

Paper-ID: VGI\_190630



## Die Entstehung von Ebbe und Flut

Karl Fuchs <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Preßburg*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen **4** (23–24), S. 363–367

1906

BibT<sub>E</sub>X:

```
@ARTICLE{Fuchs_VGI_190630,  
Title = {Die Entstehung von Ebbe und Flut},  
Author = {Fuchs, Karl},  
Journal = {{\u}sterreichische Zeitschrift f{\u}r Vermessungswesen},  
Pages = {363--367},  
Number = {23--24},  
Year = {1906},  
Volume = {4}  
}
```



den Verstorbenen zur Stätte des Friedens geleiten, so folgte seinem Sarge dennoch die Verehrung aller, die ihn kannten.

Denn den hohen Gaben seines Geistes war bescheidene Einfachheit, seiner zielbewußten Tatkraft Gerechtigkeit und wahre Herzensgüte gesellt.

Was Danzer unserem Stande war, was er für denselben gewirkt und dank der fördernden Unterstützung durch die maßgebenden Faktoren errungen, es lebt in unserer aller Gedächtnis.

Es ist für alle Zeiten geprägt in jenen Zahlen\*), die unseren Stand charakterisierten zur Zeit der Übernahme des Grundsteuerdepartements durch Danzer im Jahre 1891 und jenen bei der Übergabe des Departements an seinen Nachfolger im Jahre 1896.

Zum Gedächtnisse des Geschaffenen widmeten die Beamten der Evidenzhaltung des Grundsteuerkatasters ihrem damaligen Chef im Frühjahr 1895 ein Album als Zeichen tiefster Verehrung und Dankbarkeit und dankbarste Verehrung wollen wir auch dem Toten bewahren in treuem Gedenken!

Wien, im November 1906.

E. Engel.

## Die Entstehung von Ebbe und Flut.

Von Prof. Karl Fuchs (Preßburg).

Wenn ein Physiker mit einem Techniker zusammenkommt, muß er immer auf eine gewisse kleine Gruppe von Fragen gefaßt sein. Eine der ersten Stellen unter diesen Fragen nimmt die Frage nach dem Ursprung von Ebbe und Flut ein. Das beweist, daß die Professoren der Hochschulen wohl große Gelehrte, aber nicht Psychologen und Pädagogen sind. Die folgende Darstellung ist vielleicht klar.

1. Der Techniker beginnt die Darstellung seiner Bedenken immer folgendermaßen: Wenn die Erde hier steht und der Mond links von ihr steht, dann wird der Mond offenbar alles Wasser nach links ziehen. Die linke Erdhälfte hat dann Flut, die über alle Continente geht und die rechte Erdhälfte hat dann Ebbe, die das Meer trocken legt. Die Flut muß also einseitig sein.

Der Techniker hat mit diesen Bedenken vollkommen recht; auf einer stehenden Erde kann nur eine einseitige Flut, u. zw. eine ungeheuer große Flut entstehen. Die zweipolige Flut, wie sie auf unserer Erde vorhanden ist, ist aber auch nicht eine Erscheinung einer stehenden, sondern eine Erscheinung einer fallenden Erde. Um das klar zu machen, wollen wir zuerst annehmen, die Erde — ohne Mond — siele aus unendlicher Ferne direkt in die Sonne; es soll gezeigt werden, wie dann während des Fallens auf der Erde eine zweipolige Flut entstehen muß, weil die Sonne die vorderen Teile der Erde stärker, die hinteren Teile aber schwächer anzieht, als die mittleren Teile

\*) Rangsklasse VI, VII, VIII, IX, X, XI Eleven

1891	—	2	9	80	95	174	18
1896	4	12	87	107	104	85	30

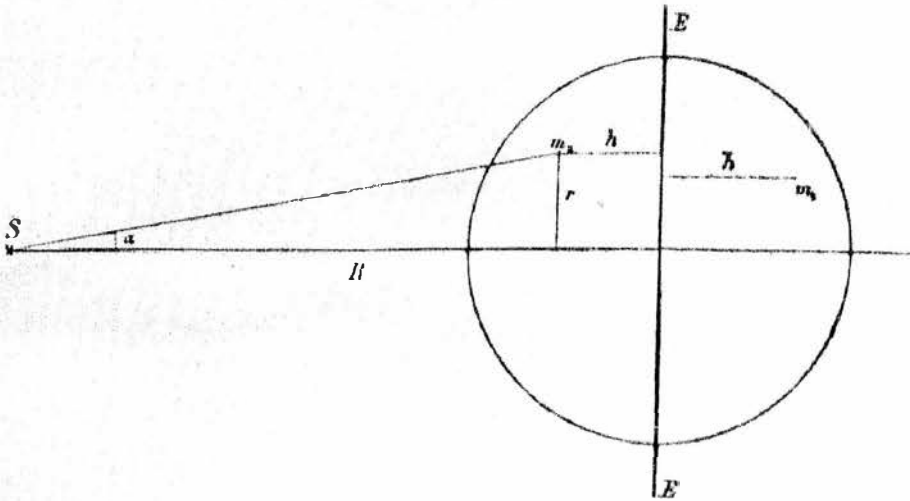
und so die Erde gewissermaßen streckt und so die zwei Flutpole im Sonnenvektor erzeugt.

