher für Meere gehalten wurden, galten die Hochländer als die Kontinente. Diese Definitionen erwiesen sich als falsch, doch haben sich die ursprünglichen Bezeichnungen gehalten.

Terrae weisen deutlich mehr Krater als die Maria auf und sind mit einer bis zu 15 Meter dicken Schicht aus Regolith bedeckt. Die Hochländer dürften zu den ältesten Mondformationen gehören, was aus der höheren Anzahl der Krater abgeleitet werden kann. Aufgrund der Untersuchung von Proben wird das Alter der Hochländer auf etwa 4,456 Milliarden Jahren datiert. Damit entstanden die Terrae in etwa zeitgleich mit der Mondkruste.

In den Hochländern gibt es Täler (Vallis) und Gebirge. Bei den Vallis handelt es sich um schmale Einsenkungen in den Terrae, die eine Länge von einigen 100 km erreichen können. Ihre Breite beträgt in der Regel wenige Kilometer und ihre Tiefe einige 100 m.

Die Gebirge erreichen Höhen von etwa 10 km und können im Gegensatz zu den Gebirgen auf der Erde noch höher ausfallen. Der Grund ist die geringe Schwerkraft des Mondes. Der Druck auf die Mondkruste an der Gebirgsbasis ist auf dem Mond geringer als auf der Erde. Wird der Druck zu stark, sinkt das Gebirge ein und kann nicht mehr in die Höhe wachsen. Auf der Erde beträgt daher die maximal mögliche Höhe für ein Gebirge etwa 10 km, während auf dem Mond Höhen von bis zu 60 km möglich wären.

Entstanden sind die Mondgebirge möglicherweise bei der Abkühlung des Mondes, als der Mond dabei schrumpfte und sich dadurch Faltengebirge aufwölbten. Es könnte sich einer anderen Hypothese zufolge auch um die Überreste von Kraterwällen handeln. Die Gebirge auf dem Mond wurden nach irdischen Gebirgen benannt.

4.3 Die Maria (Meere) des Mondes

Maria (Singular: Mare) bzw. Mare-Gebiete stellen sehr große Einschlagbecken aus der Anfangszeit des Mondes dar, welche in eine Phase von aktivem Vulkanismus auf dem Mond fielen. Aus dem Inneren des Mondes hervorbrechende Lavaströme füllten diese Becken dann. In einigen Fällen ragen Bergspitzen aus den Maria aus. Hier sei als Beispiel der Mons Piton im Mare Imbrium (Meer des Regens bzw. Regenmeer) genannt. Zum Teil wurden durch die hervorbrechenden Lavaströme auch Krater ganz oder teilweise überflutet.

Eine typische Erscheinung für Maria sind die besonders bei niedrigem Sonnenstand gut sichtbaren Höhenrücken. Sie sind mit einer Höhe von etwa 100 m relativ flach, können jedoch mehrere 100 km lang werden. Entstanden sind sie beim Erstarren der Lava, welche dabei seitlichen Drücken ausgesetzt war.

Die ringförmigen Maria sind von sehr flach ansteigenden, jedoch zum Teil sehr hohen Gebirgsketten umgeben. Hier handelt es sich um Impaktbecken, mit Durchmessern von mehr als 1.000 km, welche später von Lava gefüllt wurden und so Mare-Gebiete bildeten. Das tiefste Impaktbecken liegt in der Nähe des Mond Südpols und liegt etwa 8,2 km tief unter der Referenzhöhe, der Normal-Null-Linie auf dem Mond.

Insgesamt befinden sich die Maria hauptsächlich auf der Vorderseite des Mondes, während es auf der Mondrückseite kaum Maria gibt. So liegt der Anteil der Maria auf der Mondvorderseite bei 31 Prozent, während er auf der Mondrückseite bei nur 2,6 Prozent liegt. Dies dürfte wahrscheinlich daran liegen, dass die Mondkruste dort etwa 40 km dicker als auf der Mondvorderseite ist. Der Anteil der Maria an der gesamten Oberfläche des Mondes liegt bei 16,9 Prozent.

Heute gibt es keinen aktiven Vulkanismus mehr auf dem Mond. Es gibt auch Einschlagbecken, welche nicht mit Lava gefüllt worden sind. Sie befinden sich verstärkt auf der Rückseite des Mondes. In diesem Fall wird einfach von Becken gesprochen.



Bild 5: Die Maria des Mondes bei Vollmond aufgenommen / Foto Ralf Schmidt

4.4 Rillen auf dem Mond

Eine weitere Erscheinung auf der Mondoberfläche sind die sogenannten Rillen, welche entweder aufgrund von Lavaströmen oder Spannungsrissen entstanden. Die Mondlava arbeitete sich ähnlich wie das Wasser in den irdischen Flüssen erosiv in den Untergrund ein und erzeugte natürliche Kanäle. Die sich schneller abkühlende Oberfläche erstarrte dabei, so dass eine Lavaröhre entstand. In ähnlicher Form kann dieser Vorgang auch beim irdischen Vulkanismus beobachtet werden, doch ist er auf dem Mond stärker ausgeprägt.

Nach der Entleerung der Röhren brachen diese irgendwann ein und erzeugten dabei die Rillen. Spannungsrillen entstanden beim Erstarren der Flutbasalte. In diesen Fällen war das Mondgestein den Spannungen nicht mehr gewachsen und zerbrach. Dabei entstanden diese Rillen, welche bis tief in die Mondkruste hereinreichen können. Da sie jedoch fast vollständig mit Regolith gefüllt sind, lassen sie sich nur schwer an der Mondoberfläche ausmachen.



Bild 6: Verschiedene Mondformationen (Krater, Maria und Gebirge) / Foto: Ralf Schmidt

5 Die Bahnbewegung des Mondes

Auf den ersten Blick scheint der Mond die Erde zu umkreisen. Das ist streng genommen nicht richtig, da die Masse des Mondes nicht mehr gegenüber der der Erde vernachlässigbar ist. Erde und Mond bewegen sich um einen gemeinsamen Schwerpunkt, der sich zwar noch innerhalb des Erdradius befindet, jedoch in 4.700 km Entfernung vom Erdmittelpunkt und damit 1.671 km innerhalb des Erdradius von 6.371 km.

Bezogen auf den Erdmittelpunkt bewegt sich der Mond in einem Entfernungsbereich von 363.300 km bis 405.500 km um die Erde. Der erdnächste Punkt der Mondbahn wird Perigäum (griechisch: peri geos = nahe der Erde) und das erdfernste Apogäum (griechisch apo geos = fern der Erde). Die Verbindungslinie zwischen beiden Punkten wird Absidenlinie genannt. Die mittlere Entfernung des Mondes beträgt 384.400 km. Für diese Strecke benötigt das Licht etwa 1,28 s.

Der Mond beschreibt eine Ellipsenbahn, welche bezogen auf die Erdbahnebene (Ekliptik) um $5,145^\circ$ geneigt ist und eine Exzentrizität von 0,0549 hat. Der scheinbare mittlere Durchmesser des Mondes an der Himmelskugel beträgt etwa $0,5^\circ$. Im Perigäum ist dieser um 5,5 Prozent größer, im Apogäum um 5,5 Prozent kleiner. Der scheinbare Sonnendurchmesser beträgt ebenfalls $0,5^\circ$, so dass Mond und Sonne etwa gleich groß an der Himmelskugel erscheinen.

