

Ueber Ebbe und Fluth.

Von

DR. TH. OPPOLZER.

Vortrag, gehalten am 23. December 1867.

Der heutige Vortrag ist der Erklärung eines der interessantesten Phänomene, die uns das Meer bietet, gewidmet, nämlich der Zurückführung des regelmäßigen Hebens und Senkens des Meeres-Niveau auf das allgemeine Attractionsgesetz. Die Erscheinung kann man unter dem Namen „die Gezeiten“ zusammenfassen, oder indem man die Hauptmomente des Fallens und Hebens hervorhebt, als „Ebbe und Fluth“ bezeichnen. Der erstere Namen ist dem niederdeutschen Dialecte entnommen, empfiehlt sich aber zur Aufnahme in die Schriftsprache, da derselben eine einheitliche Bezeichnung für das Phänomen überhaupt fehlt. Ein kurzer historischer Rückblick dürfte nicht unangemessen sein. Den alten Römern und Griechen war von der Erscheinung wenig bekannt, hauptsächlich aus dem Grunde, weil sie an einem Meere wohnten, in welchem sich die Erscheinung wenig auffällig zeigt. Den Gelehrten der damaligen Zeit entgingen aber die geringen Schwankungen des Meeres-Niveau nicht; ja wir finden sogar Versuche, dieselben zu erklären, die allerdings nur als eine dunkle Ahnung des Zusammenhanges der Himmelkörper mit der Erde betrachtet werden können, wenn man bedenkt, dass das Attractions-Gesetz damals noch nicht bekannt war. So be-

richtet Plutarch, dass Phytheas von Massilia, dem heutigen Marseille, behauptet habe, Ebbe und Fluth werde durch den Mond veranlasst, eine Erklärung, die der Hauptsache nach auch jetzt als die richtige erkannt ist. Nicht alle Philosophen des Alterthums aber waren so glücklich in der Erklärung. So sagt man von Aristoteles, dass er nicht im Stande gewesen wäre, die Erscheinung der Ebbe und Fluth zu erklären, und dass er sich darüber zu Tode gegrämt habe. Dass diesem so erfahrenen Griechen der Zusammenhang mit dem Monde entgangen ist, ist leicht erklärlich, da am Euripus, wo das Wasser sich vielfach staut, eben diese Störungen den regelmässigen Ablauf des Phänomens stören. Besser bekannt wurde die Erscheinung, als durch den Zug Cäsars nach Gallien und Britannien die Römer den atlantischen Ocean zu Gesichte bekamen, wo insbesondere im Canal la Manche dieselbe sehr mächtig hervortritt. Im Mittelalter war die Kenntniss von der Existenz der Ebbe und Fluth wohl ziemlich verbreitet; allein da damals die Naturwissenschaft überhaupt im Argen lag, wurde darüber keine nähere Erklärung gesucht, oder solche auf die leichtsinnigste Weise gegeben. Man liess die Erde zu einem ungeheuren Thiere anwachsen, welches täglich zwei Respirationen macht, beim Einathmen das Wasser an sich saugt, und beim Ausathmen wieder von sich gibt und so das Zurückgehen und Anschwellen des Wassers bewirkt. Man war auch nicht in Verlegenheit, das Respirations-Loch anzugeben;

als solches wurde der Maelstrom an der norwegischen Küste bezeichnet, über welchen von norwegischen Seefahrern abenteuerliche Gerüchte in Umlauf gebracht worden waren. Als aber durch Baco von Verulam die inductive Naturforschung in Aufschwung kam, genügten bald solche unsinnige Erklärungen nicht, und Newton, dem die Naturwissenschaft so viel verdankt, gebührt auch das Verdienst, zuerst den richtigen Weg gezeigt und die in Rede stehende Erscheinung in den allgemeinsten Umrissen erklärt zu haben.

Nach diesem kurzen geschichtlichen Rückblick können wir auf die nähere Betrachtung der Erscheinung selbst eingehen. Dieselbe wickelt sich keineswegs so einfach und regelmässig ab, als man auf den ersten Augenblick vermuthen sollte. Bald sind die absoluten Maxima, bald die absoluten Minima des Wasserstandes verschieden; bald sind die Zwischenzeiten der beiden Maxima und beiden Minima oder zwischen einem Maximum und einem Minimum verschieden. Kurz, bei näherer Betrachtung complicirt sich das Phänomen auf die mannigfaltigste Weise und es wäre Gefahr vorhanden, sich in diesen Complicationen zu verirren. Demnach wird es zweckmässig sein, bei der vorliegenden Darstellung den umkehrten Weg der inductiven Forschung einzuschlagen, zuerst die Theorie (die theoretische Erklärung) zu geben und aus den verschiedenen Combinationen dann die Complicationen abzuleiten. Bei einem populären Vortrage kann dieser Weg gestattet sein, weil es selten Auf-

gabe des Vortragenden ist, die Hörer auf neue Wege zu leiten, als vielmehr sie mit den Errungenschaften der Wissenschaft, so weit sie als eine feste Basis betrachtet werden können, vertraut zu machen. Es ist so auch Pflicht des Vortragenden, das positiv Gewisse von dem hypothetischen zu trennen, damit nicht etwas Hypothetisches als wahr aufgenommen werde, was bei später geläuterter Ansicht sich vielleicht als unrichtig darstellt. Sie werden daher meinen Vortrag keineswegs dogmatisch finden, eher vielleicht schwankender, als es sonst bei astronomischen Vorträgen der Fall ist; die Ursache davon liegt in der gerechten Furcht von meiner Seite, etwas als absolut sicher mitzutheilen, was strenge genommen nur hypothetisch ist, wie ja die Grundlagen der Naturwissenschaft überhaupt mehr oder minder hypothetischer Natur sind. Man begnügt sich meistentheils, die Erscheinungen zurückzuführen auf die Wirkung der Kräfte, die in ihrer Wirkungsweise möglichst einfach sind. Die Kraft ist aber keine Erklärung; sie ist nur ein Bild der Erscheinungen, und das Zusammenwerfen des Bildes und der Erklärung hat zu vielfachen Missverständnissen Veranlassung gegeben. So hat man z. B. die Kraft, welche wir heute zur Erklärung der Ebbe und Fluth benützen werden, die Attractionskraft, bemängelt, sogar lächerlich gemacht, indem man sagte, es sei gar nicht denkbar, dass zwei Körper ohne Zuhilfnahme von Stricken, Ketten, Seilen u. s. w. sich anziehen können. Diesen Einwürfen kann man wenig entgegen-