Sodann soll darauf aufmerksam gemacht werden, daß die Erde auch dann, wenn sie in konstantem Abstand  $R$  um die Sonne kreist, eigentlich fortwährend gegen die Sonne fällt. Wenn nämlich in irgend einem Momente die Sonne aufhörte, die Erde anzuziehen, würde die Erde, ihrer Trägheit folgend, in der Richtung der Tangente geradlinig mit unveränderter Geschwindigkeit weiter fliegen. Dadurch würde sie sich aber erst unmerklich, dann immer schneller von der Sonne entfernen. Um wie viel sich nun die Erde, ihrer Trägheit folgend, in einer Sekunde von der Sonne entfernen würde, um genau so viel fällt sie als freier Körper unter der Anziehung der Sonne in radialer Richtung gegen die Sonne und bleibt infolge dieser doppelten Bewegung durch Trägheit und Anziehung stets in derselben Entfernung  $R$  von der Erde.

Endlich soll dann darauf hingewiesen werden, daß eigentlich nicht der Mond um die Erde, sondern sowohl der Mond, als auch die Erde je in einer Kreisbahn um den Systemschwerpunkt kreisen; dabei haben Mond und Erde immer entgegengesetzte Stellung zum Systemschwerpunkt. Indem sie einander anziehen, bewegt sich jeder Körper so, als würde er vom Systemschwerpunkt angezogen. Es wiederholt sich nun das von Sonne und Erde gesagte. Beide, Erde und Mond, würden der Trägheit folgend tangential fliegen; infolge der gegenseitigen Anziehung fällt aber fortwährend der Mond (als freier Körper) gegen die Erde, die Erde (als freier Körper) gegen den Mond oder einfacher gesagt, beide gegen den Systemschwerpunkt und bleiben dadurch in ihren Kreisbahnen.

2. Einleitungsweise soll ein paradoxer Fundamentalsatz der Mechanik erläutert werden. Denken wir uns, vom ganzen Sonnensystem bestände nur die Erde und diese stünde ruhig an einer Stelle. Nun nehmen wir an, daß plötzlich auf die Erde eine Kraft nach links wirkt, die auf jede Masseneinheit der Erde mit genau derselben Intensität wirkt. Dann wird die Erde sofort in Bewegung nach links kommen und wenn die Kraft sehr stark ist, wird die Erde wie mit einem Ruck, wie geschossen nach links fliegen. Die Mechanik lehrt nun, daß auf der Erde selbst nicht die mindeste Erscheinung oder Veränderung eintreten würde, die das Auftreten dieser Kraft verriete; nichts wird wanken, nichts wird sich neigen, nichts verschieben; alles wird auf Erden genau so weiter laufen, als wäre nichts geschehen; kein Pendel, kein Lot würde seine Richtung ändern, kein Wasserspiegel schwanken. Die Kraft kann plötzlich oder allmählich ihre Intensität oder ihre Richtung beliebig ändern; die Erde wird dadurch im Raume vielleicht tanzen; aber nicht die mindeste irdische Erscheinung würde es verraten, daß die Erde nicht mehr ruhig steht. Das kommt daher, weil jedes Molekül der Erde genau dieselben Verschiebungen erleidet, wie jedes anderes Molekül. Daß man in einem Eisenbahnwaggon sehr wohl merkt, wenn der Zug schneller oder langsamer zu fahren beginnt, das kommt daher, daß die Lokomotive nur auf die Rahmen der Waggons wirkt, nicht aber auch auf Kopf und Fuß und Magen der

Reisenden wirkt und nicht auf die Gepäckstücke in den Netzen. Was wir empfinden, ist die Verschiedenheit der Kräfte, die einerseits auf uns, anderseits auf das Wagengestell wirken. Eine solche Verschiedenheit ist aber in jenem Bilde von der Erde ausdrücklich nicht angenommen.



