

Vorhergehenden gesehen haben, $\frac{1}{58,7}$ von der Erde ist, so beträgt der Abstand dieses Punkts von des Monds Mittelpunkte olngefähr den neunten Theil der Entfernung des Monds von der Erde. Wenn in dieser Entfernung die ursprüngliche Atmosphäre des Monds ihrer Federkraft nicht beraubt war, so wird sie sich nach der Erde zu begeben haben, die sie also annehmen konnte. Dies ist vielleicht die Ursache, warum diese Atmosphäre so wenig merklich ist.

Z e h n t e s K a p i t e l.

Von der Ebbe und Fluth des Meeres.

Wenn schon die Untersuchung der Geseze des Gleichgewichts der Flüssigkeiten, welche die Planeten bedecken, grofse Schwierigkeiten darbietet, so muß die Untersuchung der Bewegung dieser Flüssigkeiten, in welche sie durch die Attraction der Gestirne versetzt werden, mit noch erheblicheren verbunden seyn. Auch Newton, der sich zuerst mit dieser wichtigen Aufgabe beschäftigte, begnügte sich

damit, die Figur zu bestimmen, bey welcher das Meer unter der Einwirkung der Sonne und des Monds im Gleichgewichte seyn würde. Er setzte voraus, das Meer nehme diese Figur jeden Augenblick an, und diese Voraussetzung, welche die Berechnungen äußerst erleichtert, gab ihm Resultate, die unter vielen Beziehungen mit den Beobachtungen übereinstimmten. In der That nahm dieser große Geometer auf die Umdrehungsbewegung der Erde Rücksicht, um das Zurückbleiben der Ebbe und Fluth hinter den Durchgängen der Sonne und des Monds durch den Meridian zu erklären. Aber der Gang seiner Schlüsse ist nicht befriedigend, und widerspricht außerdem dem Resultate einer genauen Analyse. Die Akademie der Wissenschaften machte dies zum Gegenstande einer Preisfrage für das Jahr 1740.; die gekrönten Abhandlungen enthalten Entwicklungen der Newtonischen Theorie, welche sich auf die nämliche Hypothese vom Gleichgewichte des Meeres unter der Einwirkung der Gestirne, die es anziehen, gründen. Man übersieht indessen leicht, daß die Schnelligkeit der Umdrehungsbewegung der Erde die Gewässer, welche sie bedecken, verhindert, jeden Augenblick die Figur anzunehmen, welche dem Gleich-

gewichte der Kräfte, die sie in Bewegung setzen, angemessen ist. Aber die Untersuchung dieser Bewegung, in Verbindung mit der Wirkung der Sonne und des Monds, zeigte Schwierigkeiten, welche den Kenntnissen, die man damals in der Analysis und von der Bewegung der Flüssigkeiten hatte, überlegen waren. Unterstützt von den seitdem über diese zwey Gegenstände gemachten Entdeckungen nahm ich diese schwerste Aufgabe der ganzen Mechanik des Himmels wieder vor. Die einzigen Hypothesen, die ich mir erlaubte, sind die, daß das Meer die ganze Erde bedecke, und daß es, bey seinen Bewegungen nur kleine Hindernisse finde; sonst ist meine ganze Theorie genau, und auf die Grundsätze von der Bewegung der flüssigen Körper gegründet. Indem ich mich so der Natur näherte, hatte ich die Genugthuung, zu sehen, daß meine Resultate sich den Beobachtungen näherten, besonders in Ansehung des kleinen Unterschieds, der in unsern Häfen zwischen den beyden Fluthen des nämlichen Tags Statt findet, und welcher nach Newtons Theorie sehr groß seyn würde. Ich bin auf das merkwürdige Resultat gekommen, daß man, um diesen Unterschied völlig auf Null zu bringen, nur voraus

zu sezen brauche, dafs das Meer durchgängig einerley Tiefe habe. Daniel Bernoulli versuchte in seiner Abhandlung über die Ebbe und Fluth des Meeres, welche einen Theil des von der Akademie für das Jahr 1740. ausgesetzten Preises bekam, diese Erscheinung durch die Umdrehungsbewegung der Erde zu erklären. Nach ihm ist diese Bewegung zu schnell, als dafs die Fluthen zu den Resultaten der Theorie passen könnten. Aber die Analysis zeigt uns, dafs diese Schnelligkeit die Fluthen nicht hindern würde, sehr ungleich zu seyn, wenn die Tiefe des Meers nicht beständig wäre. Man sieht aus diesem Beyspiele, und aus dem vorhin angeführten von Newton, wie viel Mistrauen man auch in die wahrscheinlichsten Wahrnehmungen sezen müsse, wenn sie nicht durch eine genaue Berechnung berichtigt werden.

Obschon die vorhergehenden Resultate sich sehr weit erstrecken, so sind sie doch durch die Voraussetzung einer über die Erde regelmäfsig verbreiteten Flüssigkeit, die bey ihren Bewegungen nur sehr geringen Widerstand leide, noch eingeschränkt. Die Unregelmäfsigkeit der Tiefe des Meeres, die Lage und der Abhang der Ufer, ihre Verhältnisse

zu den benachbarten Küsten, die Reibungen der Gewässer am Meeresgrunde, und der Widerstand, den sie von demselben leiden, alle diese Ursachen, die sich keiner Berechnung unterwerfen lassen, ändern die Schwingungen dieser grossen flüssigen Masse verschiedentlich. Alles, was wir thun können, ist, die allgemeinen Erscheinungen der Ebbe und Fluth, welche aus den Anziehungskräften der Sonne und des Mondes folgen müssen, zu entwickeln, und aus den Beobachtungen die Bestimmungsstücke zu ziehen, deren Kenntniß unumgänglich erforderlich ist, um die Theorie der Ebbe und Fluth in jedem Hafen zu ergänzen. Diese Bestimmungsstücke sind eben so viele willkürliche Gröfsen, die von dem Umfange des Meeres, von seiner Tiefe und den Localumständen des Hafens abhängen. Wir wollen nur die Theorie der Schwingungen des Meeres und ihre Uebereinstimmung mit den Beobachtungen aus diesem Gesichtspunkte betrachten.

