

Die Differenz $\Delta g = 0.052 \text{ m/s}^2$ dieser Zahlenwerte ist allerdings größer als die Äquatorialbeschleunigung $a_{\ddot{A}q} = 0.031 \text{ m/s}^2$. Die unterschiedlichen Fallbeschleunigungen an den Polen sind deshalb nur teilweise auf die Wirkung der Zentrifugalkraft zurückzuführen (siehe hierzu auch Abschnitt 1.5.1). Die verbleibende Abweichung ist auf die Abweichung der Erde von der Kugelform zurückzuführen.³¹

Aus Abb. 1.57 liest man ab, daß ein Körper auf dem Breitengrad φ aufgrund der Erdrotation eine Kreisbahn mit dem Radius $R = R_E \cos \varphi$ durchläuft. Die resultierende Zentrifugalkraft $\mathbf{F}_{TZ}(\varphi)$ steht senkrecht auf der Erdachse und weist von der Achse weg. Für den Betrag von $\mathbf{F}_{TZ}(\varphi)$ gilt

$$F_{TZ} = m\omega^2 R = m\omega^2 R_E \cos \varphi = ma_{\ddot{A}q} \cos \varphi . \quad (1.7.19)$$

Selbst für eine idealisierte homogene Erdkugel ist deshalb die allein beobachtbare Überlagerung der Gravitationskraft $m\mathbf{g}_0$ und der Zentrifugalkraft \mathbf{F}_{TZ} nicht exakt auf den Erdmittelpunkt gerichtet.

Die Zentrifugalbeschleunigung a_{ES} aufgrund der Rotation der Erde um die Sonne erhält man in gleicher Weise zu

$$a_{ES} = \omega_{ES}^2 R_{ES} = \frac{4\pi^2}{T_{ES}^2} R_{ES} = \frac{4\pi^2 \cdot 1.5 \times 10^{11}}{(365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60)^2} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0.00578 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} . \quad (1.7.20)$$

Weiter erhält man durch die Rotation der Sonne um das Zentrum der Milchstraße³²

$$a_{SM} \simeq 10^{-7} a_{ES} . \quad (1.7.21)$$

Das Erde-Mond-System — die Gezeiten

Da die Masse der Erde nur etwa 80 mal so groß ist wie diejenige des Mondes, rotieren Erde und Mond um einen gemeinsamen Schwerpunkt S , der etwa $3/4$ des Erdradius vom Erdmittelpunkt entfernt ist (siehe Abb. 1.58), also noch innerhalb der Erde liegt. Es handelt sich dabei nicht um eine Drehung der Erde um eine Achse, die durch S geht, sondern, da Erde und Mond nicht starr miteinander verbunden sind, um eine reine Verschiebung, bei der der Erdmittelpunkt in $27 \frac{1}{3}$ Tagen eine Kreisbahn mit dem Radius $3/4 R_E$ um den Schwerpunkt S durchläuft. Alle anderen Punkte der Erde beschreiben ebenfalls Kreise mit Radius $3/4 R_E$, aber um andere Mittelpunkte.³³ Durch diese Kreisbewegung wird eine Zentrifugalkraft hervorgerufen, die in jedem Punkt der Erde gleich groß ist. Diese Kraft wirkt in Richtung der Verbindungslinie von Erdpunkt zu Mondmittelpunkt und ist auf den Mond gerichtet.

Ganz anders sieht es mit der Gravitationskraft des Mondes aus. Sie ist aufgrund der nicht zu vernachlässigenden Ausdehnung der Erde an verschiedenen Erdpunkten verschieden groß und wird nur im Erdmittelpunkt von der Zentrifugalkraft kompensiert. In Abb. 1.58b sind die in vier verschiedenen

³¹Die Erde ist ein abgeplattetes Rotationsellipsoid, wodurch der Abstand Pol-Erdmittelpunkt kleiner ist als der Erdradius am Äquator und dadurch die Gravitationskraft an den Polen auch bei ruhender Erde größer sein sollte als am Äquator. Diese Argumentation ist aber gefährlich, da bei einer extremen Abplattung zu einer diskusförmigen Scheibe die Gravitationskraft an den Polen im Gegenteil sogar ganz verschwinden würde. Eine genaue Rechnung für eine Kugel mit einer homogenen Masseverteilung zeigt allerdings, daß für den Fall der Erde die Fallbeschleunigung an den Polen tatsächlich bei einer kleinen Abplattung zuerst zunimmt um dann schließlich bei größeren Abplattungen wieder abzunehmen.

