

## Hintergrundinformationen 3:

### Wie wirken Gezeitenkräfte auf Erde und Mond? Damals, heute und in Zukunft.

#### Warum ist der Mond so wichtig für das (menschliche) Leben auf der Erde?

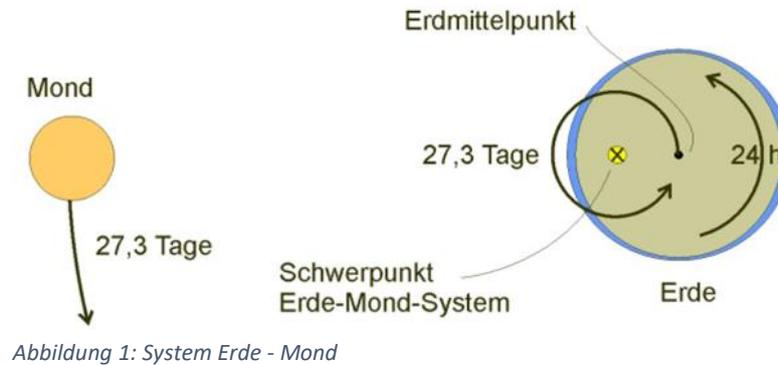
Heute ist der Mond ca. 380.000 km im Mittel von der Erde entfernt und er zeigt der Erde immer dieselbe Seite zu. Das war allerdings nicht immer so. Der Protoplanet Theia war für die Bildung des Mondes vor ca. 4,5 Mrd. Jahren verantwortlich, was bereits in Unterrichtsmaterial 1 zu dieser Reihe besprochen wurde. Der Mond entstand in einem Abstand von etwa 40.000 – 45.000 km zur Erde, zu einem Zeitpunkt, an dem extrem hohe Temperaturen vorherrschten. Für die Masse der Erde ist die Entstehung des Erdmondes und insbesondere seine Größe und Masse sehr untypisch. Kein weiterer Planet unseres Sonnensystems weist einen proportional zu seiner eigenen Masse so großen natürlichen Satelliten auf.

Dadurch, dass der Mond ca. 1/80 der Erdmasse aufweist und „nur“ 380.000 km im Mittel von der Erde entfernt ist, wirken zwischen den beiden Himmelskörpern starke Gravitationskräfte. Obwohl sich das System Erde-Mond erst in einem Anfangsstadium befand, wurde der Mond durch den Massenunterschied schnell in eine synchronisierte Bahn gezwungen, wodurch wir den Mond heute von der Erde aus nur von einer Seite sehen. Die Gezeitenkräfte wirken somit auf der Erde durch die unterschiedliche Position des Mondes verschieden im Vergleich zum Mond, wo Sie immer an der ähnlichen Stelle wirken, da die Erde sich vom Mond aus immer an der ähnlichen Stelle auf der synchronisierten Bahn befindet.

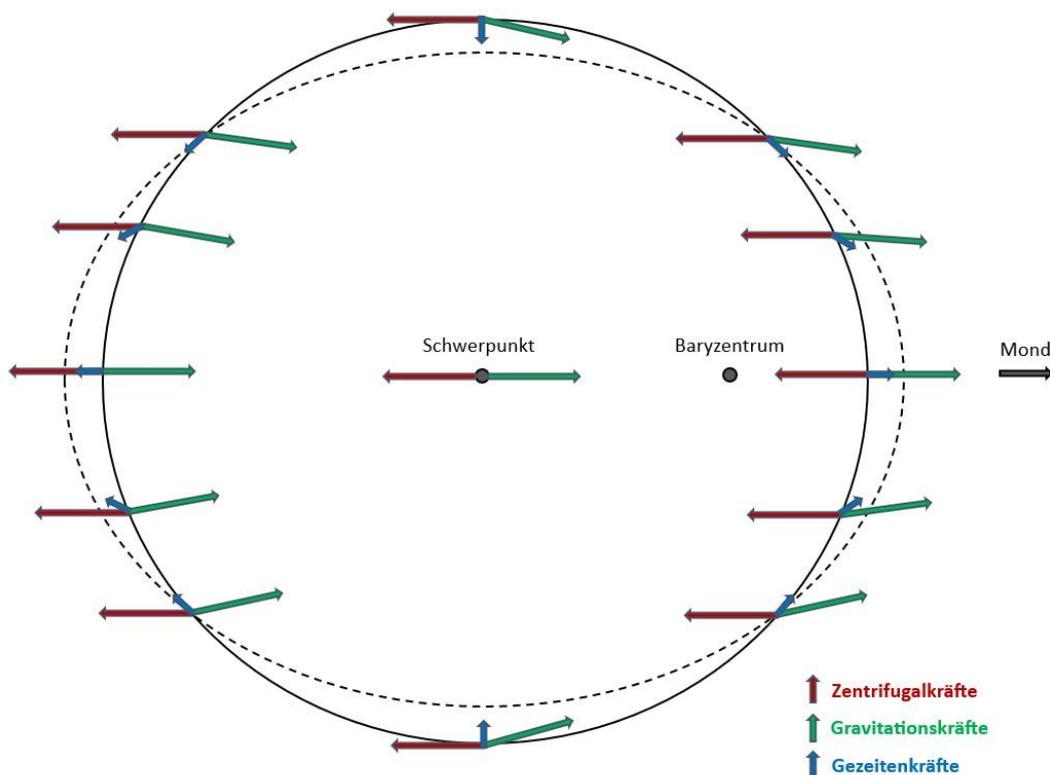
Die Gezeiten auf der Erde sind die wohl bekannteste Folge aus dem gravitativen System Erde-Mond(-Sonne). Trotz der kleineren Größe und der sehr viel kleineren Masse des Mondes hat dieser Auswirkungen auf die Gezeiten der Erde. Auch die Sonne hat gravitative Auswirkungen auf die Erde, diese sind allerdings aufgrund der großen Entfernung zur Erde dreimal schwächer als die des Mondes.