Zuerst betrachten wir blos die Wirkung der Sonne auf das Meer, und setzen dabey voraus, daß dieses Gestirn sich gleichförmig in der Ebene des Aequators bewege. Man übersieht leicht, daß, wenn die Sonne den Schwerpunkt der Erde und alle Elemente des Meeres

mit gleichen und parallelen Kräften anzöge, das ganze System des Erdsphäroids, und der Gewässer, die es bedecken, diesen Kräften mit gemeinschaftlicher Bewegung folgen, und das Gleichgewicht der Gewässer nicht gestört werden würde. Dieses Gleichgewicht wird also nur durch den Unterschied dieser Kräfte, und durch die Ungleichheit ihrer Richtungen gestört. Ein unter der Sonne liegendes Element des Meeres, wird von ihr mehr angezogen, als der Mittelpunkt der Erde; es strebt also, sich von der Oberfläche der letztern abzulösen, wird aber durch seine Schwere, die dieses Bestreben vermindert, auf derselbigen zurückgehalten. Einen halben Tag nachher steht dieses Element in Opposition mit der Sonne, die es alsdann schwächer, als den Mittelpunkt der Erde anzieht; die Oberfläche der Erdkugel ist also nun bestrebt, sich von demselben los zu machen, aber die Schwere des Elements hält es an ihr fest; diese Kraft wird also noch durch die Attraction der Sonne vermindert; und da die Entfernung der Sonne von der Erde in Ansehung des Halbmessers der Erdkugel sehr groß ist, so kann man sich leicht davon überzeugen, daß die Verminderung der Schwere in diesen beyden Fällen

sehr nahe die nämliche sey. Eine bloße Zerlegung der Wirkung der Sonne auf die Elemente des Meeres ist hinreichend, um zu sehen, daß in jeder andern Lage dieses Gestirns gegen diese Elemente sein Einfluß auf die Störung des Gleichgewichts derselben nach einem halben Tage wieder der nämliche werde.

Nun kann man als einen allgemeinen Grundsatz der Mechanik vestsetzen, daß der Zustand eines Systems von Körpern, bey welchem die ursprünglichen Bedingungen der Bewegung, durch den Widerstand, den es leidet, aufgehoben worden, periodisch sey, wie die Kräfte, von welchen es getrieben wird; es muß also jedesmal nach Verfluß eines halben Tags wieder der nämliche Zustand des Meers eintreten, so daß man während dieser Zeit einmal Ebbe und einmal Fluth hat.

Das Gesez, nach welchem das Meer steigt und fällt, kann auf folgende Art bestimmt werden. Man gedenke sich einen verticalen Kreis, dessen Peripherie einen halben Tag vorstelle, und dessen Durchmesser der totalen Fluth, d. h. dem Unterschiede der Höhen der vollen und der tiefen See, gleich sey; und man seze, daß die Bogen dieser Peripherie, von dem niedrigsten Punkte an gerechnet,

die von der tiefen See an verflossenen Zeiten ausdrücken, so werden die Quersinus dieser Bogen die mit diesen Zeiten zusammengehörigen Meereshöhen seyn. Das Meer schneidet also bey seinem Steigen in gleichen Zeiten gleiche Bogen dieser Pheripherie ab.

Mitten in einem von allen Seiten freyen Meere findet dieses Gesez genau Statt; aber in unsern Häfen werden die Fluthen durch besondere Localumstände etwas davon entfernt. Das Meer braucht daselbst etwas mehr Zeit zum Fallen, als zum Steigen, und zu *Brest* beträgt der Unterschied dieser zwey Zeiten ohngefähr $10 \frac{1}{2}$ Minuten.

Je größer ein Meer ist, desto merklicher müssen die Erscheinungen der Ebbe und Fluth seyn. Bey einer flüssigen Masse theilen sich alle Eindrücke, welche ein jedes Element erhält, der ganzen Masse mit; dadurch bringt die bey einem einzelnen Elemente unmerkliche Wirkung der Sonne in dem Weltmeere merkwürdige Erscheinungen hervor. Wir wollen uns einen über den Meeresgrund hin gekrümmten Kanal vorstellen, dessen eines Ende über der Meeresfläche in eine lothrechte Röhre ausgeht, deren Verlängerung der Sonne Mittelpunkt trifft. In dieser Röhre wird sich das

Wasser, vermöge der Einwirkung dieses Gestirns, welche die Schwere seiner Elemente vermindert, und überdies vermöge des Drucks der in dem Kanale eingeschlossenen Wassertheilchen, erheben, welche sämmtlich bestrebt sind, sich unter der Sonne zu vereinigen. Die Erhebung des Wassers in der Röhre, über den natürlichen Wasserspiegel des Meeres ist das Integral dieser unendlich kleinen Bestrebungen. Wenn die Länge des Kanals zunimmt, so wird dieses Integral gröfser, weil es sich über einen gröfsern Raum erstreckt, und dabey ein gröfserer Unterschied in der Richtung und Gröfse der Kraft, wovon die äufsersten Elemente getrieben werden, Statt findet. Man sieht an diesem Beyspiele den Einfluß der Ausdehnung des Meeres auf die Erscheinungen der Ebbe und Fluth, und die Ursache, warum diese in kleinen Meeren, wie im *Schwarzen* und *Caspischen* unmerklich sind.

Die Gröfse der Fluthen hängt viel von Localumständen ab. Die wellenförmigen Bewegungen des Meeres können in einer Meerenge sehr groß werden; das Zurückprellen des Wassers von entgegenstehenden Ufern sie noch mehr vergrößern. Daher sind die in den Inseln des Südmeers durchgängig sehr

kleine Fluthen in unsern Häfen sehr beträchtlich.

