

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Gesammelte Werke

Schriften vermischten Inhalts

Hertz, Heinrich

Vaduz/Liechtenstein, 1987

10. Über die kontinuierlichen Ströme, welche die fluterregende Wirkung der Gestirne im Meere veranlassen muß

[urn:nbn:de:bsz:31-269592](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-269592)

10. Über die kontinuierlichen Ströme, welche die fluterregende Wirkung der Gestirne im Meere veranlassen muß.

Aus den Verhandlungen der physikalischen Gesellschaft zu Berlin.
Sitzung vom 5. Januar 1883.

Infolge der Reibung des Wassers der Meere in sich und am Grunde erscheint das Flutellipsoid, dessen Axe ohne das Vorhandensein der Reibung die Richtung gegen das fluterregende Gestirn oder eine zu dieser senkrechte Richtung besitzen würde, gegen die genannten Lagen um einen gewissen Winkel gedreht. Die anziehende Kraft des fluterregenden Gestirnes auf die Kuppen des Flutellipsoides giebt daher Anlaß zur Entstehung eines Kräftepaares, welches der Rotation der Erde entgegenwirkt. Die Arbeit, welche die stets rotierende Erde gegen dies Kräftepaar leistet, ist diejenige Energie, auf deren Kosten trotz der Reibung die Flut- und Ebbebewegung stetig unterhalten wird. Die Übertragung des zunächst an der Flüssigkeit angreifenden Kräftepaares an den festen Erdkern wäre indes unmöglich, wenn die Bewegung der Flüssigkeit gegen den Kern eine rein oscillierende wäre und das mittlere Meeresniveau mit dem mittleren Potentialniveau zusammenfiel; sie wird nur möglich dadurch, daß die Flüssigkeitsmasse beständig hinter dem rotierenden Kerne ein wenig zurückbleibt, oder dadurch, daß eine beständige Aufstauung über das Potentialniveau an den westlichen Küsten der Meere stattfindet, oder dadurch, daß eine Kombination beider Vorgänge eintritt. Ich habe versucht, aus der Theorie der Bewegung reibender Flüssigkeiten eine Schätzung der Art und Größenordnung der hier erregten Strömungen zu erhalten; das folgende ist das Resultat dieser Betrachtung. Es sei ein geschlossener Kanal

gegeben, es sei l die laufende Länge, L die ganze Länge desselben, h sei seine Tiefe, t die Zeit und T die Dauer des Tages. ζ bedeute die Abweichung des Wassers vom mittleren Niveau und es sei

$$\zeta = \zeta_0 \cos 4\pi \left(\frac{l}{L} - \frac{t}{T} \right)$$

eine halbtägige Flutwelle, welche den Kanal unter dem Einflusse eines Gestirnes durchlaufen würde, wenn auf denselben die Gleichgewichtstheorie in Anwendung gebracht werden könnte. Dann ist die wirklich stattfindende Flutwelle gegeben durch die Gleichung:

$$\zeta = \zeta_1 \cos 4\pi \left(\frac{l}{L} - \frac{t}{T} - \varepsilon \right),$$

wo

$$\operatorname{tg} 4\pi\varepsilon = \frac{kAL}{2\pi\mu h^2(gh - A^2)}$$

und

$$\zeta_1 = \frac{2\pi g\mu h^3}{kAL} \zeta_0 \sin 4\pi\varepsilon$$

ist. Hierin bedeutet k die Reibungskonstante des Wassers,

$$A = \frac{L}{T}$$

die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle, μ die Dichtigkeit des Wassers und g die Beschleunigung durch die Schwere. In der Rechnung sind Größen zweiter Ordnung vernachlässigt, unter anderem ist in der freien Oberfläche die tangential Druckkomponente gleich Null gesetzt für das mittlere Niveau, während sie doch Null ist für das wahre Niveau. Man findet, daß dieser Fehler zweiter Ordnung ausgeglichen wird, wenn man in der Oberfläche in der Richtung der fortschreitenden Welle eine Zugkraft τ angreifend denkt, deren Größe gleich dem Mittelwerte von $\mu\zeta X$ genommen über die Zeit ist, wenn X die Gravitationskomponente in Richtung des Kanales bezeichnet. Für die oben betrachtete Flutwelle wird

$$\tau = \frac{4\pi^2 \mu^2 g^2 \zeta_0^2 h^3}{kAL^2} \sin^2 4\pi\varepsilon = \frac{Ak}{h^3} \dots$$

Diese Zugkraft entspricht einer Strömung, welche den Kanal in gleicher Richtung wie die Flutwelle durchfließt, die vom Grunde bis zur Oberfläche gleichförmig zunimmt und an der Oberfläche die Geschwindigkeit

$$u = \frac{4\pi^2 h^3 g^2 \mu^2}{k^2 A L^2} \zeta_0^2 \sin^2 4\pi t = A \frac{\zeta_1^2}{h^2}$$

besitzt.