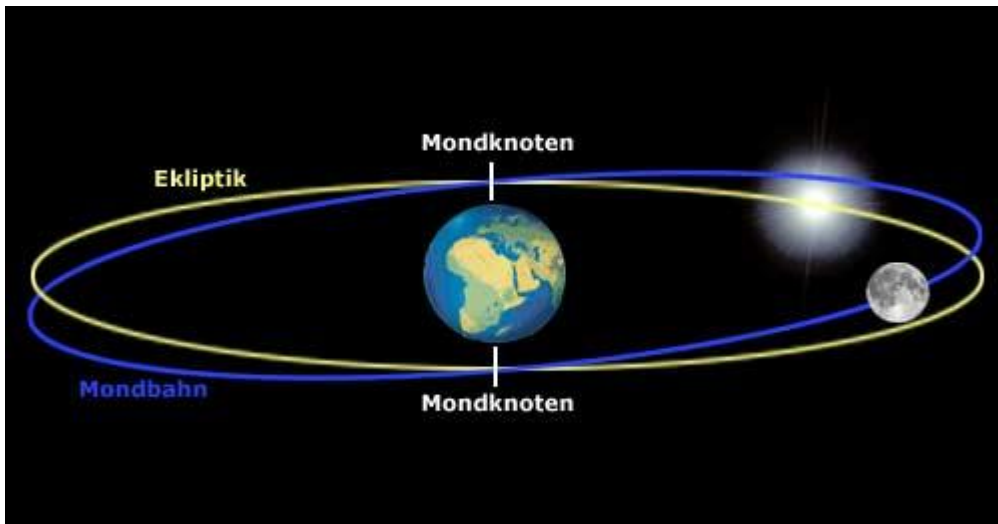


Bild 7: Die Bahn des Mondes um die Erde / Quelle: Bayerische Rundfunk (BR)

5.1 Siderischer und synodischer Monat sowie Mondphasen

Es gibt verschiedene Definitionen für einen Mondumlauf. Die grundlegende Monatslänge wird auf die Sterne bezogen und nennt sich siderischer Monat. Dieser Monat ist die Zeitspanne zwischen zwei Durchgängen des Mondes durch denselben Stundenkreis (Längengrad) eines bestimmten Fixsterns. Der Begriff „siderisch“ leitet sich vom lateinischen sidus, -eris ab, was übersetzt Gestirn bedeutet. In diesem Fall hat der Mond einen 360°-Umlauf auf seiner Bahnellipse vollzogen.

Die Dauer des siderischen Monats beträgt 27,32 Tage. Der synodische Monat ist die Zeitspanne zwischen zwei gleichartigen Mondphasen, etwa zwischen zwei Vollmonden und beträgt 29,53 Tage. Nach einem Bahnumlauf des Mondes ist auch die Erde auf ihrer Bahn weitergewandert, so dass der Mond noch etwa zwei Tage weiter wandern muss, bis die gleichen Winkelpositionen zwischen Erde, Mond und Sonne wieder erreicht sind. Die Mondphasen kommen durch die Stellung von Erde, Mond und Sonne zueinander zustande. Bei Halbmond stehen die drei Himmelsobjekte in einem Winkel von 90° zueinander.



Bild 8: Halbmond / Foto: Ralf Schmidt

Bei Vollmond steht der Mond in Opposition zur Sonne (180° voneinander an der Himmelskugel entfernt) bzw. die Erde steht zwischen Sonne und Mond. Wenn Sonne und Mond in Konjunktion zueinanderstehen (0°), also zusammen am gleichen Himmelsort, ist Neumond. Alle anderen Phasen des Mondes ergeben sich aus den Stellungen dazwischen.

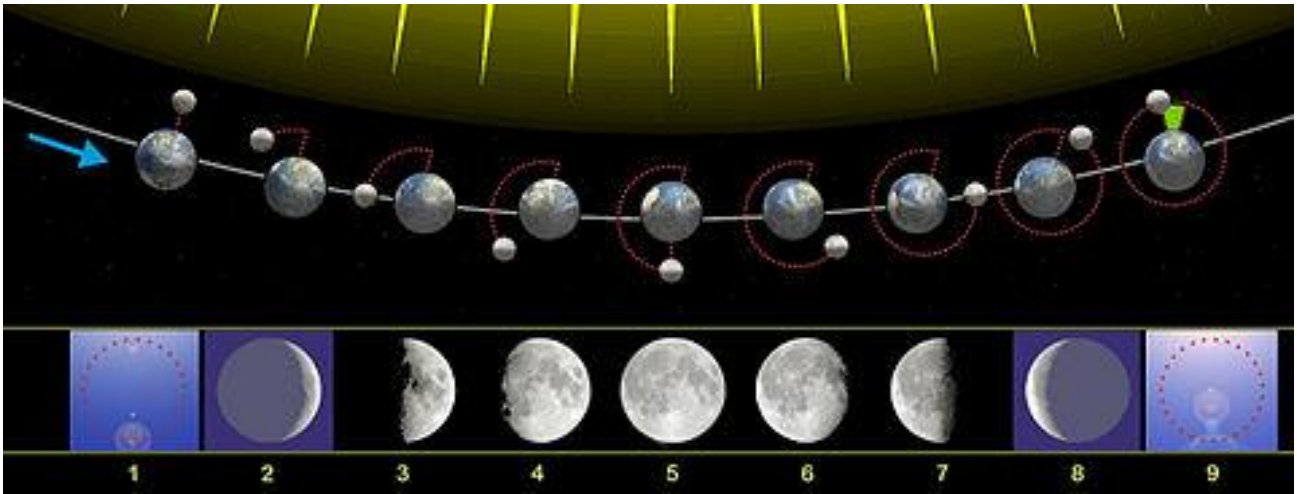


Bild 9: Die Entstehung der Mondphasen / Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Mond>

5.2 Mond- und Sonnenfinsternisse

Aufgrund der Neigung der Mondbahn gegenüber der Erdbahnebene um $5,1^\circ$ wandert der (Neu-)Mond in der Regel unterhalb oder oberhalb an der Sonne vorbei. Befindet sich der Mond jedoch im Bereich seiner Bahnknoten, der Schnittebene der Mond- und Erdbahnebene, kommt es zu einer Bedeckung der Sonne durch den Mond. Am Himmel betragen die scheinbaren Größen von Mond und Sonne etwa $0,5^\circ$, so dass sie etwa gleichgroß sind. Je nach Entfernung des Mondes von der Erde zum Zeitpunkt einer Finsternis erfolgt eine vollständige Bedeckung (totale Sonnenfinsternis) oder die scheinbare Mondscheibe ist etwas kleiner als die scheinbare Sonnenscheibe, womit es dann zu einer ringförmigen Sonnenfinsternis kommt. Von einer partiellen Sonnenfinsternis oder auch Mondfinsternis wird gesprochen, wenn von einem bestimmten Ort der Erde die Himmelskörper nur teilweise bedeckt bzw. verfinstert sind und die Totalitätsphase von dort aus nicht beobachtet werden kann.

Die Mondfinsternis kommt ebenfalls nur zustande, wenn sich der Vollmond im Bereich seiner Bahnknoten aufhält. In diesem Fall wandert der Mond durch den Erdschatten und wird verfinstert. Wenn Neumond ist, dann ist vom Mond aus gesehen die Erde voll beleuchtet. Die Mondbahn schneidet zweimal die Ekliptik. Einmal in Richtung Süd nach Nord, dann wird vom aufsteigenden Knoten gesprochen. Im anderen Fall in Richtung Nord nach Süd, wo dann vom absteigenden Knoten gesprochen wird. Die Verbindungslinie zwischen beiden Knoten wird Knotenlinie genannt.