Wenn das Weltmeer ein durch Umdrehung entstandenes Sphäroid bedeckte, und wenn es bey seinen Bewegungen keinen Widerstand litte, so wäre der Augenblick der vollen See zugleich der des oberen oder unteren Durchgangs der Sonne durch den Mittagskreis; aber es verhält sich damit nicht so in der Natur, und die Localumstände bringen, selbst in sehr nahen Häfen, beträchtliche Verschiedenheiten in die Zeit der Fluthen. Um eine richtige Vorstellung von diesen Verschiedenheiten zu erhalten, wollen wir uns eine mit dem Meere in Gemeinschaft stehende und sich tief in das veste Land hinein ziehende weite Röhre vorstellen; man übersieht leicht, daß die wellenförmigen Bewegungen, welche an ihrer Mündung Statt haben, sich allmählig durch ihre ganze Länge hin fortpflanzen werden, so daß die Figur ihrer Oberfläche durch eine Reihe großer in Bewegung begriffener Wellen sich bilden wird, welche sich ohne Unterlaß erneuern, und ihre Länge in Zeit von einem halben Tage durchlaufen werden. Diese Wellen werden in jedem Punkte der Röhre eine Fluth und eine Ebbe bewirken, welche

welche

welche den vorigen Gesezen folgen werden; aber Zeiten der Fluth werden in eben dem Maafse später einfallen, als die Punkte von der Mündung sich mehr entfernen werden. Was von einer Röhre gesagt worden ist, läßt sich auch auf die Flüsse anwenden, deren Oberfläche, der entgegengesetzten Bewegung ihrer Gewässer ungeachtet, durch ähnliche Wellen steigt und fällt. Man bemerkt diese Wellen in allen Flüssen nahe an ihrer Mündung; und an der Strasse *Pauzis* im Amazonenflusse sind sie auf zweyhundert Meilen vom Meere noch merklich.

Wir wollen jezt die Wirkung des Mondes betrachten, und sezen, dieses Gestirn bewege sich gleichförmig in der Ebene des Aequators. Es ist klar, dafs es im Weltmeere eine Ebbe und Fluth bewirken müsse, die derjenigen ähnlich ist, welche aus der Wirkung der Sonne entsteht, und die einen halben Mondstag zu ihrer Periode hat. Nun haben wir aber im vorhergehenden Buche gesehen, dafs die ganze Bewegung eines durch sehr kleine Kräfte getriebenen Systems die Summe der besondern Bewegungen ist, welche jede Kraft besonders ihm würde eingedrückt haben. Die zwey durch die Wirkungen der Sonne

und des Monds erregten partialen Fluthen vereinigen sich also ohne einander zu stören, und aus ihrer Vereinigung entsteht die Fluth, die wir in unsern Häfen beobachten.

Hieraus entstehen die merkwürdigsten Erscheinungen der Ebbe und Fluth. Der Augenblick der Mondfluth ist nicht immer einerley mit dem der Sonnenfluth, weil ihre Perioden verschieden sind. Wenn zwey dieser Fluthen zusammen fallen, so wird die folgende Mondfluth um den Ueberschufs eines halben Mondtags, über einen halben Sonnentag, d. i. um $1752''{,}5$ hinter der Sonnenfluth zurückbleiben. Da diese Verspätungen von einem Tage zum andern sich anhäufen, so wird die durch den Mond bewirkte volle See mit der von der Sonne verursachten tiefen See zusammenfallen, und umgekehrt. Wenn die Mondfluth mit der Sonnenfluth zusammenfällt, so ist die zusammengesetzte Fluth am größten; dies verursacht die großen Fluthen gegen die Syzygien. Wenn hingegen die volle See von dem einen dieser Gestirne mit der tiefen See von dem andern zusammenfällt, so ist die zusammengesetzte Fluth am kleinsten; dies verursacht die kleinen Fluthen gegen die Quadraturen. Wenn die Sonnenfluth stärker ist, als

die Mondfluth, so ist es sichtbar, daß die Zeiten der größten und der kleinsten Fluth zusammengesetzt, mit der Zeit zusammentreffen werden, auf welche die Sonnenfluth fallen würde, wenn sie allein einträte. Wenn aber die Mondfluth stärker ist, als die Sonnenfluth, so fällt die kleinste zusammengesetzte Fluth mit der von der Sonne bewirkten tiefen See zusammen, und folglich ist ihre Zeit von der größten zusammengesetzten Fluth um einen Viertelstag entfernt. Dies ist also ein einfaches Mittel, zu erkennen, ob die Mondfluth größer oder kleiner, als die Sonnenfluth ist. Alle Beobachtungen geben einstimmig zu erkennen, daß die Zeit der kleinsten Fluthen von der der größten um einen Viertelstag unterschieden ist; folglich ist die Mondfluth stärker, als die Sonnenfluth.

Wir haben im ersten Buche gesehen, daß der mittlere Werth der größten totalen Fluth von jedem Monate ohngefähr 18,13; und der mittlere Werth der kleinsten 8,67 Fufs ist. Es ist leicht, nach den gehörigen Reductionen daraus zu schliessen, daß die mittlere Mondfluth, welche dem beständigen Theile der Mondsparrallaxe zugehört, dreymal kleiner sey als die mittlere Sonnenfluth; oder, was

auf *eins* hinausläuft, daß die Wirkung des Monds zur Erhebung des Meerwassers das Dreyfache von der der Sonne sey.

Die Wirkung eines Gestirns, um ein flüssiges Element, das zwischen diesem Gestirne, und dem Mittelpunkte der Eräe sich befindet, zu erheben, ist dem Unterschiede seiner Wirkung auf diesen Mittelpunkt und auf das Element gleich; und dieser Unterschied ist das Doppelte von dem Quotienten der Masse des Gestirns multiplicirt durch den Erdhalbmesser, und dividirt durch den Würfel der Entfernung dieses Gestirns vom Mittelpunkte der Erde. Dieser Quotient beträgt bey der Sonne, vermöge des fünften Kapitels, $\frac{1}{179}$ der Schwere, welche den Mond gegen die Erde treibt, multiplicirt mit dem Verhältnisse des Erdhalbmessers zu der Entfernung des Monds. Diese Schwere ist sehr nahe gleich der Summe der Massen der Erde und des Monds, dividirt durch das Quadrat der Entfernung des letztern; die Wirkung der Sonne zur Erhebung des Meerwassers ist folglich $89 \frac{1}{2}$ mal kleiner, als die Summe der Massen der Erde und des Monds, multiplicirt durch den Erdhalbmesser, und dividirt durch den Würfel der Entfernung des Monds. Aber diese Wirkung ist nur ein Drit