setzen, da sie nur auf die Erklärung der Kraft hinielen, aber keineswegs das Bild der Kraft alteriren; anders ist das Verhältniss, wenn Einwürfe gegen das Bild der Kraft gerichtet werden. Diese kann man nicht mit Stillschweigen übergehen. Ich will das Bild der Kraft, der Attractions-Kraft, wie es Newton aufgestellt hat, zuerst hinstellen, um die weitem Erläuterungen daran zu knüpfen.

Newton sagt: Wir sind im Stande, die Bewegungen der Himmelskörper zu erklären, wenn wir annehmen, dass sich diese Körper gegenseitig anziehen, und zwar proportional ihren Massen und umgekehrt dem Quadrate proportional der Entfernung. Ich werde ihnen nun die Gründe anführen, die uns berechtigen, anzunehmen, dass dieses von Newton gegebene Bild der Attractions-Kraft richtig ist. Das Attractions-Gesetz erklärt nicht nur die Bewegung der Himmelskörper in den allgemeinsten Umrissen, sondern auch bis in die kleinsten Details. Gäbe es nur einen Planeten, der sich um die Sonne bewegen würde, so würde diese Bewegung streng nach den Kepler'schen Gesetzen vor sich gehen. Nun gibt es aber mehrere Planeten, die vermöge ihrer Massen auf einander wirken und sich gegenseitig aus ihrer normalen Bahn herauszuziehen trachten. Dies hat Abweichungen von den erwähnten Gesetzen zur Folge, die man mit dem Namen der „Störungen“ bezeichnet. Erst der verfeinerten Analyse der Gegenwart ist es gelungen, mit Hilfe des Attractions-Gesetzes alle diese Störungen

theoretisch zu berechnen. So hat Hansen bei der Bearbeitung seiner Mondtafeln mehrere Hundert solcher Störungsglieder berechnet und es zeigten sich seine Berechnungen in vollkommener Uebereinstimmung mit der Wirklichkeit.

Doch die glänzendste Bestätigung der Richtigkeit des Attractions-Gesetzes ist wohl die theoretische Entdeckung des Neptuns durch Le Verrier und gleichzeitig durch Adams auf Grundlage von Störungen, die an der Uranus-Bahn bemerkt wurden. Der Uranus wurde bekanntlich durch Herschel als Planet erkannt, obwohl er schon früher von andern (Flamstead, Bradley, Mayer, Le Monnier) beobachtet worden war. Bouvard ist bei der Bearbeitung dieses Planeten auf unerwartete Schwierigkeiten gestossen. Es gelang nämlich nicht, durch die theoretisch berechneten Störungen die Bahn den Beobachtungen selbst innerhalb der zulässigen Beobachtungs-Fehler anzuschliessen. Es wurden vielfache Versuche gemacht, diese Discordanz zu erklären; ja man ging so weit, an der strengen Richtigkeit des Attractions-Gesetzes überhaupt zu zweifeln. So stellte unser berühmter deutscher Astronom Bessel die Vermuthung auf, dass möglicher Weise materiell verschiedene Körper verschiedene Anziehung auf einander äussern, und hat zur Rechtfertigung dieser Vermuthung ausführliche, sehr mühsame und genaue Versuchs-Reihen angestellt, die aber schliesslich nur eine neue Bestätigung der Richtigkeit des Attractions-Gesetzes ergaben. Es widerrief deshalb Bessel selbst seine Er-

klärung und stellte die Vermuthung auf, es wäre möglich, dass ein Planet ausserhalb der Uranus-Bahn die Störungen des Uranus erklären könnte. Weshalb Bessel den störenden Planeten ausserhalb der Uranus-Bahn annahm, ist leicht einzusehen: wäre er innerhalb der Uranus-Bahn, so würde dieser Planet den Bahnen des Jupiter und des Saturn sich nähern, und daher auch diese beiden Planeten beträchtlich in ihrer Bahn stören; man hat aber bei der Berechnung der Jupiter- und Saturnus-Tafeln keine derartige Discordanz gefunden. Ist aber der störende Planet ausserhalb der Uranus-Bahn, so bleibt er hinlänglich weit von dem Jupiter und Saturn entfernt, so dass seine störende Einwirkung auf die letztgenannten ziemlich unbedeutend ist und mit den unvermeidlichen Beobachtungsfehlern sich vermischt. Doch war es Bessel nicht mehr gestattet, dem Lorbeerkranze seiner Entdeckungen ein weiteres Blatt hinzuzufügen; der Tod entriss ihm der Wissenschaft. Mehrere Jahre nach dem Tode Bessels machten sich Le Verrier in Paris und Adams in Cambridge in England unabhängig von einander an die Arbeit und versuchten den Ort des störenden Planeten aus den Störungen des Uranus zu berechnen, eine ungeheuer schwierige und complicirte Anwendung des Attractions-Gesetzes. Nach mehrjährigen Rechnungen kam man zu dem gewünschten Resultate, dass in der That die Annahme eines Planeten ausserhalb der Uranus-Bahn die Discordanzen in derselben erkläre. Le Verrier zauderte nicht mit der