3. Wir betrachten nun die aus unendlicher Entfernung in die Sonne fallende Erde. Eine Masseneinheit im Mittelpunkt der Erde wird von der Sonnenmasse  $M$  im Abstände  $R$  nach dem Gravitationsgesetz mit der Kraft  $K_0 = \frac{GM}{R^2}$  angezogen, wo  $G$  die Gravitationsconstante ist. Wenn jede Masseneinheit der Erde mit derselben Kraft  $K_0$  angezogen würde, dann verriete nicht die mindeste irdische Erscheinung das Dasein dieser äußeren Kraft und es entstände auch keine Flut. Nun werden aber die verschiedenen Masseneinheiten der Erde von der Sonne mit verschiedenen Kräften angezogen. Die näheren Punkte mit größerer, die entfernten Punkte mit kleineren Kraft. Wir wollen durch den Erdmittelpunkt eine Ebene  $E$ , die Hauptebene, normal zum Sonnenvektor legen, so daß die Erde dadurch in zwei Halbkugeln geteilt wird. Eine Masseneinheit  $m_1$  der hinteren Halbkugel im Abstand  $h$  von der Hauptebene hat den Sonnenabstand  $R + h$  und erleidet also durch die Sonne nur die Anziehung  $\frac{GM}{(R + h)^2}$ , wofür wir kürzer angenähert schreiben können:

$$\frac{GM}{(R + h)^2} = \frac{GM}{R^2 \left(1 + \frac{h}{R}\right)^2} = \frac{GM}{R^2} \left(1 - \frac{h}{R}\right)^2 = \frac{GM}{R^2} - \frac{2GM}{R^2} \cdot h \dots 1)$$

Das sind also zwei Kraftkomponenten. Eine Masseneinheit  $m_2$  der vorderen Halbkugel im Abstand  $h$  von der Hauptebene hat aber den Sonnenabstand  $R - h$  und erleidet die angenäherte Anziehung

$$\frac{GM}{(R - h)^2} = \frac{GM}{R^2 \left(1 - \frac{h}{R}\right)^2} = \frac{GM}{R^2} \left(1 + \frac{h}{R}\right)^2 = \frac{GM}{R^2} + \frac{2GM}{R^2} \cdot h \dots 2)$$

Nach dieser Zerlegung erleidet also jede Masseneinheit der Erde zwei Kraftkomponenten. Erstens erleidet jede Masseneinheit der Erde dieselbe Anziehung

$$K_0 = \frac{GM}{R^2} \dots \dots \dots 3)$$

durch die Sonne; das ist aber dieselbe Anziehung, die auch eine Masseneinheit im Erdmittelpunkt erleidet. Wir haben aber oben eingehend besprochen, daß eine solche für alle Masseneinheiten gleiche Kraft auf der Erde gar keine Erscheinungen veranlaßt und sich auf Erden durch gar nichts verrät; ihre Wirkung besteht nur darin, daß die Erde immer schneller und schneller fällt, aber auf Erden wird dies durch gar nichts merklich, durch keine irdische Erscheinung.

Die zweite Kraftkomponente, die auf eine Masseneinheit  $m_1$  der vorderen Halbkugel wirkt, ist laut 2) eine anziehende Kraft, die also die Masseneinheit  $m_1$  von der Hauptebene entfernen will. Die zweite Kraftkomponente aber, die auf eine Masseneinheit  $m_2$  der hinteren Halbkugel wirkt, hat laut 1) das negative Vorzeichen, entspricht also einer abstoßenden Kraft der Sonne, die also  $m_2$  ebenfalls von der Hauptebene entfernen will. Diese beiden sekundären Komponenten:

$$K_2 = + \frac{2GM}{R^3} \cdot h \quad K_1 = - \frac{2GM}{R^3} \cdot h \dots \dots \dots 4)$$

sind einerseits gegen die gemeinsame Anziehungskraft  $K_0$  sehr klein, andererseits sind sie gegen den Abstand  $h$  von der Hauptebene proportional. Die Wirkung der Sonne auf die fallende Erde können wir also folgendermaßen charakterisieren:

1. Die Sonne zieht jede Masseneinheit der Erde mit der gleichen Kraft  $K_0 = \frac{GM}{R^2}$  an; diese Kraft hat nicht die mindeste irdische Erscheinung zur Folge und beschleunigt nur den Fall der Erde.