theil von der Wirkung des Mondes, welche das Doppelte seiner Masse, multiplicirt mit dem Erdhalbmesser, und dividirt durch den Würfel seiner Entfernung ist; folglich verhält sich die Masse des Mondes zur Summe der Massen des Mondes und der Erde wie 3 zu 179, woraus folgt, daß diese Masse sehr nahe $\frac{1}{58,7}$ von der

der Erde ist. Da sein Volumen nur $\frac{1}{49,316}$ von dem der Erde ist, so ist seine Dichtigkeit 0,8401, wenn man die mittlere Dichtigkeit der Erde zur Einheit annimmt, und das Gewicht 1 auf der Erde würde, auf die Oberfläche des Mondes gebracht, sich in 0,2291 verwandeln.

Wenn das Meer in jedem Augenblicke die Gestalt annähme, welche, dem Gleichgewichte der auf dasselbe wirkenden Kräfte angemessen ist, so würde die größte totale Fluth unter dem Äquator ohngefähr drey Fuß haben, und dies ist wirklich der mittlere Werth, den man in dem großen Südmeere beobachtet. Aber die große Verschiedenheit der Fluthen, die man auch in sehr nahen Häfen bemerkt, beweist uns, daß Localumstände die Größe derselben beträchtlich vermehren können.

Die Größe und das Gesetz der Verände-

rungen der totalen Fluthen nahe bey ihrem Maximum und Minimum ist nach der Theorie der Schwere und nach den Beobachtungen völlig einerley. Ihre Zunahme bey ihrer Entfernung von dem Minimum ist das Doppelte ihrer Abnahme bey ihrer Entfernung von dem Maximum, wie die Beobachtungen es zeigen.

Weil die Mondfluth stärker ist, als die Sonnenfluth, so muß die zusammengesetzte Fluth sich hauptsächlich nach der Mondfluth richten, und man muß in einer gegebenen Zeit eben so viele Fluthen haben, als obere oder untere Durchgänge des Mondes durch den Meridian; und dies stimmt mit den Beobachtungen überein. Aber der Augenblick der zusammengesetzten Fluth muß um den Augenblick der Mondfluth nach einem von den Lichtgestalten des Mondes und von dem Verhältnisse seiner Wirkung zu der der Sonne abhängigen Geseze schwingen. Der erste dieser Augenblicke geht vor dem zweyten her von der größten bis zur kleinsten Fluth, er folgt aber auf ihn von der kleinsten bis zur größten, so daß, da die mittlere Zeit der zusammengesetzten Fluth mit der der Mondfluth einerley ist, die mittlere Verspätung der Fluthen von einem Tage zum andern $3505''$ beträgt.

Nach der Theorie also, wie nach den Beobachtungen, ändert sich die Verspätung der Fluthen, wie ihre Höhe, mit den Lichtgestalten des Monds. Die kleinste Verspätung trifft mit der größten Höhe, und die größte Verspätung mit der kleinsten Höhe zusammen und, durch eine merkwürdige Uebereinstimmung, giebt die Theorie für diese Verspätungen, von einem Tage zum andern $2708''$ und $5150''$, eben so wie die Beobachtungen. Diese Uebereinstimmung beweist zugleich die Wahrheit dieser Theorie und die Genauigkeit des angenommenen Verhältnisses zwischen den Wirkungen des Monds und der Sonne. Aendert man dieses Verhältniß ein wenig, so würde es den Beobachtungen der Höhen und der Zwischenzeiten der Fluthen bey weitem nicht Genüge thun; diese geben es folglich mit großer Genauigkeit.

Hier muß eine wichtige Bemerkung angebracht werden, von welcher die Erklärung mehrerer Erscheinungen der Fluthen abhängt.

Wenn das vom Meere bedeckte Sphäroid ein durch Umdrehung entstandener Körper war, so würden die partialen Fluthen in dem Augenblicke des Durchgangs der sie verursachenden Gestirne durch den Mittagskreis

Statt haben: wenn also eine der Syzygien auf den Mittag fiele, so würden die beyden Fluthen, die vom Monde und die von der Sonne verursachte, mit diesem Augenblicke, als dem der größten zusammengesetzten Fluth, zusammenfallen. Diese größte Fluth würde auch noch an dem Tage der Syzygien selbst Statt haben, wenn die beyden partialen Fluthen auf die Durchgänge der sie verursachenden Gestirne durch den Mittagskreis sehr nahe nach einerley Zwischenzeit folgten. Da aber die tägliche Bewegung des Monds in seiner Bahn beträchtlich ist, so kann die Geschwindigkeit dieser Bewegung auf die Zeit, um welche dieses Gestirn vor der Mondfluth hergeht, einen merklichen Einfluß haben. In der That bringt die Wirkung der Sonne und des Monds auf ein Element des Meeres jeden Augenblick eine unendlich kleine Welle hervor, deren Anfang dieses Element ist, und die sich durch die ganze Ausdehnung des Meeres verbreitet; die Summe dieser Wellen macht die Bewegung dieser großen flüssigen Masse aus. Nun ist es einleuchtend, daß die, deren Ursprung weit entfernt ist, eine beträchtliche Zeit brauchen müssen, um in unsere Häfen zu gelangen; die Fluth, die man daselbst be-

obachtet, ist also das Resultat der dem Meere einige Zeit vorher ertheilten Eindrücke. Obschon im Falle eines durch Umdrehung entstandenen vom Meere bedeckten Körpers diese Eindrücke einander so zugeordnet sind, daß die Fluth im Augenblicke des Durchgangs des Gestirns durch den Mittagskreis selbst erfolgt, so kann sie doch, wenn die Tiefe des Meers unregelmäßig ist, auf den Durchgang, der für ihre Ursache angesehen werden muß, nach einem oder etlichen Tagen folgen; und da in dieser Zwischenzeit die Bewegung des Mondes in seiner Bahn, sehr merklich ist, so kann die Zeit, um welche sein Durchgang durch den Mittagskreis früher erfolgt, als die Mondfluth, von derjenigen sehr verschieden ausfallen, um welche der Durchgang der Sonne durch den Meridian früher erfolgt, als die Sonnenfluth.