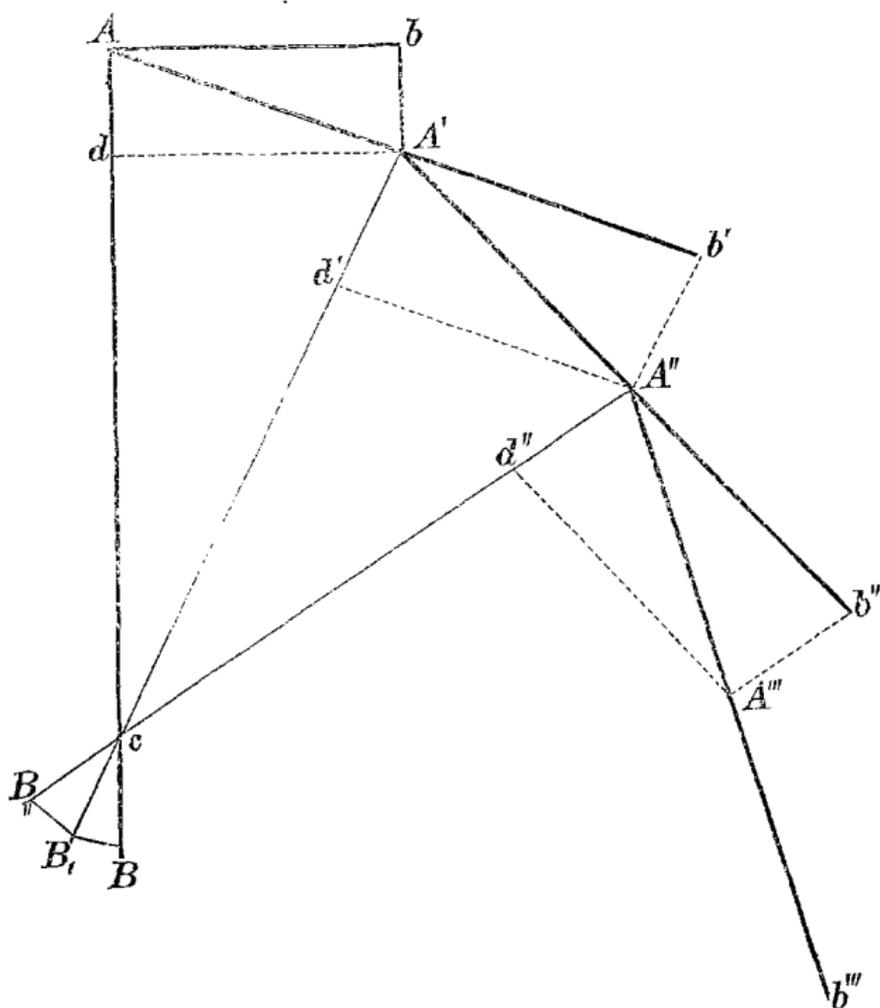
Veröffentlichung der Resultate, während Adams noch damit zurückhielt. Der erstere theilte dieselben Encke, dem Director der Berliner Sternwarte, mit, nebst der Angabe des Ortes und der Grössen-Verhältnisse des berechneten Planeten und schon in der ersten Nacht der Nachforschung fand ihm Professor Galle, damals Adjunct an der Berliner Sternwarte, unweit von dem berechneten Orte als einen Stern achter Grösse. Eine glänzendere Bestätigung des Attractions-Gesetzes kann wohl nicht verlangt werden; wenn ich noch weiter bemerke, dass die Gesetze des freien Falles der Körper auf der Erdoberfläche ebenfalls in schönster Uebereinstimmung mit dem Attractions-Gesetze stehen, dass alle astronomischen Beobachtungen und Berechnungen, die bekanntlich an Genauigkeit nichts zu wünschen übrig lassen, und deren Genauigkeit sogar sprichwörtlich geworden ist, bisher noch keine Abweichung von der Wahrheit dieses Gesetzes haben erkennen lassen, so werden wohl die meisten meiner Zuhörer damit einverstanden sein, wenn ich sage, das Bild des Attractions-Gesetzes können wir als richtig annehmen.

Nachdem ich nun das Attractions-Gesetz so weit begründet habe, wird es nicht schwer sein, mit Hilfe einiger kleinen Vorbereitungen aus demselben die Erscheinung, die Ebbe und Fluth, zu erklären. Vorher muss ich einiges über die Bewegung der Planeten erwähnen.

Die Bewegungen der Himmelskörper um einander sind gegenseitig, d. h. der Ausdruck: die Erde bewegt

sich um die Sonne, ist in volier Strenge nicht richtig, sondern Sonne und Erde bewegen sich um ihren gemeinsamen Schwerpunkt. Da aber die Sonne eine beträchtliche überwiegende Masse im Verhältniss zu der Erde hat, so liegt dieser Schwerpunkt dem Sonnenzentrum sehr nahe und die Bewegung der Sonne wird eine sehr geringe sein. In dieser Rücksicht kann der Sprachgebrauch im Allgemeinen als gerechtfertigt erscheinen; für uns jedoch ist es wesentlich, diese gegenseitige Bewegung hervorzuheben, weil die Erde in Bezug auf den Mond der Centrankörper ist und ebenfalls der Mond sich nicht um die Erde, sondern beide sich um ihren gemeinsamen Schwerpunkt bewegen. Die Bewegung eines Himmelskörpers kann man sich, wenn man das Attractions-Gesetz zu Hilfe nimmt, zusammengesetzt denken aus einer lateralen, dem Körper schon eigenthümlichen, und aus einer gegen den Schwerpunkt hin gerichteten, die durch die Attractions-Kraft bewirkt wird. A sei ein Körper, der von B angezogen wird, bei C der gemeinsame Schwerpunkt, A hat eine laterale Bewegung in der Richtung nach b , während gleichzeitig derselbe durch die Attraction in der Richtung des Schwerpunktes nach d hingezogen wird. Würden die beiden Bewegungen, jede für sich, wirken, so wäre der Körper in einer bestimmten Zeiteinheit im ersten Falle in b , im letzten in d . Da sie nun aber gleichzeitig ihre Wirkung äussern, so ist die nothwendige Folge davon, dass am Schlusse dieser Zeiteinheit der Körper in A'

sich befindet. Der Körper wird nun vermöge seiner Trägheit die Richtung seiner Bewegung AA' beizubeh-