Die Mondbahn wird von den anderen Objekten des Sonnensystems beeinflusst und führt daher eine Präzessionsbewegung aus. In Folge dessen dreht sich die Knotenlinie entgegengesetzt der Umlaufrichtung des Mondes einmal in 18,61 Jahren um 360° . Pro Jahr macht diese Rückwärtsbewegung der Knotenlinien etwa 20° aus. Die Zeitspanne zwischen zwei Durchgängen des Mondes durch den aufsteigenden Knoten heißt drakonischer Monat und beträgt 27,21 Tage. Zwischen dem synodischen und drakonischen Monat besteht ein Zusammenhang. Ein ganzzahliges Vielfaches des synodischen Monats ist gleich einem ganzzahligen Vielfachen des drakonischen Monats. So entsprechen 223 synodische Monate fast genau 242 drakonischen Monaten.

Im Ergebnis wiederholen sich die Abfolgen von Mond- und Sonnenfinsternissen nach 18,03 Jahren. Diese Zeitspanne wird Saros-Periode oder Saros-Zyklus genannt.

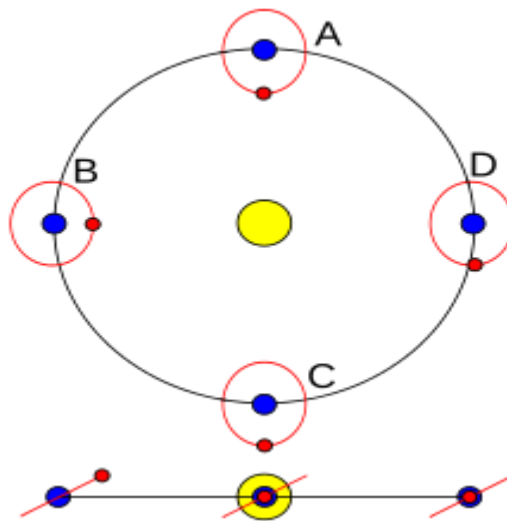


Bild 10: Sonnen- und Mondfinsternisse sind nur möglich, wenn sich der Mond (rot) in der Nähe eines Knotendurchgangs befindet (A und C). / Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Mondbahn>

5.3 Bahnstörungen auf der Bewegung des Mondes und der Mondrotation

Bahnstörungen sind Abweichungen der tatsächlichen Mondbahn von einer reinen Ellipsenbahn, wie sie sich aus den Keplerschen Gesetzen ergibt. Ausgelöst werden die Bahnstörungen vor allem durch die Sonne. Zwar üben auch die anderen Planeten des Sonnensystems Einfluss auf die Bewegung des Mondes aus, doch kann dieser gegenüber dem Sonneneinfluss vernachlässigt werden. Aus diesem Grund steht die Mondbahn nicht starr im Raum, sondern führt verschiedene Bewegungen aus. So taumelt die Mondbahn im Raum und dreht sich um sich selbst. Bereits beschrieben wurde die rückläufige Drehung der Knotenlinie, welche in einem Zeitraum von 18,61 Jahren 360° zurücklegt. Die Verbindungslinie zwischen Perigäum und Apogäum wird Absidenlinie genannt. Diese dreht sich rechtläufig einmal in 8,85 Jahren um 360° . Daraus ergibt sich, dass die Zeitspanne zwischen zwei Durchgängen des Mondes durch den Perigäum 27,55 Tage dauert. Dieser Zeitraum wird anomalistischer Monat genannt. Der tropische Monat beschreibt den Zeitraum zwischen zwei Durchgängen des Mondes durch den Frühlingspunkt. Dieser entspricht zwar fast dem siderischen Monat, ist jedoch um sieben Sekunden kürzer. Aufgrund der Präzessionsbewegung der Erdachse wandert der Frühlingspunkt einmal in 25.750 Jahren durch den Tierkreis. Diese Bewegung überlagert sich mit der Bahnbewegung des Mondes, so dass zwischen dem siderischen und dem tropischen Monat eine Differenz von sieben Sekunden auftritt.

Die Umlaufzeit des Mondes um die Erde und die Mondrotation stimmen betragsmäßig weitgehend überein. Der Mond umläuft die Erde und rotiert um sich selbst in rund 27,32 Tagen. In diesem Fall wird von einer gebundenen Rotation des Mondes gesprochen. Aus diesem Grunde kann von der Erde aus gesehen, abgesehen von leichten Schwankungen, immer nur dieselbe Hälfte der Mondoberfläche gesehen werden. Die gebundene Rotation ist eine Folge der Gezeitenwirkung von der Erde aus auf dem Mond. In seiner Anfangszeit rotierte der Mond schneller, war auch näher an der Erde dran und aufgrund seiner noch nicht erfolgten Abkühlung noch zähflüssig. Aufgrund der Erdgezeitenwirkung bildeten sich zwei Flutberge aus zähflüssigem Mondmaterial. Der Mond rotierte und versuchte die Flutberge mitzudrehen. Diese blieben jedoch auf die Erde ausgerichtet und der Mond drehte sich unter ihnen weg. Aufgrund der Materialreibung wirkten die Flutberge wie Bremsklötze und verlangsamten die Rotation des Mondes. Die Bremswirkung hörte auf, als auch der Mond selbst der Erde immer dieselbe Seite zuwendete.

5.4 Die Libration des Mondes

Aufgrund der gebundenen Rotation des Mondes kann von der Erde aus grundsätzlich nur eine Hälfte der Mondoberfläche beobachtet werden. Aufgrund der sogenannten Libration des Mondes können insgesamt 59 Prozent der Mondoberfläche von der Erde aus gesehen werden. Der Mond bewegt sich auf einer Ellipsenbahn um die Erde. Entsprechend verschieden sind auch seine Bahngeschwindigkeiten. Im Perigäum ist sie am größten, im Apogäum am geringsten. Die mittlere Bahngeschwindigkeit des Mondes beträgt 1.023 km/s. Verglichen mit einer fiktiven, gleichförmigen Bewegung des Mondes auf seiner Bahn kommt es zu Abweichungen von $\pm 6,3^\circ$. Aufgrund von Bahnstörungen kommt es sogar zu Abweichungen von $\pm 7,9^\circ$ gegenüber einer fiktiven gleichförmigen Bahnbewegung des Mondes. Die Rotation des Mondes bleibt jedoch konstant, so dass der Mondkörper von der Erde aus betrachtet in der gleichen Größenordnung wie die oben genannten Abweichungen einmal nach West oder Ost gedreht erscheint. Wir sehen daher etwas mehr in westlicher oder östlicher Richtung von der Mondoberfläche. In diesem Fall wird auch von Libration West und Libration Ost gesprochen. Der Mond bewegt sich aufgrund seiner Neigung zur Ekliptik einmal nördlich und einmal südlich von dieser. Steht der Mond nördlich der Ekliptik, kann mehr von seiner Südhalbkugel beobachtet werden. Steht er südlich der Ekliptik kann entsprechend mehr von seiner Nordhalbkugel gesehen werden. Die Libration in der Breite bzw. Libration Nord oder Libration Süd erreicht Werte von bis zu $\pm 6,7^\circ$. Des Weiteren tritt noch eine parallaktische bzw. tägliche Libration von bis zu $\pm 1^\circ 02'$ auf. Von verschiedenen Beobachtungspunkten auf der Erde kann zur gleichen Zeit aufgrund der verschiedenen Blickwinkel etwas mehr vom rechten oder linken Mondrand gesehen werden.