³²An dieser Stelle setzte **Einsteins** Überlegung an, daß eventuell die Schwerkraft nur eine Trägheitskraft ist, da wir ein falsches Bezugssystem benutzen.

³³Man spricht hier von Revolution ohne Rotation.

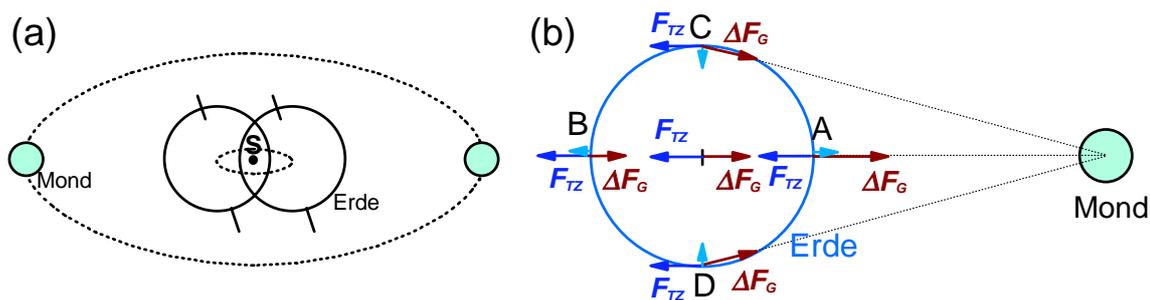


Abbildung 1.58: (a) Bewegung von Erde und Mond um ihren gemeinsamen Schwerpunkt. (b) Zur Erklärung der Gezeiten.

Punkten auf der Erdoberfläche und im Erdmittelpunkt wirkenden Gravitationskräfte und Zentrifugalkräfte gezeigt. In Punkt A überwiegt ΔF_G ,³⁴ während in Punkt B F_{TZ} überwiegt. In Punkt C und D ist die resultierende Kraft klein und zum Erdmittelpunkt hin gerichtet. Zwischen den Punkten C und D einerseits und A und B andererseits findet ein kontinuierlicher Übergang der Größe und Richtung der resultierenden Kraft statt. In diesen Zwischenpunkten besitzt die resultierende Kraft eine Tangentialkomponente, die in Richtung Äquator weist. Diese Komponente bewirkt eine Bewegung des Wassers in den Ozeanen in Richtung der Punkte A und B, wodurch dort Flutberge entstehen. In den Punkten C und D sowie im gesamten, senkrecht durch die Punkte C und D verlaufenden Erdmeridians herrscht dagegen Ebbe. Die Vertikalkomponente der resultierenden Kraft bewirkt eine elastische Verformung der Erde, d.h. ein Heben und Senken der Erdoberfläche um einige Dezimeter, wodurch sich eine kleine Zunahme der Erdbeschleunigung g an den Polen ergibt.

Aufgrund der Drehung des Mondes um die Erde und der Rotation der Erde um ihre eigene Achse verschiebt sich der oben beschriebene Zustand dauernd, so daß innerhalb eines Zeitintervalls von etwa 24 3/4 Stunden an einem Ort zweimal Ebbe und Flut eintritt.

³⁴ ΔF_G soll der Unterschied der Gravitationskraft an einem Punkt der Erdoberfläche und im Erdmittelpunkt aufgrund der unterschiedlichen Abstände zum Mittelpunkt des Mondes sein.