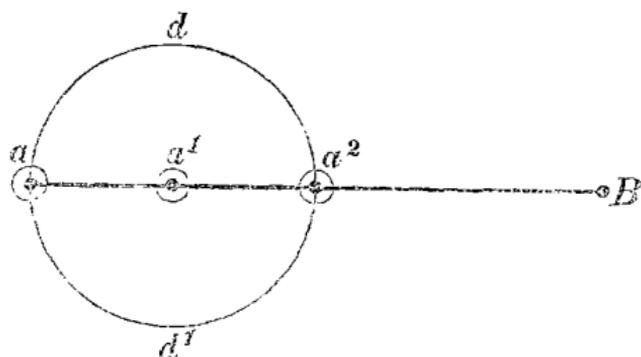


halten streben; er wird sich in derselben Richtung fortzubewegen suchen und am Schlusse einer weitem

Zeiteinheit würde er demnach, wenn diese Bewegung die allein wirksame wäre, in b' sich befinden. Da nun aber wieder die Attraction gegen C hin in derselben Weise wie früher wirkt, also den Körper A von A' nach d' zu ziehen trachtet, so ergibt sich abermals das Resultat, dass der Körper am Schlusse der Zeiteinheit nicht in b' oder in d' , sondern in A'' sich befinden wird. In gleicher Weise wirken die laterale Bewegung und die Attractions-Kraft weiter; es bildet sich wieder ein Kräften-Parallelogram und am Schlusse der dritten Zeiteinheit wird der Körper in A''' sich befinden. Wenn man die Zeittheilchen unendlich klein annimmt, so wird natürlich die Bewegung gleichmässig in einer Curve zu Stande kommen.

Die laterale Bewegung nun ist für den vorliegenden Vortrag von keinem weitem Interesse, wohl aber die centrale, die gegen den Schwerpunkt hin gerichtete, und die eben abgethane Deduction soll nur die Begründung des Satzes sein, dass die Körper das Bestreben haben, fortwährend gegen einander zu fallen (einander anzuziehen). Betrachten wir nun drei Körper, a , a^1 und a^2 , die sich in einer geraden Linie mit einem anziehenden Körper befinden. Nach dem schon erwähnten Gesetze, dass die Anziehung umgekehrt sich verhält wie die Quadrate der Entfernungen, wird der Körper a , der weiter entfernt ist von B als der Körper a^1 , weniger stark angezogen und demnach langsamer gegen B fallen als a^1 und dasselbe findet mit a^1 und a^2 statt. Nach Verlauf einer gewissen

Zeit wird die Entfernung unter diesen Körpern nicht mehr dieselbe sein wie früher, sondern: a^2 ist schneller gegen B gefallen als a^1 , und ebenso ist a wieder gegen a^2 zurückgeblieben. Die Folge davon ist, dass sich die Körper von einander entfernen.



Schaltet man nun zwischen a und a^2 eine Kugel ein, so wird diese mit allen ihren Theilen gleich schnell gegen B fallen, und zwar mit einer Geschwindigkeit, die dem Mittelpunkte der Kugel, also a^1 , entspricht. Denkt man sich diese Kugel mit einer tropfbaren Flüssigkeit, mit Wasser, umgeben, so wird das Wasser, welches sich bei dem Punkte a^2 befindet, von B angezogen werden und mit einer Geschwindigkeit gegen B zu fallen trachten, die grösser ist, als die Geschwindigkeit der unmittelbar darunter befindlichen Oberfläche der Kugel. — Denn diese fällt nur mit der Geschwindigkeit des Mittelpunktes (a^1) gegen B , während a^2 viel näher an B ist und mithin rascher dahin zu fallen sucht. An der entgegengesetzten Seite der Kugel wird das Verhältniss ähnlich sein. Die Wassertheilchen bei a werden langsamer gegen B hin

fallen als die unmittelbar darunter liegende Oberfläche, weil die ersteren nur mit der Geschwindigkeit von a , letztere aber mit der Geschwindigkeit von a^1 gegen B hinstrebt. Setzen wir nun für die Kugel die Erde, und für B den Mond, so haben wir unser Bild auf die Natur übertragen. Das Wasser kann sich aber nicht von der Oberfläche entfernen, dies verhindert die Anziehungskraft der Erde. Bei a^2 und a^1 wirken sich also zwei Kräfte entgegen, und zwar sucht in beiden Fällen die Anziehung des Mondes die Schwerkraft der Erde zu vermindern. Betrachtet man dagegen die Orte, welche unter einem rechten Winkel zu a^1 sich befinden (d und d^1) die ich der Kürze halber mit dem Ausdrücke „Randorte“ bezeichnen will, so sieht man sofort ein, dass diese nahehin dieselbe Entfernung von B haben wie a^1 , und dass demnach die Einwirkung des anziehenden Körper B auf die Orte d und d^1 nahezu gleich sein wird; sie werden mit gleicher Geschwindigkeit gegen B zu fallen suchen; die Schwerkraft wird an diesen Orten nicht wesentlich geändert. Es treten mithin verschiedene Druckverhältnisse in der Wassermasse ein und die nothwendige Folge wird sein, dass eine Störung des Gleichgewichtes in der Flüssigkeit entsteht, indem das Wasser dem stärkeren Drucke ausweichend an die Orte mit geringerem Drucke fließen wird. Es wird sich an den Stellen, wo d und d^1 sich befinden, das Niveau des Wassers senken, und an Stellen von geringerem Drucke (a und a^2) wird das Wasser steigen. So wird

also an Stellen, die dem Monde zugekehrt und abgekehrt sind, vermöge der Einwirkung des Mondes, eine Wasseransammlung stattfinden, weil die Schwerkraft an diesen Stellen abnimmt, an den Randorten jedoch, wo die Schwerkraft nahezu unvermindert bleibt, wird eine Erniedrigung des Wasserspiegels eintreten; wir haben also an den dem Monde zu- und abgekehrten Stellen Fluth, an den Randorten Ebbe.