Auf der Erde treten durch den Einfluss der Sonne in Kombination mit dem Mond besonders starke (Springtide) und besonders schwache Fluten (Nipptide) auf. Je nach Stellung von Erde, Mond und Sonne variiert die Stärke der Gezeiten. So sind die Himmelskörper z.B. entweder so positioniert, dass sich die Gravitationskräfte aufaddieren (Springtide), wenn Sonne, Mond und Erde auf einer Geraden liegen, wie bei Vollmond und Neumond oder die Kräfte wirken entgegengesetzt zueinander (Nipptide). Dann ist die Gezeitenwirkung besonders schwach. Der Mond verursacht den Hauptanteil der Gezeiten auf der Erde. Die relevante Bewegung

von Erde und Mond ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt (s. Abb. 1). Die Mittelpunkte der Erde sowie des Mondes laufen um einen gemeinsamen Schwerpunkt, das sog. Baryzentrum, das innerhalb der Erde liegt.



Gleichzeitig rotiert die Erde täglich um ihre eigene Achse. Flut herrscht in diesem System auf der Erde an der mondzugewandten und der mondabgewandten Seite gleichermaßen. Grund dafür ist die Gravitationskraft, die der Mond auf die Erde ausübt. Die Differenz zwischen den Zentrifugalkräften und den zum Mond gerichteten Gravitationskräften ergibt die resultierenden Gezeitenkräfte (s. Abb. 2).



Da die Erde sich zugleich um ihre eigene Achse dreht, dreht sie sich unter den beiden Flutbergen und Ebbezonen hindurch. Die Gezeiten des Mondes haben eine Periode von im Mittel 12 Stunden und 25 Minuten. Während sich die Erde um ihre eigene Achse dreht, wandert der Mond in seinem monatlichen Umlauf ebenfalls in dieselbe Richtung ein Stück weiter. Daher verschieben sich die vom Mond aus verursachten Gezeiten Tag für Tag um circa 53 Minuten nach hinten. Für die Gezeitenwirkung der Sonne beträgt die entsprechende Verschiebung nur etwa 4 Minuten.

Die vorgestellte Erklärung ist modellbasiert und komplexitätsreduziert, um die physikalischen Prozesse einfacher und anschaulicher darzustellen. In der Realität müssen noch weitere Variablen mit integriert werden. So haben z.B. auch die Erdachsenneigung, Küstenform, Beschaffenheit und Form des Meeresbodens, Wind und Wetter oder die Lage des Mondes bezüglich der Äquatorebene Einfluss auf die Höhe des Tidenhubs. Das Zusammenspiel der einzelnen Faktoren ist jedoch so komplex, sodass es bis heute nicht möglich ist, für eine bestimmte Zeit den Tidenhub exakt vorzuberechnen. Daher spielt das Erfahrungswissen nach wie vor eine nicht zu unterschätzende Rolle.

Die Rotation der Erde um den gemeinsamen Schwerpunkt wird über die Jahre immer weiter abgebremst. Vor der Entstehung des Mondes betrug ein Erdtag etwa 6 Stunden. Mittlerweile sind es 24 Stunden. Dadurch, dass die Mondbahn bereits synchronisiert ist, wirken die Gezeitenkräfte auf den Mond so, dass sich der Mond durch den Bahndrehimpuls immer weiter von der Erde entfernt, um etwa 4 cm im Jahr. Da der Gesamtdrehimpuls des Erde-Mond-Systems eine Erhaltungsgröße darstellt, wird die Abnahme des Rotationsdrehimpulses der Erde durch die Zunahme des Bahndrehimpulses des Mondes ausgeglichen.