6 Lunar-terrestrische Beziehungen

Der Mond hat verschiedene Einflüsse auf die Erde. In diesen Fällen wird von lunar-terrestrischen Beziehungen gesprochen. Der größte Einfluss kommt aufgrund der Mondgravitation zu Stande. So werden die Gezeiten auf der Erde durch den Mond verursacht. Dabei stabilisiert der Mond auch die Erdachse, die eine Neigung von 23° gegenüber der Ekliptik aufweist. Ohne die stabilisierende Wirkung des Mondes würde die Erdachse zwischen 15° und 30° schwanken. In Folge hätten sich keine zeitlich stabilen Klimazonen auf der Erde herausbilden können. Dies hätte auch negative Auswirkungen auf die Entwicklung des Lebens auf der Erde gehabt. Nach der Sonne ist der Mond das hellste astronomische Objekt am Himmel und das der Erde am nächsten gelegene. Aus diesem Grunde gehörte der Mond auch zu den ersten Zielen von Raumfahrtmissionen und zum bisher einzigen Ziel, welches von Menschen betreten wurde. Der Mond dürfte auch Einfluss auf biologische Systeme haben. Viele der dem Mond nachgesagten Einflüsse sind auch umstritten oder haben sich als falsch herausgestellt. Nachfolgend soll auf die wichtigsten Einflüsse des Mondes näher eingegangen werden.

6.1 Die Gezeiten

Die durch den Mond erzeugten Gezeiten führen zu periodischen Massenbewegungen in der Erdatmosphäre, des Erdkörpers und der Meere. In der Erdatmosphäre äußern sich die Gezeiten durch periodische Schwankungen des Luftdruckes, welche in einer Größenordnung von 0,1 hPa liegen. Im Falle des Erdkörpers bewirken die Gezeiten eine Anhebung und Senkung der Erdkruste in einem Größenbereich von etwa 50 cm innerhalb von 12 Stunden.

Am auffälligsten und bekanntesten sind jedoch die Gezeiten des Meeres (Tiden), welche sich als Ansteigen (Flut) und Absinken (Ebbe) des Meeresspiegels äußern. Es gibt zwei Flutberge und zwei Täler, welche innerhalb eines Mondtages $24^h 50^m$ (Umlaufzeit des Mondes) um die Erde laufen. Auf diese Weise ist im durchschnittlichen Abstand von $12^h 25^m$ jeweils Flut oder Ebbe. Die durch den Mond erzeugten Schwingungen der Luft- und Wassermassen sowie der Erdkruste ergeben sich aus den resultierenden Kräften aus Gravitationskraft und Zentrifugalkraft.

Auf der dem Mond zugewandten Seite der Erdoberfläche ist die durch die Gravitationskraft des Mondes ausgeübte Kraft stärker als im Erdmittelpunkt. Daraus ergibt sich ein resultierender Kräfteunterschied, der sich auf die Erdoberfläche geringfügig und auf das Meerwasser stärker auswirkt. Die Gravitation des Mondes zieht das Wasser jeweils tangential (Winkel von 90° zur Erdoberfläche) zu sich heran, wo dann jeweils die Fluttäler entstehen. Die Wassermassen sammeln sich dann in Richtung des Mondes, wo ein Flutberg entsteht. Auf der dem Mond entgegengesetzten Seite der Erde verhält es sich mit den resultierenden Kräften dann anders herum. Die Gravitationskraft des Mondes ist auf dieser Seite der Erdoberfläche geringer als im Erdmittelpunkt. Die Folge ist eine nach außen gerichtete resultierende (Zentrifugal-)Kraft, welche auch auf der dem Mond abgewandten Seite der Erde einen Flutberg entstehen lässt. Eine andere Interpretation lässt auch folgendes Bild zu. Die Erde wird stärker vom Mond angezogen als die Wassermassen, welche sich auf der dem Mond abgewandten Seite der Erde befinden. Daraus resultiert dann ein Flutberg. Allerdings sind beide Flutberge nicht gleich groß, da auch die jeweils resultierenden Kräfte (siehe Bild 10) nicht gleich groß sind. Der Flutberg auf der dem Mond zugewandten Seite der Erde ist um etwa sieben Prozent größer.

Allerdings bewirkt auch die Sonne Gezeiten auf der Erde. Da die Gezeitenwirkung allerdings mit einem Wert von $1/r^3$ mit zunehmender Entfernung (r) zwischen zwei Himmelsobjekten abnimmt, ist die durch die Sonne hervorgerufene Gezeitenbeschleunigung um die Hälfte kleiner als die des Mondes. Bei Vollmond und Neumond wirken die Gezeitenkräfte zusammen. Es entsteht dann eine im Durchschnitt höhere Flut, die sogenannte Springflut. Bei Halbmond stehen Erde, Mond und Sonne jeweils in einem Winkel von 90° zueinander, so dass sich die Kräfte gegenseitig teilweise aufheben. In diesem Fall kommt es zu einer im Durchschnitt niedrigeren Flut, der sogenannten Nippflut.

Der Einfluss des Mondes würde die Wassermassen auf der Erde im Durchschnitt nur um 0,6 Meter heben, wenn diese vollständig mit Wasser bedeckt sein würde. Tatsächlich gibt es auf der Erde auch Landflächen, die natürliche Hindernisse bilden und so zu einer wesentlich höheren Flut führen. So können an der französischen Atlantikküste Tidenhübe von 7 bis 11,5 m erreicht werden. In der Fundy Bay, an der Ostküste Kanadas, wird mit 16 m und 21 m bei einer Springflut der höchste Tidenhub erreicht. In Deutschland wird der höchste Tidenhub mit einer mittleren Höhe von 3,7 m im Jadebusen bei Wilhelmshaven erreicht und der niedrigste an der deutschen Nordseeküste mit 1,6 m am Westrand von List auf der Insel Sylt. In der Ostsee beträgt der Tidenhub nur 0,3 m. Im Ergebnis sind die Höhen der Tiden eine Wechselwirkung zwischen den bewegten Meereswassermassen und den Küstenformationen.

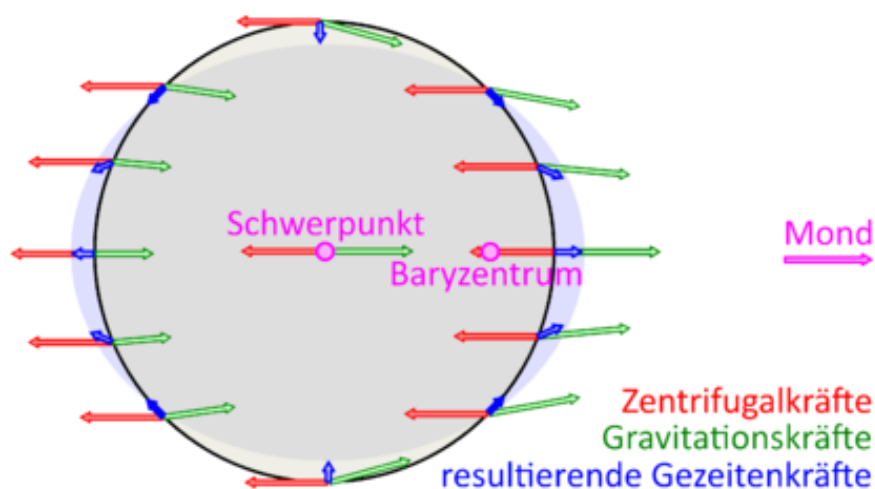


Bild 11: Die Gezeitenkräfte / Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Gezeiten>

6.2 Der Einfluss des Mondes auf biologische Systeme

Der Einfluss des Mondes auf biologische Systeme ist umstritten. Viele der dem Mond nachgesagten Einflüsse dürften wissenschaftlich nicht haltbar sein. Es gibt jedoch Einflüsse, die hier näher erläutert werden sollen.