Wir haben mithin das Zustandekommen der Ebbe und Fluth durch die Attraction erklärt und als eine Störung des Gleichgewichtes des Meeres, die die Erde umgibt, erkannt. Es kommt jedoch ausser dem Monde noch ein anderer Körper in Betracht, der ebenfalls eine merkbare, jedoch geringere Einwirkung in dem erwähnten Sinne zeigt, die Sonne. Man wird sofort fragen, wie es kommt, dass die Sonne einen geringeren Einfluss auf die Entstehung der in Rede stehenden Erscheinung übe als der Mond, da doch zweifellos die Sonne stärker auf die Erde einwirkt, als der Mond, indem im gegentheiligen Falle die Erde um den Mond und nicht um die Sonne sich bewegen müsste. Eine numerische Substitution wird das Verhältniss gleich klar machen. Der Mond ist seiner Masse nach der 28.000000. Theil der Sonne, d. h. 28.000000 Kugeln von der Grösse des Mondes würden erst ein Aequivalent für die Sonne darstellen. Bei gleichen Entfernungen würde demnach vermöge des Attractions-Gesetzes die Einwirkung des Mondes 28.000000mal geringer sein als jene der Sonne. Nun

ist aber der Mond der Erde beträchtlich näher. Die Entfernung der Sonne von der Erde beträgt circa 23.000 Erdhalbmesser, die Entfernung des Mondes dagegen ist nur 60 Erdhalbmesser gross; in Folge dessen wird seine Einwirkung in umgekehrten Quadratverhältnissen vergrössert. Wir haben mithin den Ansatz $\frac{23000^2}{60^2}$, welcher Ansatz ausgeführt ungefähr 150.000 ergibt, d. h. vermöge der grössern Nähe des Mondes an der Erde würde der Mond, wenn er gleiche Masse wie die Sonne hätte, 150.000mal stärker auf die Erde wirken als jene. Nun hat der Mond aber nur den 28.000000. Theil der Sonnenmasse, folglich kann er auch nur mit dem 28.000000. Theil dieser Kraft einwirken; also: $\frac{150000}{28000000}$. Wenn wir diesen Bruch beiläufig berechnen, so bekommen wir in runder Zahl $\frac{1}{190}$, d. h. der Mond wirkt nur mit dem 190. Theile der Kraft, mit welcher die Sonne auf die Erde einwirkt, eine im Verhältniss zu seiner geringen Masse immerhin sehr bedeutende Einwirkung.

Nennt man die absolute Einwirkung der Sonne auf den Punkt a^1 : g , die des Mondes g^1 , so hat man nach dieser Untersuchung die Gleichungen:

$$190 g^1 = g \quad \text{oder} \quad g = \frac{1}{190} g^1.$$

Nun kommt es aber bei der Ebbe und Fluth, wie dies die Erklärung gezeigt hat, keineswegs allein auf die absolute Einwirkung des anziehenden Körpers, sondern hauptsächlich auf die relative an, um die

nämlich der Punkt a^2 stärker angezogen wird als a^1 und a schwächer als a^1 . Wir werden diese Aufgabe numerisch lösen. Die Einwirkung der Sonne auf den Punkt a^2 ist $= g \frac{(a^1B)^2}{(a^2B)^2}$ nach dem Attractionsgesetz, wo a^1B die Entfernung des Endmittelpunktes von der Sonne ist. Ebenso ist die Einwirkung des Mondes auf $a^2 = g^1 \frac{(a^1B)^2}{(a^2B)^2}$, wo jetzt aber für a^1B die Entfernung des Mondes zu substituiren ist. Die Fluth entsteht aber durch die Differenz der Wirkung der Sonne auf die Oberfläche und den Mittelpunkt, also ist die Kraft, mit der die Sonne auf die Erzeugung der Fluth einwirkt, $g \frac{(a^1B)^2}{(a^2B)^2} - g$.

Nimmt man die Entfernung der Sonne von der Erde 23.000 Erdhalbmesser an, so wird die Entfernung $a^1B = 23.000$. Die Entfernung a^2B ist $= 22.999$, weil die Oberfläche um einen Erdhalbmesser der Sonne näher ist. Die Substitution ergibt

$$g \frac{(23000)^2}{(22999)^2} - g = g \left(\frac{(23000)^2}{(22999)^2} - 1 \right)$$

oder indem man die Einwirkung in Bruchtheilen der Kraft selbst ausdrückt, findet man aus den Ausdrücken, dass die Sonne beiläufig den 11.500. Theil ihrer Kraft zur Erzeugung der Ebbe und Fluth aufwendet. Für den Mond wird $a^1B = 60$, d. h. der Mond ist beiläufig 60 Erdhalbmesser von der Erde entfernt, a^2B wird also gleich 59. Berechnet man nun, wie es für die Sonne geschehen ist, den Werth des Coefficienten von g^1 in dem Ausdrucke: $g^1 \left(\frac{(60)^2}{(59)^2} - 1 \right)$, so

findet man, dass der Mond mit dem 30. Theil seiner Kraft die Fluth erzeugt. Für den Punkt *a* würde man ganz ähnliche Resultate erhalten.

Der Mond äussert aber nur eine 190mal schwächere absolute Einwirkung als die Sonne; es wird deshalb, wenn wir die flutherzeugende Kraft des Mondes in Bruchtheilen der Einwirkung der Sonne kennen wollen, $\frac{1}{30}$ auch durch 190 zu dividiren sein, dies ergibt $\frac{1}{5700}$, d. h. die Mondfluth wird durch eine Kraft erzeugt, die 5700mal schwächer ist, als die absolute Einwirkung der Sonne. Die Sonne verwendet aber, wie wir oben gesehen haben, nur den 11.500. Theil ihrer Kraft auf die Erzeugung der Gezeiten, also indem wir diese Zahl mit der für den Mond gefundenen ($\frac{1}{5700}$) zusammen halten, sehen wir, dass die flutherzeugende Kraft der Sonne circa nur halb so gross ist, als die des Mondes, wieviel die absolute Einwirkung 190mal grösser ist.

