

Entstehung und Auswirkungen der Gezeitenreibung

Von Mond und Sonne gehen Gezeitenkräfte aus, die für die Entstehung der Meeresgezeiten auf der Erde verantwortlich sind ([Newsletter Juni 2021](#)). Darüber hinaus führen diese Gezeitenkräfte über die Gezeitenreibung zu einer Anzahl von weiteren Phänomenen, die auf der Erde und dem Mond beobachtet werden.

Durch die Gravitation des Mondes wird nicht nur der Meeresspiegel abwechselnd angehoben und gesenkt, sondern auch die Erdoberfläche. Dieser Effekt liegt im Bereich 30 bis 50 cm (<https://de.wikipedia.org/wiki/Gezeitenkraft>) und ist durch unsere Sinne nicht wahrnehmbar. Ein analoger Effekt tritt unter dem Einfluss der Erdgravitation auf dem Mond auf und führt u.a. zu einem Durchwalken des Mondkörpers.

Teilweise wird die Wirkung der Gezeitenreibung auf der Erde als Reibungseffekt zwischen den Flutbergen und der sich darunter wegbewegenden Erde beschrieben. Dadurch würden sich Auswirkungen wie bei einer Backenbremse z.B. beim Fahrrad ergeben. Diese Beschreibung ist zwar anschaulich aber nicht exakt. Wie schon im o.g. Newsletter beschrieben, bewegt sich der Meeresspiegel unter dem Gezeiteneinfluss vor allem vertikal- und weniger horizontal.

Tatsächlich ist es so, dass der Erdkörper durch die Gezeitenbeschleunigung eine leichte Ellipsoidform annimmt (vergleichbar mit einem Rugbyball, nur deutlich schwächer). Die innere Reibung bei der Verformung führt dazu, dass die Längsachse nicht auf den die Gezeiten auslösenden Mond ausgerichtet, sondern in Rotationsrichtung der Erde verdreht ist. Die Massenträgheit beim Verformungsvorgang führt zu einer verzögerten Ausbildung des Flutberges, d.h. zu einem Nachlaufen gegenüber der Gravitationswirkung. Dadurch liegt das sogenannte Gravizentrum **GZ** (Mittel aller Positionen, gewichtet nach der angreifenden Gravitationskraft im jeweiligen Punkt (s.a. <https://de.wikipedia.org/wiki/Gravizentrum>) gegenüber dem Massenmittelpunkt **MM** in Rotationsrichtung verschoben (rote Linie in **Bild 1**). Dadurch entsteht ein Drehmoment mit einer Kraftwirkung in Flugrichtung des Mondes. Das führt dazu, dass der (Bahn-) Drehimpuls des Mondes um den gleichen Energiebetrag erhöht wie der (Eigen-) Drehimpuls der Erde verringert wird. Hier wirkt der Drehimpulserhaltungssatz, d.h. in dem System Erde-Mond (E-M) bleibt die Summe Eigendrehimpuls_(E) + Eigendrehimpuls_(M) + Bahndrehimpuls_(M) konstant (s.a. <https://de-academic.com/dic.nsf/dewiki/520104>). Im **Bild 1** sind der Massenmittelpunkt und das Gravizentrum zur besseren Veranschaulichung außerhalb der Erde dargestellt, tatsächlich liegen sie im Erde-Mond-System innerhalb des Erdkörpers (im Erdmantel).

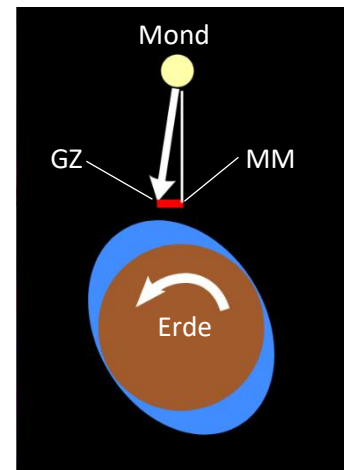


Bild 1 Entstehung des Drehmomentes bei der Gezeitenreibung
<https://de.wikipedia.org/wiki/Gezeitenkraft>

Die Gezeitenreibung ist für eine Vielzahl von Effekten verantwortlich, u.a.

- Das ständige Durchwalken des Mondes führt dazu, dass er infolge der Reibungswärme im Inneren einen mehr oder weniger flüssigen Bereich aufweist, obwohl der im Vergleich zur Erde deutlich kleinere Himmelskörper seine ursprüngliche Wärme aus der Entstehungszeit längst abgestrahlt hat. Die Wärme im Erdinneren wird nach derzeitigem Erkenntnisstand im Gegensatz zum Mond in erster Linie durch radioaktive Zerfallsprozesse verursacht.
- Die Eigenrotation des Mondes hat sich infolge der lunaren Gezeitenreibung schon vor langer Zeit an den Umlauf um die Erde angepasst, wodurch wir im Wesentlichen immer die gleiche Seite des Mondes sehen (gebundene Rotation). Da der Mond in Bezug auf einen Erdbeobachter infolge der elliptischen Mondbahn und der dadurch schwankenden Winkelgeschwindigkeit eine Taumelbewegung ausführt, sehen wir im Laufe der Zeit insgesamt 59 % der Mondoberfläche (Liberation s. <https://de.wikipedia.org/wiki/Libration>).