Es gibt Korrelationen zwischen den Mondphasen sowie der Gelbempfindlichkeit des Auges, der Harnsäurekonzentration im Blut, dem Blutzuckerspiegel und von sonstigen Hormonkonzentrationen. Allerdings sind Korrelationen noch kein Beweis für einen kausalen Zusammenhang. So dürften die ähnlichen Zeitdauern für einen Mondzyklus und dem weiblichen Zyklus ebenso wenig mit miteinander zu tun haben wie die 11-jährige Umlaufperiode des Jupiters um die Sonne und der 11-jährige Aktivitätszyklus der Sonne. Dann gibt es wiederum Tierarten, welche doch in ihrem Verhalten Abhängigkeiten von den Mondphasen zeigen. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist der Palolo-Wurm. Hierbei handelt es sich um einen Meeresborstenwurm, welcher auf Korallenriffen im Südpazifik lebt. Die Vermehrung erfolgt regelmäßig sieben bis acht Tage vor Vollmond. Zu diesem Zeitpunkt kriechen sie zu Tausenden aus den Röhren der Korallen. Ein anderes Beispiel ist die Einstundenmücke *Clunio*, welche das Mondlicht als Taktgeber für ihren Fortpflanzungsrhythmus nutzt. Noch erwähnt werden soll eine Zierfischart, die Guppys, deren Netzhaut wie das menschliche Auge ebenfalls bei Vollmond eine erhöhte Gelbempfindlichkeit hat. Eine Korrelation zwischen den Mondphasen und dem Pflanzenwachstum lässt sich hingegen nicht nachweisen. In diesem Fall könnte höchstens eine Korrelation mit der Monddeklinatation (Höhenstand des Mondes) bestehen, welche sich bisher jedoch nicht ausreichend verifizieren lässt.

Wie der Mond biologische Systeme beeinflussen kann, ist Gegenstand der Forschung. Die Gravitation dürfte nur bedingt und indirekt Einfluss haben. Der Grunion ist die einzige Fischart, welche am Land laicht. Das Laichen erfolgt allerdings zu extremen Gezeiten, bei Neu- oder Vollmond und wird von diesen beeinflusst, welche wiederum von der Mond- und Sonnengravitation bewirkt werden. Ein direkter Einfluss der Mondgravitation auf biologische Systeme lässt sich hingegen nicht nachweisen. Die Gezeiten korrelieren nur bedingt mit den Mondphasen, da auch die Entfernung des Mondes eine Rolle spielt. Zwar bestehen biologische Systeme zu einem Großteil aus Wasser, doch ist deren Masse viel zu klein, um durch den Mond auch dort Gezeiten zu bewirken. Die Wirkung der Mondgravitation ist gegenüber der Erdgravitation nur minimal. Gegenüber der Erdbeschleunigung wirkt sie nur mit einem Wert von $1/300.000$. Der gleiche Effekt tritt auf, wenn ein Höhenunterschied von 10 Metern zurückgelegt wird. Das Mondlicht könnte eine Rolle spielen. Nach der Sonne ist der Mond das hellste Objekt am Himmel. Die Orientierung am Mondlicht kann bei bestimmten Lebewesen eine Rolle spielen. Doch kann auch das Mondlicht nicht alle Korrelationen, etwa die physiologischen, erklären. Bestimmte Reaktionen treten auch bei bewölktem Himmel oder bei Unkenntnis über die Mondphasen auf. Selbst psychisch induzierte physische Reaktionen dürften als Erklärung nicht ausreichen.

Der Mond beeinflusst wahrscheinlich auch das geomagnetische Feld und die Lufterlektrizität. Die genauen Zusammenhänge sind jedoch noch Gegenstand der Forschung. Das Erdmagnetfeld bildet auf der sonnenabgewandten Seite der Erde aufgrund des Sonnenwindes einen Schweif, welcher etwa 100 Erdradien hinausreicht. Der Vollmond mit einer durchschnittlichen Entfernung von 60 Erdradien bewegt sich durch diesen Schweif. Unklar ist jedoch, ob und wie dies zu Schwankungen des Erdmagnetfeldes führen kann. Allerdings könnten Magnetfeldschwankungen wiederum Einfluss auf die Enzyme in biologischen Systemen haben. Enzyme sind komplexe Eiweißmoleküle, welche als Katalysatoren chemische Reaktionen in biologischen Systemen steuern. Die Magnetfeldschwankungen könnten unter anderem auch von der Deklination des Mondes abhängen, so dass Korrelationen zwischen der Monddeklinatation und biologischen Systemen durchaus denkbar sind. Mögliche Wechselwirkungen zwischen dem Mond, dem Magnetfeld der Erde und biologischen Systemen sind noch strittig und nicht ausreichend verifiziert. So wird das Erdmagnetfeld durch die Sonne wesentlich stärker beeinflusst als durch den Mond.

Zusammenfassend kann gesagt werden: In bestimmten Fällen gibt es eine nachweisbare Korrelation zwischen der Stellung des Mondes und von biologischen Systemen. Allerdings ist auf diesem Gebiet die Forschung noch nicht abgeschlossen. Manche Korrelationen lassen sich nicht verifizieren. Einige Forschungsergebnisse sind auch widersprüchlich. Viele der dem Mond nachgesagten Einflüsse lassen sich nicht verifizieren oder stellen sich als falsch heraus.

7 Raumfahrtmissionen zum Mond

Aufgrund seiner relativen Nähe zur Erde war und ist der Mond ein Ziel von unbemannten und bemannten Raumfahrtmissionen. Dieser Artikel gibt einen Überblick über die Raumfahrtmissionen zum Mond von 1959 bis 2026 und auch etwas darüber hinaus.

Nachfolgend werden zunächst Auszüge aus dem Luna-Programm wiedergegeben, wobei deren Vorläufersonden in deutschsprachigen Medien als Lunik-Sonden bezeichnet wurden. Die sowjetischen Originalbezeichnungen werden in Klammern angegeben. Als erste Raumsonde flog die sowjetische Sonde Lunik 1 (Kosmische Rakete), welche am 01.01.1959 gestartet wurde, in weniger als 6.000 km Entfernung am Mond vorbei. Zwar wurden keine Bilder geliefert, doch dafür Messwerte. So wurde unter anderem gezeigt, dass der Mond über kein nennenswertes magnetisches Dipolfeld verfügt. Lunik 2 (Sowjetische Kosmische Rakete 2) wurde am 12.09.1959 gestartet und erreichte als erste Sonde am 13.09.1959 die Mondoberfläche. Zu einer Übermittlung von Daten von der Mondoberfläche konnte es allerdings nicht kommen, da die Raumsonde hart auf dem Mond aufschlug und so zerstört wurde. Immerhin handelt es sich um das erste von Menschen erbaute Objekt, welches einen anderen Himmelskörper erreichte. Vor ihrem Aufschlag bestätigte Lunik 2 jedoch die Messwerte von Lunik 1, wonach es kein nennenswertes Mondmagnetfeld und auch keinen Strahlungsgürtel um den Mond gibt. Die am 04.10.1959 gestartete sowjetische Sonde Lunik 3 (Automatische Interplanetarische Station) erfüllte ihre Mission sehr erfolgreich. Sie lieferte die ersten Bilder von der Rückseite des Mondes, welche dem Blick der Menschheit aufgrund der gebundenen Rotation des Mondes bisher verborgen geblieben war.