Dieses gleichzeitige Vorhandensein einer Sonnen- und einer Mond-Fluth bedingt die Complication der Erscheinung, und wir wollen nun die interessantesten Folgerungen aus jenem Verhältnisse ableiten, damit wir die Richtigkeit der Theorie durch die Praxis bestätigt sehen.

Da im Verlaufe eines Monates der Mond die verschiedensten Stellungen gegen die Erde einnehmen kann, so wird sich auch die Sonnenfluth mit der Mondfluth auf die verschiedenste Weise combiniren.

Fassen wir die wichtigsten Fälle heraus. Es sei Neumond; dann ist die Stellung der drei Körper so, dass der Mond zwischen Erde und Sonne tritt. Die dem Monde zugekehrte Seite der Erde hat Mondfluth, deren Werth gleich 2 sei; diese Seite ist jedoch auch der Sonne zugekehrt, hat somit auch Sonnenfluth, die mit 1 (die Hälfte der Mondfluth) bezeichnet werden kann; die beiden wirken zusammen, die gemeinsame Wirkung ($2 + 1$) ist 3. Die dem Monde abgekehrte Seite der Erde hat Mondfluth (2); sie ist auch der Sonne abgekehrt, hat folglich auch Sonnenfluth (1); die Combination beider ist wieder, wie früher, gleich 3. Zur Zeit des Vollmondes steht bekanntlich die Erde zwischen Mond und Sonne. Die dem Monde zugekehrte Seite hat Mondfluth (2); dieselbe ist jedoch der Sonne abgekehrt, hat somit auch Sonnenfluth (1); $2 + 1 = 3$. Die dem Monde abgekehrte Seite der Erde hat wieder Fluth; sie ist jedoch der Sonne zugekehrt; mithin dasselbe Resultat der Fluthhöhe $= 3$. Anders werden die Verhältnisse zur Zeit der sogenannten Viertel. Zur Zeit des ersten Viertel nehmen bekanntlich Sonne, Mond und Erde eine derartige Stellung gegen einander ein, dass die Verbindungslinien einen rechten Winkel an der Erde bilden. Die dem Monde zugekehrte Seite der Erde hat wieder Mondfluth (2), sie ist jedoch in Bezug auf die Sonne ein Randort, folglich hat sie Ebbe ($- 1$); die Zusammenwirkung beider wird $2 - 1 = 1$ sein. Die dem Monde abgekehrte Seite hat wieder Mondfluth (2),

ist aber in Bezug auf die Sonne gleichfalls ein Randort; hat demnach Sonnenebbe ($- 1$). Die Gesamtwirkung ist wieder nur $+ 1$. Ebenso im letzten Viertel. Die dem Monde zu- und abgekehrten Seiten der Erde werden stets gegen die Sonne Randorte sein.

Aus dem soeben Erwähnten schliessen wir, dass zur Zeit des Voll- und des Neumondes die Fluth ausserordentlich gross, zur Zeit der beiden Viertel jedoch wesentlich niedriger sein wird. Die Praxis stimmt da mit der Theorie vollkommen überein; ja die theoretisch erschlossenen Grössenverschiedenheiten sind in der That so bedeutend, dass die Bewohner der Seeküsten dafür verschiedene Namen haben. Sie bezeichnen die Fluth zur Zeit des Voll- und Neumondes als Spring- oder Sturmfluth, und jene zur Zeit der Viertel als Nippfluth.

Eine weitere Bestätigung der Theorie durch die Wirklichkeit ergibt sich aus Folgendem: Im Verlaufe eines Mondtages, d. h. von einer Culmination des Mondes bis zur andern, ist jeder Punkt der Erde einmal dem Monde zugekehrt und einmal demselben abgekehrt. Ist ein bestimmter Ort dem Monde zugekehrt, so hat er Fluth; ist er ihm abgekehrt, gleichfalls, in der dazwischen liegenden Zeit hat er Ebbe. Ist unsere Theorie richtig, so muss jeder Ort der Erde im Verlauf eines Mondtages zweimal Ebbe und zweimal Fluth haben. Die Länge eines Mondtages beträgt 24 Stunden, 49 Minuten. In der That lehren die Beobachtungen, dass im Durchschnitte genau im Ver-

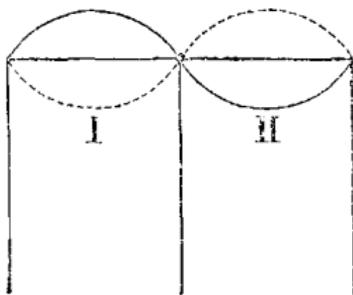
lauf von 24 Stunden, 49 Minuten für jeden Ort der Erde zweimal Ebbe und zweimal Fluth eintritt. Die einzelnen Zwischenzeiten sind jedoch nicht immer vollkommen gleich, sondern variiren auf die verschiedenste Weise und ist diese Veränderlichkeit wieder nur der Combination der Sonnen- und der Mondfluth zuzuschreiben. Suchen wir uns davon eine Vorstellung zu machen. Das Steigen und Fallen des Wassers im Verlauf einer Fluth und Ebbe ist nicht gleichmässig. Nehmen wir an, es wäre gerade Mondebbe, so wird das Wasser immer langsamer und langsamer fallen, dann tritt ein Stillstand ein, hierauf fängt es langsam zu steigen an, steigt immer rascher und rascher, bis es endlich das Maximum des Ansteigens erreicht, das Ansteigen wird dann immer geringer, endlich, kaum merklich, dann kommt der Stillstand (die höchste Fluth) und es beginnt wieder zu sinken. Bei der Mondfluth wird das Ansteigen grösser sein als bei der Sonnenfluth. Doch sind Fälle denkbar, wo das Ansteigen oder Fallen durch die Sonne beträchtlicher ist als die Aenderungen des Niveaus durch die Einwirkung des Mondes. Ein numerisches Beispiel wird das sogleich klar machen. Es sei Mondebbe und in einer Stunde z. B. vor der tiefsten Ebbe, nehmen wir an, falle das Wasser in der ersten halben Stunde um 3 Zoll, die letzte halbe Stunde vor der Ebbe jedoch nur um 1 Zoll. Dann käme der tiefste Wasserstand. Hierauf beginnt wieder das Steigen durch die Mondfluth, welches in der ersten halben Stunde 1 Zoll, in