Wendet man dies auf die Erde an, so erkennt man, daß im allgemeinen der fortschreitenden Flutwelle eine Strömung in gleichem Sinne folgen muß; für einen in Richtung eines Breitengrades um die Erde gelegten Kanal wäre dies eine überall von Ost nach West gerichtete Strömung, für einen beliebig gelegenen Kanal eine solche Strömung, welche in der Nähe des Äquators von Ost nach West, in dem vom Äquator abgelegenen Teile entgegengesetzt gerichtet ist. Die Strömung ist im allgemeinen eine geringe, sie kann aber sehr merkliche Werte annehmen, wenn die Länge und Tiefe des Kanales solche sind, daß die Dauer der Eigenschwingung des Wassers in ihm gleich der Dauer des Tages ist, wo dann ohne Berücksichtigung der Reibung Ebbe und Flut unendliche Werte annehmen würden. Zur Erlangung numerischer Werte sind die angegebenen Formeln nicht geeignet, da die benutzten Differentialgleichungen nicht auf die Bewegung tiefer Gewässer anwendbar sind; in der That, setzt man für die Reibungskonstante denjenigen sehr kleinen Wert, welcher sich aus der Beobachtung an Kapillarröhren ergibt, so kommt man zu Fluten von widersinniger Höhe und Strömungen von widersinniger Heftigkeit, andererseits erhält man nur Strömungen von etwa 100 m in der Stunde, wenn man die Formel

$$u = A \frac{\zeta_1^2}{h^2}$$

benutzt und für ζ_1 Werte setzt, welche den thatsächlich beobachteten Fluten entsprechen.

A posteriori kann man aus der annähernd bekannten Größe der Flutreibung einen Schluss ziehen auf die Größenordnung der Ströme, welche die Gravitation veranlaßt. Die Erde bleibt in einem Jahrhundert 22 Sekunden hinter einem

richtigen Chronometer zurück.¹⁾ Um eine solche Verzögerung zu bewirken, muß an ihrem Äquator beständig eine Kraft angreifen von Osten gegen Westen gerichtet, von der GröÙe von 530 Millionen Kilogramm. Denken wir uns diese Kraft verteilt auf ein System von Küsten, welche parallel dem Meridian laufen, das Meer im Westen begrenzen und deren Gesamtlänge gleich einem Erdquadranten ist, so entfällt ein Druck von 53 Kilogramm auf jeden Meter dieser Küstenlänge, und um diesen Druck hervorzurufen, muß sich das Meer an diesen westlichen Küsten um 0,3 m über die Niveauläche des Potentials erheben, mit welcher es an den östlichen Küsten zusammenfällt. Sofern also die angegebene Verlangsamung der Erdrotation überhaupt ihren Ursprung in der Flutreibung hat, können wir schließeln, daß infolge der fluterregenden Wirkung der Gestirne Abweichungen des mittleren Meeresniveaus vom mittleren Potentialniveau von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ m verursacht werden und Strömungen von solcher Ordnung, wie die genannten Niveaudifferenzen sie erregen können. Ohne daß wir die GröÙe dieser Strömungen anzugeben vermöchten, können wir schließeln, daß sie sehr wohl an Stärke denjenigen ähnlich sein können, welche ihren Ursprung in Temperaturdifferenzen haben. Denn die Temperaturunterschiede können wohl Abweichungen des Meeresniveaus vom Potentialniveau bis zu mehreren Metern veranlassen, aber nur ein kleiner Teil dieser GröÙe wird überhaupt zu Strömungen Anlaß geben, und nur ein kleiner Teil dieses Teiles zu Strömungen, welche von Ost nach West gerichtet sind.

¹⁾ Nach THOMSON und TAIT, Theor. Phys. § 830.