Das nächste Ziel der Raumfahrt war die weiche Landung einer Sonde auf dem Mond. Dieses Ziel wurde mit der am 31.01.1966 gestarteten sowjetischen Sonde Luna 9 erreicht. Sie landete erfolgreich am 03.02.1966 auf dem Mond. Die sowjetischen Sonden Luna 10 und 11 umflogen 1966 als künstliche Satelliten den Mond und lieferten zahlreiche Daten. Die sowjetische Sonde Luna 16, welche am 12.09.1969 gestartet wurde, brachte Bodenproben zur Erde zurück, allerdings erst nach der erfolgreichen bemannten Apollo-11-Mission. Mit Luna 20, gestartet am 14.02.1972, wurde die Mission von Luna 16 wiederholt. Mit der Mission Luna 17, gestartet am 10. November 1970, wurde das ferngesteuerte Fahrzeug Lunochod 1 auf den Mond gebracht. Diese Mission wurde mit der am 15.01.1973 gestarteten Luna-21-Sonde und Lunochod 2 wiederholt. Die am 09.08.1976 gestartete sowjetische Sonde Luna 24 brachte noch einmal Bodenproben zur Erde zurück und war die letzte Sonde des Luna-Programms. Die für 1977 geplante Luna-25-Mission mit dem ferngesteuerten Fahrzeug Lunochod 3 wurde nicht mehr realisiert.

Das US-amerikanische Mondraumfahrtprogramm begann mit der am 28.07.1964 gestarteten Sonde Ranger 7. Sie traf den Mond am 31.07.1964 im Mare Nubium. Alle Sonden waren für einen harten Aufschlag und nicht für eine weiche Landung auf dem Mond konzipiert. Kurz vor dem Aufschlag lieferten sie jeweils viele Tausende von Bildern. Es folgte Ranger 8, welche am 17.02.1965 gestartet wurde und am 20.02.1965 im Mare Tranquillitatis, dem späteren Landeplatz von Apollo 11, aufschlug. Abgeschlossen wurde das Programm mit Ranger 9, welche am 21.03.1965 gestartet wurde und am 24.03.1965 im Krater Alphonus aufschlug. Das Surveyor-Programm war dann für weiche Landungen auf dem Mond konzipiert. Surveyor 1 wurde am 30.05.1966 gestartet und landete am 02.06.1966 weich nahe dem Krater Flamsteed.

Die Missionen Surveyor 2 und 4 waren Fehlschläge, alle anderen erfolgreich. Mit Surveyor 7, gestartet am 07.01.1968, wurde die Mission zur Vorbereitung einer bemannten Landung auf dem Mond beendet. Sie landete am 09.01.1968 ungefähr 40 km nördlich vom Krater Tycho auf dem Mond. Als weiteres Programm der US-Raumfahrt wurden zwischen dem 10.08.1966 und dem 01.08.1967 fünf Lunar-Orbiter gestartet, welche den Mond als künstliche Satelliten umkreisten und ebenfalls zahlreiche Informationen lieferten.

Der erste bemannte Flug im Rahmen des Apollo-Mond-Programms fand mit Apollo 7 im Erdorbit vom 11. bis 22.10.1968 statt. Bereits die Mission mit Apollo 8 führte zur ersten bemannten Mondumkreisung, welche am 24.12.1968 erfolgte. Die Mission dauerte vom 21. bis zum 27.12.1968. Die Mission von Apollo 9 fand wieder im Erdorbit statt. Im Rahmen dieser Mission, welche vom 03. bis zum 13.03.1969 dauerte, wurde das Ab- und Ankoppeln der Mondlandefähre geprobt. Im Rahmen der Mission von Apollo 10 wurde diese Probe dann in den Mondorbit verlegt und die Mondlandung simuliert. Die Mission dauerte vom 18. bis zum 26.05.1969.



Bild 12: Apollo-Astronaut mit Mondlandefähre, Mondauto und US-Flagge auf dem Mond /
Quelle: NASA / JPL

Die erste bemannte Mondlandung erfolgte dann im Rahmen der Mission von Apollo 11, welche am 16.07.1969 gestartet wurde und am 19.07.1969 den Mond erreichte. Am 20.07.1969 um 21:17 Uhr MEZ landete die Mondlandefähre Eagle mit den Astronauten Neil Armstrong und Buzz Aldrin erfolgreich im Mare Tranquillitatis auf dem Mond. Tags darauf um 3:56 MEZ betrat Armstrong als erster Mensch den Mond, Aldrin folgte um 4:20 MEZ. Astronaut Michael Collins verblieb in der Raumkapsel Apollo 11, welche den Mond umkreiste.

Am 21.07.1969 verließ die Mondlandefähre mit Armstrong und Aldrin den Mond wieder und koppelte an die Raumkapsel an. Anschließend trat Apollo 11 den Heimflug zur Erde an und landete dort wohlbehalten am 24.07.1969. Erfolgreiche Missionen nach Apollo 11 waren die Raumflüge von Apollo 12, 14, 15, 16 und 17. Bis Dezember 1972 betreten insgesamt 12 Astronauten den Mond. Die Mission von Apollo 13 im April 1970 scheiterte aufgrund eines technischen Defekts, der zu einer Explosion und zur Beschädigung von Apollo 13 führte. Zum Überleben mussten die Astronauten in die Mondlandefähre umsteigen, den Mond umkreisen und konnten anschließend erfolgreich zur Erde zurückkehren. Eine direkte Umkehr oder eine Mondlandung war nicht möglich.

Nach den erfolgreichen Mondmissionen im Rahmen des Apollo-Programms gab es weitere Missionen mit Raumsonden zum Mond. Im Jahr 1994 starteten die USA die Raumsonde Clementine, welche in einer polaren Umlaufbahn fast den gesamten Mond kartographierte und das Höhenprofil des Erdrabanten aufnahm. Die im Jahr 1998 gestartete US-Raumsonde Luna Prospector erstellte, ebenfalls in einer polaren Umlaufbahn, eine komplette Kartographie der Mondgravitation.

Ein angestrebter eindeutiger Nachweis von möglichem Wassereis am Mondsüdpol gelang jedoch nicht im Rahmen dieser Mission. Der Nachweis von Wassereis am Mondnordpol gelang hingegen mit der im Jahre 2008 gestarteten indischen Sonde Chandrayaan-1. Im Jahr 2007 startete Japan die Sonde Kaguya (Selene) mit 14 wissenschaftlichen Instrumenten an Bord in eine Mondumlaufbahn. Unter anderem lieferte die Sonde Stereobilder von der Mondoberfläche und Höhenprofile mit einer Genauigkeit von 5 m. Des Weiteren wurden zwei Hilfssatelliten abgesetzt, mit denen die Verteilung der Mineralien und das Gravitationsfeld des Mondes erforscht wurden. Nach zwei Jahren wurde die Mission durch einen geplanten Aufschlag der Sonde auf dem Mond beendet. Die Volksrepublik China startete ebenfalls im Jahr 2007 die Sonde Chang'e 1, welche primär die chemische und mineralogische Zusammensetzung der Mondoberfläche erforschte. Mit Hilfe von Stereokameras wurden dreidimensionale Bilder von der Mondoberfläche erstellt. Die chinesische Nachfolgesonde Chang'e 2 hatte 2010/11 im Mondorbit die Aufgabe, die Möglichkeiten für eine bemannte chinesische Mission zum Mond auszuloten.