der zweiten 3 Zoll betrage. Nun nehmen wir weiter an, dass zu gleicher Zeit mit dem Eintreten der Mondebbe das Ansteigen der Sonnenfluth statt hat und dieses sei gerade im Maximum oder würde in einer halben Stunde 1 Zoll betragen, so würde in der ersten halben Stunde das Wasser nach der Mondebbe um 3 Zoll fallen, durch die Sonnenfluth um 1 Zoll steigen, und die Combination beider Wirkungen wird sein, dass das Wasser in der ersten halben Stunde nur um 2 Zoll, in der folgenden gar nicht mehr fällt. Da das Ansteigen der Sonnenfluth dem Fallen durch die Mondebbe das Gleichgewicht hält. Dadurch geschieht es, dass die gewöhnlich beobachtete Zeit des tiefsten Wasserstandes früher (und zwar in dem gewählten Beispiele um eine halbe Stunde früher) eintritt als derselbe nach der Wirkung des Mondes allein eintreten würde. Betrachten wir nun einen anderen Fall. Es sei gerade Sonnenebbe; oder sie sei in ihrer stärksten Wirkung ebenfalls 1 Zoll in einer halben Stunde. Die Mondfluth sei gerade im ersten Ansteigen, dasselbe betrage in der ersten halben Stunde 1 Zoll, in der zweiten 3 Zoll, so wird wieder die combinirte Wirkung des Mondes und der Sonne darin bestehen, dass sich in der ersten halben Stunde keine Niveauveränderung zeigt, in der zweiten halben Stunde wird das Wasser nur 2 Zoll ansteigen, da, wie erwähnt, die Sonne dem Monde entgegenwirkt. Diese Combination veranlasst also, dass der Eintritt der Mondebbe sich verzögert. Es ergibt sich aus diesem Beispiel, dass die Maxima und Minima

des Steigens und Fallens (auch die Zwischenzeiten zwischen beiden) nicht gleich sind und dass die in dieser Beziehung sich zeigenden Unregelmässigkeiten Ergebnisse der combinirten Einwirkung des Mondes und der Sonne sind. Sie sehen, dass, wenn man die Theorie einmal als richtig voraussetzt, diese complicirten Wirkungen sich leicht als die natürliche Folge ergeben, während umgekehrt ein Zurückschliessen von den Erscheinungen auf die Ursache ein ziemlich schwieriger Weg wäre. Wir könnten noch viele Erscheinungen, die für die Richtigkeit der Theorie sprechen, anführen, doch soll nur noch eine, die einiges allgemeines Interesse bietet, gedacht werden.

Der Mond selbst beschreibt eine Bahn, die nicht sehr gegen den Erd-Aequator geneigt ist; er wird demnach im Allgemeinen nur über Orten sich befinden, die keine grosse geographische Breite haben. Die Pole werden demnach einen rechten Winkel mit jenen Orten bilden, über oder unter welchen der Mond steht; sie werden dasjenige sein, was wir früher als Randorte bezeichneten, und werden demnach permanente Ebbe haben; Ebbe und Fluth werden dort nicht merkbar hervortreten können, was durch unsere Erfahrungen vollständig bestätigt wird. Man hat gegen die gegebene Erklärung der Ebbe und Fluth vielfach Einwürfe erhoben, indem man sagte, wenn sie richtig wäre, so müssten im Laufe eines Mondtages zwei Fluthwellen um die Erde herumgeführt werden. Es müssten in Folge dessen heftige Strömungen im Meere

entstehen; es zeigen sich jedoch keine solche, folglich ist die Erklärung unrichtig. Wenn man auf die Gesetze der Wellenbewegung etwas näher eingeht, so zeigt sich sofort die Unrichtigkeit dieses Einwurfes. Wirft man in den Spiegel eines ruhigen Teiches einen Stein, so werden Wellen erregt, die in centrifugaler Richtung sich fortpflanzen, und es hat den Anschein, als ob das Wasser an dieser Bewegung Theil nähme. Es hat aber nur so den Anschein. Denn wenn man ein Hölzchen in das Wasser wirft, welches darauf schwimmt, so muss dieses alle Bewegungen machen, welche das Wasser macht, und es zeigt sich nun, dass, wenn die Wellen das Hölzchen erreichen, dieses zwar sich hebt und senkt, aber keine merkbare laterale Verschiebung erleidet, woraus der Schluss zu ziehen ist, dass die Wassermasse an der Fortpflanzung der Wellen nicht Theil nimmt, sondern dass nur das Gleichgewicht des Wassers dadurch gestört wird. Eine geringe laterale Bewegung des Wassers wird jedoch unter allen Umständen stattfinden. Es sei in beistehender Figur bei I ein Wellenberg, bei II ein Wellenthal



und es befinde sich die Welle in Bewegung, so wird nach Ablauf einer Periode bei I ein Wellenthal und bei II ein Wellenberg sein. Bei I wird also dann um ein Ge-

gleich dem doppelten Wellenberge. Ist das Wasser nun im Verhältniss gegen die Höhe der Welle sehr tief, so genügt natürlich eine ganz geringe Bewegung innerhalb des Querschnittes von I nach II, um das Quantum Wasser, welches zur Ausgleichung des Wellenthales erforderlich ist, hinüber zu treiben und die Fortpflanzung der Wellen ermöglichen. Ist aber das Wasser seicht, so sieht man sofort ein, dass der nur kleine Querschnitt nicht mehr im Stande ist, durch eine geringe Bewegung des Wassers eine Ausgleichung in der Wassermasse hervorzubringen. Es wird, wie man sagt, die Welle gebrochen; sie muss zum Ausgleich der Wassermasse selbst verwendet werden und demnach an der Bewegung Theil nehmen. Dieselben Verhältnisse sind im Ocean vorhanden. Die Fluth, welche 2—3 Fuss Höhe erreichen kann, ist gegen die Tiefe des Meeres, die man doch zu einigen tausend Klaftern durchschnittlich annehmen muss, verschwindend klein. Es tritt somit der erste Fall ein; eine ganz geringe laterale Bewegung wird zur Fortpflanzung der Fluthwellen genügen, und es kann somit zu keinen auffallenden Strömungen kommen. In Meerengen jedoch tritt der zweite Fall ein, der Querschnitt ist gering und es wird zu einer bedeutenden Bewegung des Wassers und somit zu starken Strömungen kommen. Bekanntlich sind in Meerengen, wo z. B. zwei grosse Meere sich ausgleichen, die Fluthbewegungen beträchtlich, ja an Stellen sogar für die Schifffahrt hinderlich.