Wir werden von diesem Unterschiede eine richtige Vorstellung haben, wenn wir uns, wie oben, eine weite, mit dem Meere in Gemeinschaft stehende, und unter dem Meridiane ihrer Mündung sich sehr weit in das veste Land hinein ziehende Röhre gedenken. Wenn man setzt, daß an dieser Mündung die volle See im Augenblicke des Durchgangs des

Gestirns durch den Mittagskreis selbst Statt habe, und dafs sie 21 Stunden brauche, um an das Ende der Röhre zu gelangen, so übersieht man leicht, dafs an diesem letzten Punkte die Sonnenfluth eine Stunde nach dem Durchgange dieses Gestirns durch den Mittagskreis eintreten werde; da aber 2 Mondstage 2,070 Sonnentage ausmachen, so wird die Mondfluth nur 30' nach dem Durchgange des Mondes durch den Mittagskreis erfolgen, so dafs zwischen den Zeiten, um welche die Mondfluth und die Sonnenfluth nach den Durchgängen der sie verursachenden Gestirne folgen werden, ein Unterschied von 70' Statt findet.

Hieraus folgt, dafs das Maximum und das Minimum der Fluth nicht an den Tagen der Syzygien und der Quadraturen selbst, sondern einen oder zwey Tage nachher Statt finden, wenn die Zwischenzeit, nach welcher die Mondfluth auf des Mondes Durchgang durch den Meridian folgt, mit der Zwischenzeit, nach welcher des Mondes Durchgang auf den der Sonne folgt, zusammen genommen, der Zwischenzeit gleich ist, nach welcher die Sonnenfluth auf der Sonne Durchgang durch den Meridian folgt. So erfolgen

in dem vorigen Beyspiele dies Maximum und dies Minimum, welche bey der Mündung der Röhre an den Tagen der Syzygien und der Quadraturen selbst Statt haben, an ihrem Ende erst 21 Stunden nachher.

Durch Vergleichung einer grossen Zahl von Beobachtungen, und durch verschiedene Methoden habe ich gefunden, dafs zu *Brest* die Zwischenzeit, nach welcher die grösste Fluth auf die Syzygien folgt, sehr nahe $1\frac{1}{2}$ Tage beträgt. Daraus folgt, dafs in diesem Hafen die Sonnenfluth $18718''$ nach der Sonne Durchgang, und die Mondfluth $13466''$ nach des Mond Durchgang durch den Meridian eintrete. Die Zeiten der Fluthen sind also zu *Brest* die nämlichen, wie an dem Ende einer mit dem Meere in Gemeinschaft stehenden Röhre, wenn man sich vorstellt, dafs an ihrer Mündung die partialen Fluthen in dem Augenblicke des Durchgangs der Gestirne durch den Mittagskreis selbst Statt haben, und dafs sie $1\frac{1}{2}$ Tage brauchen, um an das Ende derselben zu gelangen, wenn solches $18718''$ östlicher, als ihre Mündung angenommen wird. Ueberhaupt haben mich Beobachtung und Theorie darauf geführt, jeden von unsern Häfen in Frankreich, in Ansehung der Fluthen, als das

Ende einer Röhre zu betrachten, an deren Mündung die partialen Fluthen im Augenblicke des Durchgangs der Gestirne durch den Meridian selbst Statt haben, und sich in $1 \frac{1}{2}$ Tagen an das Ende derselben fortpflanzen, welches man um eine, bey verschiedenen Häfen sehr verschiedene, GröÙe östlicher, als ihre Mündung, annehmen muß.

Es ist zu bemerken, daß der Unterschied der Zwischenzeiten, nach welchen die partialen Fluthen auf den Durchgang der sie verursachenden Gestirne durch den Mittagskreis folgen, die Erscheinungen der Ebbe und Fluth nicht ändert. Für ein System von Sternen, die sich in der Ebene des Aequators gleichförmig bewegen, schiebt er bloß die unter der Voraussetzung, daß diese Zwischenzeiten gleich Null seyen, berechneten Erscheinungen um $1 \frac{1}{2}$ Tage zurück.

Mehrere Philosophen haben das Zurückbleiben der Erscheinungen der Fluthen hinter den Lichtgestalten des Monds der Zeit zugeschrieben, die seine Wirkung braucht, um bis zur Erde zu gelangen; aber diese Hypothese kann mit der unbegreiflichen Wirksamkeit der Anziehungskraft, wovon man die Beweise am Ende dieses Buchs finden wird, nicht

bestehen. Also nicht der Zeit dieses Uebergangs, sondern derjenigen, welche die dem Meere von den Gestirnen ertheilten Eindrücke brauchen, um in unsere Häfen zu gelangen, ist dieses Zurückbleiben zuzuschreiben.

Bisher haben wir vorausgesetzt, die Sonne und der Mond bewegen sich in der Ebene des Aequators gleichförmig; jezt wollen wir ihre Bewegungen und ihre Entfernungen vom Mittelpunkte der Erde sich ändern lassen. Wenn man die Ausdrücke ihrer Wirkung auf das Meer entwickelt, so kann man jedes Glied derselben durch die Wirkung eines in einer kreisförmigen Bahn gleichförmig um die Erde bewegten Gestirns darstellen; es ist also leicht, die den verschiedenen Ungleichheiten der Sonne und des Monds zugehörige Ebbe und Fluth nach den im Vorigen aufgestellten Grundsätzen zu bestimmen.