Im Jahr 2009 erfolgten zwei weitere US-Missionen zum Mond. Mit einer Trägerrakete startete die NASA den Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) und den Crater Observation and Sensing Satellite (LCROSS) jeweils in eine polare Mondumlaufbahn. Der LRO lieferte aus einer niedrigen Umlaufbahn hochauflösende Bilder und Daten zur kosmischen Strahlenbelastung. Die Bilder dienten als Basis für eine hochauflösende Karte des Mondes. Im Jahr 2012 überflog die Sonde in einer Höhe von 24 km den Landeplatz von Apollo 11 im Mare Tranquillitatis und lieferte hochauflösende Bilder. Sie zeigen unter anderem die Fußspuren der Astronauten und das Landegestell der Mondlandefähre. Da auch andere Nationen in der Lage sind, solche Bilder zu erhalten, wäre eine mögliche Fälschung der Mondlandung längst aufgefliegen. Es gibt Verschwörungstheorien, wonach die Mondlandung nicht stattgefunden haben soll. Alle mutmaßlichen Beweise für solche Theorien können jedoch widerlegt werden.

Die Sonde LCROSS blieb mit der ausgebrannten Oberstufe der Centaur-Rakete verbunden, welche abgekoppelt und gezielt in einem Krater am Mondsüdpol zum Aufschlag gebracht wurde. Die aufgewirbelte Partikelwolke wurde anschließend mit einem Spektrometer an Bord von LCROSS analysiert. Dabei wurden Wasserdampf und damit die Existenz von Wasser nachgewiesen. Zwei weitere NASA-Sonden mit der Bezeichnung Gravity Recovery and Interior Laboratory (GRAIL) umkreisten im Jahr 2012 den Mond in einer Höhe von nur 23 km. Die Aufgabe der Sonden war die genaue Vermessung des Mondgravitationsfeldes und von Gravitationsanomalien auf dem Mond. Die Messwerte sollen weitere Aufschlüsse über den inneren Aufbau des Mondes liefern.

Die chinesischen Sonden Longjiang 1 und 2 wurden am 20.05.2018 gestartet. Longjiang 1 ging verloren und Longjiang 2 erreichte erfolgreich einen elliptischen Mondorbit. Die Mission Longjiang 2 diente als Kommunikationsmondsatellit für die am 07.12.2018 gestartete Mission Chang'e 4. Mit dieser Mission gelang am 03.01.2019 erstmalig eine erfolgreiche weiche Landung auf der Mondrückseite. Sie umfasst auch den Rover Yutu 2. Die mehrteilige Sonde Chang'e 5 wurde am 23.11.2019 gestartet. Sie bestand aus einem Orbiter, einem Mondlander und einer Probenrückführkapsel. Am 16.12.2020 brachte die Rückkehrsonde 1,7 kg Mondgestein und -staub zur Erde. Der Orbiter wurde zur Vorbereitung von zukünftigen Missionen zunächst an einen der Lagrange-Punkte des Systems Erde – Sonne gebracht und danach in eine entfernte rückläufige Bahn um den Mond.

Vor dem Start des Artemis-Programms wurde am 28.06.2022 von der NASA (USA) die Sonde Capstone gestartet. Mit dieser Mission sollten die Navigation und die Umlaufbahn des ursprünglich geplanten Lunar Orbital Platform-Gateway (LOP-G), einer Raumstation im Mondorbit, erprobt werden. Das LOP-G-Projekt wurde derzeit zugunsten einer bemannten Station auf dem Mond gestoppt. Das Artemis-Programm ist eine Kooperation der NASA mit den Raumfahrtagenturen von Europa (ESA), Kanada (CSA) und Japan (JAXA). In Europa ist Deutschland wiederum maßgeblich beteiligt, darunter auch der Raumfahrtstandort Bremen als „City of Space“. Im Rahmen der unbemannten Artemis-1-Missionen vom 16.11. bis 11.12.2022 erfolgte zum ersten Mal der Flug eines Orion-Raumschiffes zum Mond und zurück. Im Rahmen dieser Mission trat das Raumschiff auch in den Mondorbit ein.



Bild: 13: Die bemannte Mondumkreisung im Rahmen der Artemis-2-Mission / Quelle NASA / JPL

Die bemannte Artemis-2-Mission wurde am 02.04.2026 um 00:35 Uhr MESZ (01.04.2026 um 18:35 Uhr US-Ortszeit) erfolgreich gestartet. Eine Astronautin und drei Astronauten sind in einem Orion-Raumschiff in einer achtförmigen Flugbahn erfolgreich zum Mond geflogen, haben diesen am 07.04.2026 (MESZ) umrundet und sind am 11.04.2026 um 02:08 Uhr MESZ (10.04.2026 um 20:08 Uhr US-Ortszeit) wieder sicher auf der Erde gelandet. Als Kommandant leitete Reid Wiseman von der NASA die Mission. Der Pilot von Artemis 2 war der NASA-Astronaut Victor Glover. Die NASA-Missionsspezialistin Christina Koch und ihr entsprechender Kollege Jeremy Hansen von der kanadischen Raumfahrtagentur CSA vervollständigten die Artemis-2-Crew.

Mit der Artemis-3-Mission soll im Jahr 2027 mit einer echten Mondlandefähre das Andockverfahren im Erdorbit geprobt werden. Im Jahr 2028 sollen im Rahmen der Missionen Artemis 4 und 5 bemannte Landungen auf dem Mond erfolgen. Allerdings sind die Anzüge und die Mondlandefähren für die Astronautinnen und Astronauten noch nicht fertig entwickelt, so dass der angestrebte Zeitplan nicht sicher ist. Verzögerungen sind daher möglich.

Im Rahmen von weiteren Artemis-Missionen soll ab 2033 der Aufbau für eine bemannte Station auf dem Mond beginnen. Die hierfür erforderliche Technik soll bis 2029 entwickelt werden, was als sehr ambitioniert gilt. Im Rahmen der am 15.01.2025 gestarteten US-Mission Blue Ghost M 1 erfolgte am 02.03.2025 die erfolgreiche Landung von Blue Ghost im Mare Crisium.

Mit den Missionen Luna 25, 26 und 27 möchte Russland an das erfolgreiche Luna-Programm der ehemaligen Sowjetunion anknüpfen. Die Mission Luna 25 wurde am 10.08.2023 gestartet und sollte am 21.08.2023 einen Lander im Boguslawsky-Krater absetzen. Der Lander stürzte jedoch am 19.08.2023 in den Krater Pontécolant und wurde zerstört. Luna 26 ist eine Orbiter-Mission und soll im Jahr 2028 gestartet werden. Die Missionen Luna 27A und Luna 27B sollen in den Jahren 2029 und 2030 Lander zum Mond bringen.