2. Die Ungleichheiten in der Anziehungskraft der Sonne sind von der Art, als säße in der Hauptebene eine Kraft, die jede Masseneinheit der Erde mit der den Normalabstand  $h$  proportionalen Kraft

$$K = \frac{2GM}{R^3} \cdot h$$

abstößt. Diese Kraft ist im Vergleich zur gemeinsamen Anziehungskraft  $K_0$  sehr klein und sie trachtet die Erde längs des Vektors zu strecken.

Diese sehr kleine, streckende Komponente der Sonne ist es nun, die die Flut erzeugt; das Wasser wird von der Hauptebene abgestoßen und sammelt sich in den zwei Flutpolen im Vektor, d. h. in dem von der Hauptebene entferntesten Punkte. So entsteht die zweipolige Flut.

Wir ersehen daraus: Die Anziehungen der Sonne an sich sind es nicht, was die Flut erzeugt; nur die sehr geringen Abweichungen  $K$  von der gemeinsamen Anziehung  $K_0$  erzeugen die Flut, also die Beträge, um die die Anziehungen in der vorderen Halbkugel größer, in der hinteren Halbkugel kleiner sind, als im Erdmittelpunkt. Mit der Flut verhält es sich also ähnlich, wie mit

den indizierten elektrischen Strömen. Wie auch der stärkste elektrische Strom an sich gar keinen Strom indiziert, so erzeugt auch die stärkste gemeinsame Sonnenanziehung  $K_0$  gar keine Flut; wie aber die Schwankungen auch des schwächsten elektrischen Stromes einen Strom indizieren, so erzeugen die Verschiedenheiten auch der schwächsten Sonnenanziehung eine Flut.

4. Die Korrektionskräfte  $K$  erklären aber nur zwei Drittel der Fluthöhe und das dritte Drittel hat eine ganz und gar andere Ursache. Es ist mir immer unbegreiflich gewesen, wie die Bücher aus der einen Ursache die volle Fluthöhe berechnen können und doch ist das letzte Drittel viel leichter nachzuweisen, als die beiden ersten. Betrachten wir etwa die Masseneinheit  $m_2$ . Sie erleidet genügend genau die Anziehung  $K_0 = \frac{GM}{R^2}$ . Sie erleidet sie aber nicht in der Richtung des Vektors  $R$ , sondern mit einer Neigung  $\alpha$  gegen den Vektor. Dieser Winkel  $\alpha$  ist allerdings sehr klein und wenn  $r_2$  der Abstand der Masseneinheit  $m_2$  vom Vektor  $R$  ist, dann gilt angenähert  $\sin \alpha = \frac{r}{R}$ . Die auf  $m_2$  wirkende Anziehung  $K_0$  hat also in der Richtung des Vektors  $R$  eine Komponente  $K' = K_0 \cos \alpha$ , die wir wegen der Kleinheit von  $\alpha$  gleich  $K_0$  setzen können; in der Richtung des Normalabstandes  $r_2$  aber hat  $K_0$  die Komponente  $K'' = K_0 \sin \alpha$  oder:

$$K'' = \frac{GM}{R^2} \cdot \frac{r}{R} = \frac{GM}{R^3} \cdot r$$

Diese Resultate können wir folgendermaßen ausdrücken.

1. Die gemeinsame Anziehung  $K_0$  wirkt auf alle Masseneinheiten mit derselben Intensität  $K' = K_0$  parallel den Vektor.

2. Die gemeinsame Anziehung  $K_0$  gibt aber auch eine Komponente  $K''$  normal zum Vektor, als zöge der Vektor jede Masseneinheit der Erde mit der dem Normalabstand  $r$  proportionalen Kraft  $K'' = \left(\frac{GM}{R^3}\right) \cdot r$  an.

Diese Komponente will also die Erde gewissermaßen schnüren und wir können sie die schnürende Kraft nennen. Sie hat zur Folge, daß das Wasser aus dem Dämmerungskreise der Erde gegen den Vektor strömt und dort eine zweite Flut erzeugt, die mit der ersten zusammenfällt, aber nur halb so groß ist. Diese zweite Flut, die doch viel leichter zu verstehen ist, wird auffallenderweise in den Lehrbüchern vollkommen ignoriert.

Jetzt ist die Flut für eine fallende Erde bewiesen. Da nun die Erde fortwährend sowohl gegen die Sonne, als auch gegen den Mond fällt, haben wir auf Erden sowohl eine Sonnenflut, als auch eine Mondflut.

Der Grundgedanke der Flutbildung sei nochmals hervorgehoben: Die direkte Anziehung des Mondes auf die Teile der Erde erzeugt nicht die Flut; die Flut entsteht ausschließlich durch Anziehungsdifferenzen.