Wenn man auf solche Art die Erscheinungen der Fluthen der Analyse unterwirft, so findet man, daß die durch die Sonne und den Mond bewirkten Fluthen im umgekehrten Verhältnisse der Würfel ihrer Entfernungen wachsen; die Fluthen müssen also, bey übrigen gleichen Umständen, in der Erdnähe des Monds wachsen, und in seiner Erdferne ab-

nehmen. Diese Erscheinung ist zu *Brest* sehr merklich; die Vergleichung der Beobachtungen hat mir gezeigt, daß auf 100 Secunden Aenderung in dem Halbmesser des Monds $1 \frac{1}{2}$ Fuß Aenderung in der totalen Fluth kommen, wenn der Mond im Aequator ist; und dieses Resultat der Beobachtung stimmt mit dem der Theorie so genau überein, daß man durch dieses Mittel das Gesez der mit der Entfernung des Monds zusammengehörigen Wirkung desselben auf das Meer hätte bestimmen können.

Die Veränderungen der Entfernung der Sonne von der Erde sind bey den Höhen der Fluthen merklich, aber viel weniger, als die der Entfernung des Monds, weil ihre Wirkung zur Erhebung des Meerwassers dreymal kleiner ist, und ihre Entfernung von der Erde in einem kleineren Verhältnisse sich ändert. Dieses Resultat der Theorie stimmt mit den Beobachtungen überein.

Da die Wirkung des Monds gröfser, und seine Bewegung schneller ist, wenn er näher bey der Erde ist, so muß die zusammengesetzte Fluth bey den Syzygien in der Erdnähe der Mondsfluth und diese selbst dem Durchgange des Monds durch den Meridian sich nähern; denn wir haben gesehen, daß die par-

tiale Fluth dem sie verursachenden Gestirne sich um so viel mehr näherte, je schneller seine Bewegung ist. In der Erdnähe müssen also die Fluthen am Tage der Syzygien voreilen, und in der Erdferne zurückbleiben. Wir haben im ersten Buche gesehen, daß, nach den Beobachtungen, jede Minute der Vermehrung oder Verminderung in dem Mondshalbmesser ein Voreilen oder Zurückbleiben der vollen See von 354" zur Folge hat, und dies ist sehr nahe das nämliche, was die Theorie giebt.

Die Mondsparallaxe hat auch noch auf die Zwischenzeit zweyer auf einander folgenden Morgen- oder Abendfluthen gegen die Syzygien, oder in der Nähe des Maximums der Fluthen einen Einfluß.

Nach der Theorie bringt eine Minute Aenderung in dem Mondshalbmesser 256" Aenderung in dieser Zwischenzeit, genau so, wie nach den Beobachtungen, hervor.

Diese beyden Erscheinungen haben in den Quadraturen auf gleiche Art Statt; aber die Theorie zeigt, daß sie dort dreymal kleiner sind, als in den Syzygien, und eben das bestätigen die Beobachtungen. Um die Ursache davon zu begreifen, muß man erwägen, daß das tägliche Zurückbleiben der Mondfluth

zunimmt, wenn die Bewegung des Monds schneller ist, wie dies in der Erdnähe Statt hat, und daß das Zurückbleiben der Fluthen bey den Syzygien zunimmt, und sich dem täglichen Zurückbleiben der Mondfluth nähert, wenn die Kraft des Monds zunimmt; diese beyden Ursachen wirken also zusammen, die Zwischenzeit der Fluthen bey den Syzygien in der Erdnähe zu vergrößern. In den Quadraturen, wenn die Kraft des Monds zunimmt, vermindert sich das tägliche Zurückbleiben der Fluth und nähert sich dem Zurückbleiben der Mondfluth; folglich wächst die Zwischenzeit der Fluthen durch die Geschwindigkeit der Bewegung des Monds in der Erdnähe, und nimmt ab durch die Zunahme der Kraft des Monds; da also alsdann diese beyden Ursachen einander entgegenwirken, so ist die Zunahme des Zurückbleibens der Fluth blos die Wirkung ihres Unterschieds, und aus diesem Grunde ist sie kleiner, als in den Syzygien.

Nach dieser Entwickelung der Theorie der Ebbe und Fluth des Meeres unter der Voraussetzung, daß die Sonne und der Mond sich in der Ebene des Aequators bewegen, wollen wir die Bewegungen dieser Gestirne betrachten, wie sie in der Natur wirklich beschaffen sind.

sind. Wir werden dabey aus ihren Abweichungen neue Erscheinungen hervorgehen sehen, welche, mit den Beobachtungen verglichen, die vorhergehende Theorie immer mehr und mehr bestätigen werden.

Dieser allgemeine Fall läßt sich auch noch auf den zurückführen, da mehrere Gestirne sich gleichförmig in der Ebene des Aequators bewegen, aber man muß diesen Gestirnen sehr verschiedene Bewegungen in ihren Bahnen geben. Die einen bewegen sich langsam in denselben, und bringen eine Ebbe und Fluth hervor, deren Periode von einem halben Tage ist; andere haben eine Umlaufsbewegung, die der Hälfte von der Umdrehungsbewegung der Erde beynahe gleich ist, und diese bringen eine Ebbe und Fluth hervor, die eine Periode von ohngefähr einem Tage haben; andere endlich haben eine Umlaufsbewegung, die der Umdrehungsbewegung der Erde beynahe gleich ist, und diese bringen eine Ebbe und Fluth hervor, die eine Periode von einem Monate und von einem Jahre haben. Wir wollen nun diese drey Arten von Fluthen untersuchen.

Die erste schließt nicht nur die vorhin betrachteten Schwingungen ein, welche von

L

den Bewegungen der Sonne und des Monds und den Veränderungen ihrer Entfernungen von der Erde abhängen, sondern noch andere, die von ihren Abweichungen abhängig sind. Wenn man diese der Analyse unterwirft, so findet man, daß die totalen Fluthen der Syzygien der Nachtgleichen gröfser sind, als die der Syzygien der Sonnenstillstände, in dem Verhältnisse des Halbmessers zu dem Quadrate des Cosinus der Abweichung der Sonne oder des Monds gegen die Sonnenstillstände; man findet ferner, daß die Fluthen der Quadraturen der Sonnenstillstände die der Quadraturen der Nachtgleichen in einem größern Verhältnisse übertreffen, als das des Halbmessers zum Quadrate des Cosinus der Abweichung des Monds gegen die Quadraturen der Nachtgleichen ist. Diese Resultate der Theorie werden durch alle Beobachtungen bestätigt, welche über die Verminderung der Wirkung der Gestirne, nach dem Verhältnisse ihrer Entfernung vom Aequator, keinen Zweifel übrig lassen.