Während im freien Ocean die Fluth eine Höhe von höchstens 3 Fuss besitzt, erreicht in manchen Buchten und Engen die Fluth eine Höhe von 30 bis 40 Fuss, in der Fundybay in Nordamerika sogar von 70 Fuss. Diese Bay öffnet sich weit gegen das Meer und wird im Hintergrunde immer enger. Die langsame, vorschreitende, durch die Fluth veranlasste Strömung des atlantischen Oceans dringt in dieselbe ein, das Wasser sucht seine ihm mitgetheilte Bewegung vermöge der Trägheit fortzusetzen; es staut sich deshalb an dem entgegenstehenden Ufer und wird durch das nachdrängende Wasser immer weiter in den engen Hintergrund der Buchten gepresst; es steigt demnach das Wasser beträchtlich höher als draussen im freien Ocean und da diese Bay für die Stauungserscheinungen besonders günstig situirt ist, so kommt es im Hintergrunde derselben zu der enormen schon erwähnten Fluthhöhe von 70 Fuss. Im Canal la Manche, der auch Anfangs weit ist, und sich immer mehr verengt, kommt es ganz auf dieselbe Weise zu beträchtlichen Fluthhöhen.

Eingangs wurde erwähnt, dass in den Binnen-Meeren sich die Erscheinung nicht sehr auffällig zeigt. Dies erklärt sich einfach. Die Binnenmeere sind ihrer Ausdehnung nach in Bezug auf die Erd-Peripherie sehr gering. In Folge dessen muss der Mond zu diesen Stücken der Erdperipherie immer nahezu die gleiche Lage haben. Es wurde bereits gezeigt, wie es nur dann zu beträchtlichen Störungen

des Gleichgewichtes des Wassers kommt, wenn die Lagedifferenzen beträchtlich sind, wie dies beim Ocean der Fall ist, wo ein Theil desselben dem Monde zugekehrt ist, während der andere Theil ein Randort ist. Dieses Verhältniss kann nun eben bei Binnenmeeren nicht eintreten, es fehlen hier die nöthigen Lagedifferenzen, welche eine merkbare Ebbe und Fluth erzeugen.

Nimmt man die Fluthhöhe nur zu einem Fuss an, so findet man durch einfache Rechnung, dass der Mond im Laufe eines Tages 120 Cubikmeilen Wasser um die Erde herumschleppt, eine enorme Grösse, die auch beträchtliche Wirkungen leisten kann. Das Wasser, welches über die Erde hinüber geht, wird sich an dem Erdkörper reiben und die Rotation der Erde zu verlangsamen streben. Die Wirkung wird allerdings nicht augenfällig sein, weil die Reibung des Wassers an der Erde an und für sich nicht sehr gross ist und andererseits 120 Kubikmeilen Wasser gegen den gesammten Kubikinhalt der Erde nicht sehr in Betracht kommen. Aber im Verlaufe der Zeiten kann das bemerkbar werden, wenn sich die kleinen Wirkungen summiren. Wir haben Anhaltspunkte dafür, dass die Rotation der Erde von Tag zu Tag langsamer wird. Das hat sich bei der Construction der Mondtafeln gezeigt, da es nur möglich ist, die Sonnenfinsternisse, die uns von den Griechen und Römern überliefert wurden, zu erklären, wenn man annimmt, dass der folgende Tag länger ist als der vorausgehende um den 5billionsten Theil eines Tages. Es ist immerhin

möglich, dass wir hier die Wirkung der Mondfluth vor uns haben. Freilich kann dieser Einfluss eine Gegenwirkung haben, wenn man nämlich annimmt, dass die Erde noch im Erkalten begriffen ist; denn dann würde sie immer kleiner werden und daher immer rascher rotiren, wodurch die Wirkung der Fluth paralysirt werden könnte.

Zum Schluss eine Beleuchtung der Grösse der Naturkräfte. Der Mond schleppt täglich 120 Cubik-Meilen Wasser um die Erde herum. Wenn man bedenkt, dass z. B. das grösste Bauwerk des Menschen, die grosse ägyptische Pyramide, den millionsten Theil einer Cubikmeile beträgt, so wird man zugeben, dass die Schätzung nicht zu gering ist, dass durch das Menschengeschlecht seit seinem Bestehen durch eigene Kraft, durch die Kräfte der Thiere, die es zu seinem Nutzen verwendet und durch die Kräfte der künstlichen Motoren noch keine Cubikmeile Material um die Erde bewegt worden sei. Bedenkt man weiter, dass der Mond nur den dreissigsten Theil seiner Kraft zur Erzeugung der Fluth verwendet; bedenkt man weiter, dass die Wirkung des Mondes verschwindend klein ist gegen die der Planeten und die der Sonne; weiter, dass es Millionen Körper gibt, die wie die Sonne wirken, so bekommt man ein Bild der enormen Naturkräfte, die im Himmelsgebäude wirken. Wir können diese Grössen berechnen und dadurch dem Verstande näher hringen, aber begreifen können wir sie nicht, weil sich unsere Vorstellungen zu ihnen verhalten wie null zu unendlich.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1869

Band/Volume: [8](#)

Autor(en)/Author(s): Opolzer Theodor Egon Ritter von

Artikel/Article: [Ueber Ebbe und Fluth. 139-167](#)