- Die Erhöhung des Bahndrehimpulses des Mondes führt nicht etwa zu einer Erhöhung seiner Bahngeschwindigkeit, sondern zu einer Vergrößerung des Erdabstandes (ca. 4 cm/a „Mondflucht“).
- Die Verringerung des Eigendrehimpulses der Erde ist die Ursache dafür, dass die Tageslänge im Laufe der Zeit zunimmt. Derzeit ist das zwar nur etwa 1 Sekunde in 100.000 Jahren, aber in erdgeschichtlich relevanten Zeiträumen spielt auch das eine Rolle. Der Tag der Dinosaurier war z.B. eine halbe Stunde kürzer als heute.
- Es gibt Hinweise darauf, dass die mit der variierenden Erde-Mond-Entfernung schwankenden Gezeitenkräfte sowohl Erd- als auch Mondbeben auslösen können.
- Was den Vulkanismus auf der Erde anbelangt, sind zumindest für Unterseevulkane statistische Zusammenhänge zwischen Ausbrüchen und Gezeiten nachgewiesen worden.
- Verlassen wir das System Erde-Mond und wenden uns dem Jupitermond Io zu. Bei ihm wurden besonders starke Gezeitenkräfte festgestellt, die dazu führen, dass sein Kern trotz relativ großem Sonnenabstand glutflüssig ist und eine intensive Vulkantätigkeit bewirkt. (**Bild 2**).
- Im Zusammenhang mit der Gezeitenreibung spielt die „Roche-Grenze“ eine wichtige Rolle (<https://de.wikipedia.org/wiki/Roche-Grenze>). Sie dient der Beurteilung der inneren Stabilität von einander umkreisenden Himmelskörpern unter dem Einfluss der entgegengesetzt wirkenden Gravitations- und Gezeitenkräfte. Die Roche-Grenze ist zum einen die Umlaufbahn eines kleineren um einen größeren Himmelskörper (z.B. Mond - Planet), außerhalb der die inneren Gravitationskräfte die Gezeitenkräfte dominieren. Innerhalb dieser Grenze überwiegen die Gezeitenkräfte und der kleinere Körper wird zerrissen. Eventuell sind die Planetenringe der Gasplaneten entstanden, als Monde innerhalb der Roche-Grenze zerstört wurden. Ein weiteres Beispiel ist das Auseinanderreißen von Kometen, die einem Planeten oder der Sonne zu nahekommen. Ein spektakuläres, gut dokumentiertes Ereignis war der Zerfall von Shoemaker-Levi 9 und der anschließende Einschlag auf dem Jupiter im Jahre 1994.
- Zum anderen ist die Roche-Grenze eine Grenze für die geometrische Form eines Himmelskörpers. In diesem Fall spricht man auch vom Roche-Volumen (<https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/roche-volumen/413>). Befindet sich der Körper innerhalb dieses Volumens, so ist er stabil. Diese Definition wird insbesondere verwendet, wenn sich zwei Sterne eng umkreisen und sich dabei durch die gegenseitige gravitative Wirkung verformen. Ein Beispiel ist das Umkreisen eines kompakten Sterns (z.B. eines weißen Zwerges) durch einen großen Stern in ausreichend geringem Abstand. Letzterer kann dann eine Tropfenform mit zum Partner ausgerichteter Spitze annehmen und Materie kann vom großen zum kompakten Stern hinüberfließen, wenn das Roche-Volumen des großen Sterns überschritten wird (**Bild 3** zeigt ein ähnliches Beispiel). Das tritt vor allen auf, wenn sich der große Stern gerade in einer Übergangsphase, z.B. zu einem Roten Riesen, befindet. In bestimmten Fällen kann sich dabei eine Supernova bilden. Wer an weitergehenden Details interessiert ist, findet sie u.a. in folgenden Quellen:



Bild 2 Vulkanismus auf Io
https://de.wikipedia.org/wiki/Vulkanismus_auf_dem_Jupitermond_Io

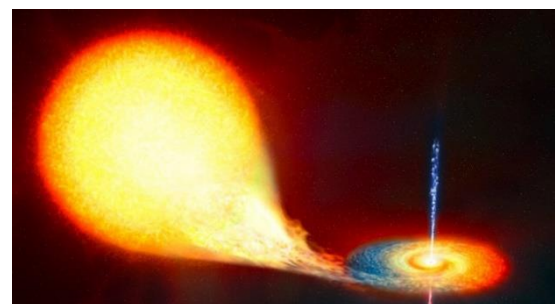


Bild 3 Künstlerische Darstellung eines Röntgendoppelsterns
<https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/nachrichten/2021/extragalaktischer-planet-entdeckt>

- <https://www.abenteuer-universum.de/diverses/roche.html>
- <https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/roche-volumen/413>

Die Gezeitenkräfte und die durch sie ausgelöste Gezeitenreibung haben also nicht nur Auswirkungen auf Ebbe und Flut und das Leben an der Küste, sondern sind Kräfte, die bei der Entwicklung des ganzen Universums eine wesentliche Rolle spielen.