Die Abweichungen der Sonne und des Monds sind auch selbst an den Gesezen der Abnahme und des Wachsthums der Fluthen, von dem Maximum und Minimum an gerechnet, merklich. Ihre Abnahme beträgt nach

den Beobachtungen, wie nach der Theorie, ohngefähr ein Drittheil, und erfolgt schneller in den Syzygien der Nachtgleichen, als in den Syzygien der Sonnenstillstände; ihre Zunahme ist nach den Beobachtungen, wie nach der Theorie, ohngefähr zweymal schneller in den Quadraturen der Nachtgleichen, als in den Quadraturen der Sonnenstillstände.

Die Lage der Knoten der Mondsbahn ist auf gleiche Art an den Höhen der Fluthen, durch ihren Einfluss auf die Abweichungen des Monds, merklich.

Die Bewegung dieses Gestirns in gerader Aufsteigung, welche in den Sonnenstillständen geschwinder, als in den Nachtgleichen ist, muß die Mondfluth dem Durchgange des Gestirns durch den Meridian nähern; die Zeit der Fluthen bey den Syzygien in den Nachtgleichen muß also hinter der Zeit der Fluthen bey den Syzygien in den Sonnenstillständen zurückbleiben. Aus der nämlichen Ursache muß die Zeit der Fluthen bey den Quadraturen in den Sonnenstillständen hinter der Zeit der Fluthen bey den Quadraturen in den Nachtgleichen zurückbleiben, und die Theorie giebt diese Verspätung ohngefähr viermal so groß, als die erste.

Die Abweichungen der Sonne und des Monds haben auch noch einen Einfluss auf die tägliche Verspätung der Fluthen in den Nachtgleichen und Sonnenstillständen; diese muß gegen die Syzygien in den Sonnenstillständen größer seyn, als gegen die Syzygien in den Nachtgleichen; und noch vielmehr größer gegen die Quadraturen der Nachtgleichen, als gegen die Quadraturen der Sonnenstillstände, und in diesem zweyten Falle ist der Unterschied der Verspätungen viermal größer, als in dem ersten. Die Beobachtungen bestätigen diese verschiedenen Resultate der Theorie mit einer merkwürdigen Genauigkeit.

Die Fluthen der zweyten Art, deren Periode von einem Tage ist, sind dem Producte des Sinus durch den Cosinus der Abweichung der Gestirne proportionirt; sie sind gleich Null, wenn die Gestirne im Aequator sind, und wachsen mit ihrer Entfernung von demselben. Durch ihre Vereinigung mit den Fluthen der ersten Art machen sie die zwey Fluthen des nämlichen Tags ungleich. Aus dieser Ursache ist zu *Brest*, gegen die Syzygien des Winterstillstands, die Morgenfluth ohngefähr um 0,563 Fuß größer, als die Abendfluth, und gegen die Syzygien des

Sommerstillstands um eben so viel kleiner, wie wir im ersten Buche gesehen haben. Eben diese Ursache macht auch gegen die Quadraturen der Herbstnachtgleiche die Morgenfluth um 0,419 Fufs gröfser, als die Abendfluth, aber gegen die Quadraturen der Frühlingsnachtgleiche um eben so viel kleiner.

Ueberhaupt sind die Fluthen der zweyten Art in unsern Häfen nicht beträchtlich; ihre Gröfse ist unbestimmt, und hängt von Localumständen ab, welche sie vermehren, und zugleich die Fluthen der ersten Art so weit vermindern können, dafs sie ganz unmerklich werden. Wir wollen uns eine weite, durch ihre beyden Enden mit dem Meere in Gemeinschaft stehende Röhre vorstellen, so wird die Fluth in einem über dem Rande dieser Röhre gelegenen Hafen das Resultat der durch ihre beyden Enden fortgepflanzten wellenförmigen Bewegungen seyn. Nun kann es geschehen, dafs nach dem Verhältnisse der Lage des Hafens die wellenförmigen Bewegungen der ersten Art in solchen Zeiten dahin gelangen, dafs das Maximum der einen mit dem Minimum der andern zusammenfällt, und wenn sie überdies einander gleich sind, so ist klar, dafs, vermöge dieser wellenförmigen Bewegungen, in

diesem Hafen keine Ebbe und Fluth Statt haben wird. Aber eine durch die wellenförmigen Bewegungen der zweyten Art bewirkte Fluth wird man daselbst haben; und da diese eine zweymal längere Periode haben, so werden sie nicht so übereinstimmen, daß das Maximum derer, die durch die eine Mündung kommen, mit dem Minimum derer, die durch die andere kommen, zusammenträfe. In diesem Falle wird man gar keine Ebbe und Fluth haben, wenn die Sonne und der Mond in der Ebene des Aequators seyn werden; aber die Fluth wird merklich werden, wenn der Mond sich von dieser Ebene entfernen wird, und alsdann wird man täglich nur *eine* vom Monde bewirkte Ebbe und Fluth haben, so daß, wenn die Fluth beym Untergange des Monds erfolgt, die Ebbe bey seinem Aufgange eintreten wird. Diese sonderbare Erscheinung ist zu *Baza*, einem Hafen des Königreichs *Tunkin*, und an einigen andern Orten, beobachtet worden. Es ist wahrscheinlich, daß in den verschiedenen Häfen der Erde gemachte Beobachtungen alle zwischen die Fluthen zu *Baza* und die in unsern Häfen fallende Verschiedenheiten darbieten würden.