Da sich die Massen von Erde und Mond nicht verändern, muss bei Abnahme der Winkelgeschwindigkeiten der Abstand zunehmen, sodass sich der Mond im Laufe der Zeit von der Erde entfernt. Ohne den Mond würde sich die Erde deutlich schneller drehen. Ca. 9-10 Stunden würde ein Erdtag dann dauern. Die Windgeschwindigkeiten würden steigen. Nur noch sehr flache und angepasste Lebewesen würden die veränderte Situation überleben. Zudem wäre die Erdrotationsachse sehr viel instabiler und würde stark schwanken. Potentiell würde dann beispielsweise der Nordpol im Zenit der Sonne stehen, was natürlich klimatisch sowie in Bezug auf Flora und Fauna drastische Veränderungen auf der Erde nach sich ziehen würde und das Leben auf der Erde praktisch unmöglich machen würde. Außerdem hätte nur noch die Sonne Einfluss auf die Gezeitenwirkung. Demnach wären die Gezeiten zwar schwächer, allerdings würden durch die schnellere Erdrotation Sturmfluten und Tsunamis entstehen. Zudem gäbe es nachts weniger bis kein Licht,

was ebenfalls entscheidenden Einfluss auf die Fauna hätte und zum Aussterben vieler Arten führen würde. Einige Tiere laichen z.B. im Mond- und Gezeitenrhythmus.

Der Einschlag von Theia und die damit verbundene Entstehung des Mondes sind für den überproportional großen Erdkern und für die Ausbildung der Plattentektonik auf der Erde verantwortlich. Man vermutet, dass ohne den Einschlag von Theia kein Leben auf der Erde stattfinden würde, da sich keine extremophilen Lebewesen (sog. Archeen), vorherrschend in extremen Lebensräumen, die damals gegeben waren, herausgebildet hätten. Diese Archeen stehen am Anfang eines jeden Lebens.

Der Mond ist zudem für die Erforschung der terrestrischen Vergangenheit von hoher Relevanz. Auf der Erde, die im Vergleich zum Mond geologisch noch sehr aktiv ist, sind die Spuren aus ihrer vergangenen Entwicklungsgeschichte bereits überwiegend ausgelöscht. Der Mond ist allerdings aufgrund seiner geringeren Größe fast komplett abgekühlt und folglich auch kaum noch geologisch aktiv. Dementsprechend bietet der Mond als Teil der ehemaligen Uerde die Möglichkeit, geologische Untersuchungen zu Prozessen durchzuführen, die vor mehr als drei Milliarden Jahren stattgefunden haben.

### Quellen:

[https://www.youtube.com/watch?v=hzHMLrXDJuU&list=PL\\_alsMMKm5cyYDuOP23eYaLiDQ9bs2R8R](https://www.youtube.com/watch?v=hzHMLrXDJuU&list=PL_alsMMKm5cyYDuOP23eYaLiDQ9bs2R8R) [08.12.2022]

Müller, R. (2006): Die Gezeiten – neue Ansätze zu einem alten Problem. Physik und Didaktik in Schule und Hochschule. TU Braunschweig.

Jaumann, R.; Köhler, U.; Sohl, F.; Tirsch, D.; Pieth, S. (2018): Expedition zu fremden Welten. 20 Milliarden Kilometer durch das Sonnensystem. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Springer-Verlag GmbH Deutschland. Berlin.

Thompson, P., R.; Widlansky, M., J.; Hamlington, B., D.; Merrifield, M. A.; Marra, J., J.; Mitchum, G., T. & Sweet, W. (2021): Rapid increases and extreme months in projections of United States high-tide flooding. In: Nature Climate Change 11: 584-590. URL: <https://www.nature.com/articles/s41558-021-01077-8> [20.12.2022].

Boesch, A. (2022): Die Gezeiten – Entstehung und Phänomene. Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) (Hrsg.) Hamburg und Rostock.

<https://beltoforion.de/de/gezeiten/> [20.12.2022]

<https://www.swr.de/wissen/1000-antworten/was-wuerde-passieren-wenn-der-mond-weg-waere-100.html#:~:text=Ohne%20den%20Mond%20w%C3%A4re%20es.cm%20weiter%20hinaus%20ins%20Weltall> [20.12.2022]

<https://www.thomasjermann.ch/meeresblog/wie-funktionieren-die-gezeiten-ebbe-und-flut-einfach-erklart/> [22.12.2022]

<https://itp.tugraz.at/LV/arrigoni/projektpraktikum/mechanik/gezeiten-wittwer.pdf>

<https://rukshanaliq.blogspot.com/2013/09/global-tidal-variations-explained.html> --> Trujillo, Alan P. Essentials of oceanography / Al Trujillo, Harold Thurman. 10th ed.

[https://www2.klett.de/sixcms/list.php?page=infothek\\_artikel&extra=TERRA-](https://www2.klett.de/sixcms/list.php?page=infothek_artikel&extra=TERRA-)

[Online%20/%20Gymnasium%20/%20neu&artikel\\_id=105489&inhalt=klett71prod\\_1.c.356365.de](https://www2.klett.de/sixcms/list.php?page=infothek_artikel&extra=TERRA-Online%20/%20Gymnasium%20/%20neu&artikel_id=105489&inhalt=klett71prod_1.c.356365.de)

Grehn, J. & Krause, J. (Hg.) (2007): Metzler Physik. 4. Auflage, Braunschweig.