Mit DRO-A und -B brachte am 13.03.2024 die chinesische Raumfahrtagentur CNSA zwei kleine Satelliten in eine entfernte rückläufige Bahn um den Mond. Die Raumsonden sollen Kommunikations- und Navigationsdienste für die kommenden Mission zum Mond zur Verfügung stellen. Am 30.03.2026 startete die CNSA mit Elsternbrücke einen Relaisatelliten für die Mission Chang'e 6. Zusätzlich wurden noch die beiden Technologieerprobungssatelliten Tiandu 1 und 2 für eine geplante Konstellation von Navigations- und Kommunikationssatelliten gestartet. Die Mission Chang'e 6 startete am 03.05.2024 und landete am 01.06.2024 auf der Mondrückseite im Apollo-Krater. Es erfolgte auch eine Sammlung und Rückführung von Mondproben, welche am 25.06.2024 die Erde erreichten. Für das Jahr 2029 strebt die Volksrepublik China die erste bemannte Landung auf dem Mond an. In den 2030er Jahren möchte die Volksrepublik China in Zusammenarbeit mit Russland ebenfalls eine bemannte Station auf dem Mond errichten.

Neben den Vereinigten Staaten von Amerika, der Volksrepublik China und der Russischen Föderation brachten weiteren Staaten Mondmissionen auf den Weg. Süd-Korea startete mit Danuri am 04.08.2022 eine Orbiter-Mission zum Mond. Mit der am 14.07.2023 gestarteten Mission Chandrayaan-3 brachte Indien erfolgreich einen Rover zum Mond. Die erfolgreiche Landung erfolgte am 23.08.2023. Die japanische Raumfahrtagentur JAXA startete am 06.09.2023 die Mission SLIM, mit welcher zwei kleine Rover zum Mond gebracht wurden. Die erfolgreiche Landung erfolgte am 19.01.2024. Trotz eines Ausfalls der Stromversorgung in der ersten Woche nach der Landung konnten alle Missionsziele erfüllt werden. Mit iCub-Q startete Pakistan am 03.05.2024 eine erfolgreiche Cube-Orbiter-Mission zum Mond.

Für die Zukunft sind weitere unbemannte und bemannte Mond-Missionen sowie auch die Errichtung von ständigen Mondstationen geplant. Der Mond könnte auch als Zwischenstufe für eine bemannte Mission zum Mars dienen. Neben der Erprobung von neuen Technologien sollen auch Rohstoffe vom Mond gewonnen werden. Des Weiteren soll auch Weltraumforschung vom Mond aus betrieben werden.

8 Schlusswort

Der Mond ist der natürliche Satellit der Erde. Er hat darüber hinaus eine stabilisierende Wirkung auf unseren Heimatplaneten. Ohne den Mond würde die Erdachse zwischen 15° und 30° schwanken. In diesem Fall wäre die Evolution wohl ganz anders verlaufen und hätten sich komplexere Lebensformen nicht entwickeln können. Die Mondgravitation hat großen Einfluss auf die Erde und ist für die Gezeiten verantwortlich. Die auffälligste Erscheinungsform der Gezeiten sind die Tiden im Meer, Ebbe und Flut. Doch auch die Atmosphäre und die Landmassen sind von den Gezeiten betroffen. Aufgrund der Gezeiten dauert die Rotation des Mondes genauso lange wie sein Umlauf um die Erde. In diesem Fall wird von einer gebundenen Rotation gesprochen. Im Prinzip können wir von der Erde aus nur eine Seite des Mondes sehen. Aufgrund von kleineren Schwankungen sehen wir insgesamt etwa 59 Prozent der Mondoberfläche. Erst aufgrund der Raumfahrtmissionen seit 1959 kennen wir die gesamte Oberfläche des Mondes. Die Gezeiten bewirken auch eine Verlangsamung der Erdrotation um rund $20 \mu\text{s}$ pro Jahr.

Vor einigen 100 Millionen Jahren lag die Tageslänge noch bei 20–22 Stunden. Zur Zeit der Entstehung der Erde könnte die Tageslänge noch einmal deutlich kürzer gewesen sein. Auf der anderen Seite wird die Tageslänge weiter zunehmen. In 300 Millionen Jahren wird sich die Rotation der Erde so verlangsamt haben, dass ein Tag 25,7 Stunden dauert. Eine Rotationsdauer von 48 Tagen und eine doppelt gebundene Rotation wird die Erde in drei Milliarden Jahren erreichen. Dann ist auch dem Mond gegenüber immer dieselbe Seite der Erde zugewandt. Aufgrund der Drehimpulserhaltung muss der Drehimpuls der Erde in den Bahndrehimpuls des Mondes übertragen werden. In der Folge war der Mond früher näher an der Erde und entfernt sich zurzeit um 3,8 cm pro Jahr. Wahrscheinlich wird der Mond jedoch das Gravitationsfeld der Erde während der Lebensdauer der Sonne nicht verlassen.

Der Einfluss des Mondes auf biologische Systeme ist umstritten. Viele der behaupteten Einflüsse lassen sich nicht verifizieren oder stellen sich als nicht haltbar heraus. In wenigen Fällen könnte es einen Einfluss geben, wobei die genauen Einfluss-Mechanismen noch Gegenstand der Forschung sind. Aufgrund seiner großen Nähe zur Erde ist der Mond ein dankbares Beobachtungsobjekt der Astronomie und ein begehrtes Ziel der Raumfahrt. Die ersten Raumsonden-Missionen führten im Jahr 1959 zum Mond. Bereits zehn Jahre später erfolgten die erste bemannte Mondlandung und die bisher einzige Mission der Menschheit zu einem Himmelskörper. Für die Zukunft sind weitere Raumfahrtmissionen zum Mond geplant. Neben unbemannten und bemannten Missionen soll es auch eine ständige Station auf dem Mond geben.

Unabhängig von der modernen Forschung beeinflusste der Mond viele Kulturen. So geht zum Beispiel die Einteilung des Jahres in Monate bei vielen Kulturen auf die Umlaufzeit des Mondes um die Erde zurück. Der Mond hat zweifellos eine große Bedeutung für die Menschheit. Er ist für ihre Existenz nicht weniger bedeutend als die Sonne. Vor allem ist der Mond schön anzuschauen und allemal das Verfassen einer Abhandlung wert. Für die Zurverfügungstellung der professionellen Mondfotos möchte ich Ralf Schmidt sehr danken.

9 Literatur-, Quellen- und Bilderverzeichnis

Folgende **Informationen** und **Literatur** fand bei der Erstellung dieser Abhandlung Verwendung und kann zur Vertiefung der Thematik empfohlen werden:

- 1) NASA / <https://www.nasa.gov/>, 2026.
- 2) Hans-Ulrich Keller, Kompendium der Astronomie, 2019.
- 3) Eckart Kuphal, Den Mond neu entdecken, 2013.
- 4) Arnold Hanslmeier, Einführung in die Astronomie und Astrophysik, 2013.
- 5) A. Weigert, H.J. Wendker, L. Wisotzki, Astronomie und Astrophysik, 2009.
- 6) Klaus Lindner, Taschenbuch der Astronomie, 1993.

Bilderverzeichnis:

Titelbild: NASA/ JPL

Bild 1: NASA / JPL

Bild 2: Ralf Schmidt

Bild 3: Ralf Schmidt

Bild 4: Ralf Schmidt

Bild 5: Ralf Schmidt

Bild 6: Ralf Schmidt

Bild 7: Bayerischer Rundfunk

Bild 8: Ralf Schmidt

Bild 9: <https://de.wikipedia.org/wiki/Mond>

Bild 10: <https://de.wikipedia.org/wiki/Mondbahn>

Bild 11: <https://de.wikipedia.org/wiki/Gezeiten>

Bild 12: NASA / JPL

Bild 13: NASA / JPL