Wir wollen endlich die Fluthen der drit-

ten Art betrachten, deren Perioden sehr lang und von der Umdrehung der Erde unabhängig sind. Wären diese Perioden von unendlicher Dauer, so würden diese Fluthen keine andere Wirkung haben, als daß sie die beständige Gestalt des Meers veränderten, welches bald in den Zustand des Gleichgewichts kommen würde, der eine Folge von den sie verursachenden Kräften wäre. Man übersieht aber leicht, daß die Länge dieser Perioden die Wirkung dieser Fluthen sehr nahe zur nämlichen machen müsse, wie in dem Falle, wenn sie unendlich wäre; man kann also das Meer betrachten, als wenn es beständig im Gleichgewichte wäre unter der Einwirkung der erdichteten Gestirne, welche die Fluthen der dritten Art hervorbringen, und sie unter dieser Voraussetzung bestimmen. Diese Fluthen sind sehr klein; indessen sind sie zu *Brest* doch merklich, und dem Resultate der Rechnung gemäß.

Man sieht aus dieser Darstellung die Uebereinstimmung der auf das Gesez der allgemeinen Schwere gegründeten Theorie mit den Erscheinungen der Höhen und der Zwischenzeiten der Fluthen. Hätte die Erde keinen Trabanten, und wäre ihre Bahn kreisförmig und läge sie in der Ebene des Aequators, so hätten

wir zur Erkenntniß der Wirkung der Sonne auf das Meer kein anderes Hülfsmittel, als die Zeit der vollen See, die täglich die nämliche wäre, und das Gesez ihrer Entstehung. Aber die Wirkung des Monds bringt durch ihre Verbindung mit der der Sonne, in den Fluthen Veränderungen hervor, die sich auf seine Lichtgestalten beziehen, und deren Uebereinstimmung mit den Beobachtungen der Theorie der Schwere eine große Wahrscheinlichkeit giebt. Alle Ungleichheiten der Bewegung der Abweichung und der Entfernung dieser zwey Gestirne veranlassen eine große Menge von Erscheinungen, welche die Beobachtung bekannt gemacht hat, und welche diese Theorie gegen alle Angriffe sicher stellen. So dienen also die Verschiedenheiten in der Wirkung der Ursachen, um das Daseyn der letzteren vestzusezen. Da die Wirkung der Sonne und des Monds auf das Meer, als eine nothwendige Folge der durch alle himmlischen Erscheinungen erwiesenen allgemeinen Attraction, durch die Erscheinungen der Ebbe und Fluth eine directe Bestätigung erhält, so ist sie keinem Zweifel mehr unterworfen. Sie ist jezt zu einem solchen Grade der Evidenz gebracht, daß alle Gelehrten, die von diesen Erscheinungen

unterrichtet, und in der Geometrie und Mechanik geübt genug sind, um die Verhältnisse derselben zu dem Gesetze der allgemeinen Schwere zu begreifen, darüber völlig einverstanden sind.

Eine lange Reihe von noch genaueren Beobachtungen, als die bisher gemachter, wird die bereits bekannten Elemente berichtigen, den Werth der noch ungewissen vorsezen, und die bis jetzt in Fehlern der Beobachtungen verwickelten Erscheinungen enthüllen. Die Kenntniß der Erscheinungen der Ebbe und Fluth ist eben so wichtig, als die der Ungleichheiten der himmlischen Bewegungen, und verdient eben so sehr die Aufmerksamkeit der Beobachter.

Man hat verabsäumt, sie mit der gehörigen Genauigkeit zu verfolgen, wegen der Unregelmäßigkeiten, die sie zeigen; aber ich kann nach einer reifen Prüfung versichern, daß diese Unregelmäßigkeiten verschwinden, wenn man die Beobachtungen vervielfältigt. Zu *Brest*, dessen Lage zu Beobachtungen dieser Art sehr günstig ist, braucht ihre Anzahl zu dieser Absicht nicht einmal sehr beträchtlich zu seyn.

Ich habe nun noch von der Methode zu sprechen, nach welcher man für jeden Tag

die Zeit der Fluth bestimmen kann. Wir erinnern uns, daß jeder unserer Hafens betrachtet werden kann, als an dem Ende einer Röhre liegend, an deren Mündung die partialen Fluthen im Augenblicke des Durchgangs durch den Mittagskreis selbst anlangen, und $1\frac{1}{2}$ Tage Zeit brauchen, um an ihr Ende, das man um eine gewisse Anzahl Stunden östlicher, als ihre Mündung, annehmen muß, zu gelangen; diese Zahl nenne ich die *Grundzeit* (*heure fondamentale*) des Hafens. Man kann sie leicht aus der Zeit der Einrichtung (*établissement*) des Hafens herleiten, wenn man bedenkt, daß die letztere die Zeit der Fluth ist, da sie mit einer der Syzygien zusammenfällt.

Da das Zurückbleiben der Fluthen von einem Tage zum andern, alsdann $2708''$ beträgt, so wird es für $1\frac{1}{2}$ Tage $3955''$ betragen; diese Gröfse muß man zur Zeit der Einrichtung hinzusezen, um die Grundzeit zu erhalten.

Wenn man nun die Zeit der Fluthen an der Mündung um die Summe von 15 Stunden und der Grundzeit vermehrt, so erhält man die Zeiten der zugehörigen Fluthen in dem Hafen. Die Aufgabe beruhet also auf der Bestimmung der Zeit der Fluthen an einem Orte von bekannter Länge, unter der Voraussetzung,

daß die partialen Fluthen im Augenblicke des Durchgangs der Gestirne durch den Mittagskreis eintreten. Die Analysis giebt dafür sehr einfache Formeln, die sich leicht in Tafeln auflösen lassen, welche mit Nuzen in die Schifferkalender eingerückt werden könnten.

Eilftes Kapitel.

Von der Beständigkeit des Gleichgewichts der Meere.

Mehrere unregelmäßige Ursachen, wie die Winde und die Erdbeben, erschüttern das Meer, heben es auf große Höhen, und treiben es zuweilen aus seinen Grenzen. Indessen zeigt uns die Beobachtung, daß es bestrebt ist, seinen Zustand des Gleichgewichts wieder anzunehmen, und daß die Reibungen und Widerstand aller Art, ohne die Wirkung der Sonne und des Mondes, es bald wieder in denselben zurückbringen würden. Dies Bestreben macht das *veste* oder *beständige* Gleichgewicht aus, wovon im dritten Buche die Rede war. Wir haben gesehen, daß die Beständigkeit des Gleichgewichts eines Systems