Dritter Theil:

Physische Astronomie.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Dritte Haupt-Abtheilung.

Physische Astronomie
oder
Gesetze der himmlischen Bewegungen.

Kapitel I.

Eigenschaften der Körper.

§. 1. (Allgemeine Eigenschaften der Körper.) Wohin wir unsere Blicke wenden, finden wir uns von Dingen umgeben, die auf unsere Sinne einwirken und die wir Körper nennen. Was sind sie, woher kommen und worin bestehen sie, und wie werden wir uns ihres Daseyns bewußt? — Die Metaphysiker haben sich lange darüber gestritten: sie streiten noch, und sie werden es wahrscheinlich immer thun.

Ohne diesen gelehrten Forschern das Vergnügen, unauflösbare Räthsel lösen zu wollen, zu mißgönnen, werden wir uns damit begnügen, dasjenige, was allein in unserer Macht ist: die Wirkungen dieser Körper auf einander, näher kennen zu lernen.

Unsere ersten Begriffe von den Körpern führen uns auf Eigenschaften derselben, die ihnen allen zukommen, an denen wir sie erkennen und ohne die wir sie uns nicht zu denken vermögen. Diese sind Größe, Gestalt und Undurchdringlichkeit.

§. 2. (Größe, Gestalt und Undurchdringlichkeit.) Jeder Körper muß einen Raum einnehmen oder ein gewisses Volum haben, wie groß oder wie klein auch dasselbe seyn mag. Darin besteht seine Größe. — Jeder Körper muß ferner diesen seinen Raum auf eine bestimmte Art einnehmen und von dem übrigen Raume durch gewisse Gränzen oder Flächen getrennt seyn, worin seine Form oder seine Gestalt besteht. Endlich können auch zwei oder mehrere Körper nicht zugleich an demselben

Orte seyn. Sie können sich wohl verdrängen, um die Orte der verdrängten einzunehmen; sie können sich neben den kleinsten Theilen anderer Körper eindrängen, wie Wasser in den Schwamm, wie Salz in das Wasser; aber diese kleinsten Theile selbst müssen unverändert fortbestehen, und der Ort, den einer dieser Theile einnimmt, kann nicht zugleich von einem andern eingenommen werden, wenn anders unser Begriff vom Körper nicht seine Bedeutung verlieren soll. Darin besteht die Undurchdringlichkeit oder die Impenetrabilität der Körper.

Gestalt und Volum sind zwei verschiedene und von einander unabhängige Eigenschaften jedes Körpers. Das Volum kann bei derselben Gestalt sehr verschieden seyn und umgekehrt. Das Volum der Sonne ist Millionenmal größer, als das der Erde, aber die Gestalt beider ist gleich, da beide Kugeln sind. So können auch zwei Körper, z. B. eine Kugel und ein Würfel sehr verschiedene Gestalten und doch dasselbe Volum, d. h. denselben Rauminhalt haben. Eben so kann die Oberfläche einer Kugel gleich groß mit der einer ebenen Tafel oder die Länge eines Kreisbogens gleich groß mit der einer geraden Linie seyn, während doch die Gestalten dieser Flächen oder dieser Linien sehr verschieden sind.

§. 3. (Besondere Eigenschaften der Körper.) Wenn man aber den Begriff eines Körpers, wie er uns durch die Erfahrung gegeben wird, noch näher untersucht, so findet man, außer jenen allgemeinen Eigenschaften desselben, noch mehrere andere, die ihm zwar nicht mehr nothwendig zukommen, die aber, als Resultate unserer Beobachtungen und wegen ihrer Anwendbarkeit in der Folge, eine besondere Betrachtung verdienen.

§. 4. (I. Porosität.) Das Volum, welches die Körper einnehmen, wird, der Erfahrung gemäß, von den Theilen, selbst von den kleinsten Theilen dieser Körper, nicht vollständig eingenommen; denn diese Theile sind nicht in absoluter Berührung unter einander, sondern sie sind durch Zwischenräume, Poren, getrennt, deren Inhalt selbst nicht zu dem eigentlichen Körper gehört. Das Volum eines jeden Körpers besteht also aus solchen, den Körper constituirenden Theilen desselben und aus den diese Theile trennenden Poren, die entweder leer oder mit andern Substanzen angefüllt sind.

Wenn die Poren eines der Atmosphäre ausgesetzten Körpers größer sind, als die kleinsten Theile, aus welchen die Atmosphäre besteht, so dringt die letzte in jene Poren ein. So sieht man, wenn Holz, Kreide oder Zucker auf den Boden eines mit Wasser gefüllten Gefäßes gebracht wird, die durch den Druck des Wassers aus den Poren jener Körper herausgedrängte Luft in der Gestalt von Blasen auf die Oberfläche des Wassers steigen. Wenn eine lange, verticale Röhre, deren Boden mit Holz verschlossen ist, mit Quecksilber gefüllt wird, so sieht man das letzte in der Gestalt eines feinen Silberregens durch den Boden dringen. Unsere gewöhnlichen Filtrationen beruhen ganz auf demselben Prinzip, und man wird z. B. das Wasser von allen fremden Bestandtheilen reinigen, wenn man es durch ein Filtrum von Papier, von porösem Stein, von einem Sand- oder Kohlen-Lager gehen läßt, vorausgesetzt, daß die Poren des Filtrums kleiner sind, als die Dimensionen der fremdartigen Körper, von welchem man das Wasser befreien will.

Diese Porosität wird, so viel uns bekannt, bei allen Körpern, selbst bei den Metallen und Steinen angetroffen. Unter den kieselartigen Steinen ist der sogenannte Hydrophan in seinem gewöhnlichen Zustande nur sehr wenig durchsichtig, aber er wird vollkommen diaphan, wenn er eine Zeit im Wasser gelegen hat. Uebrigens darf immer noch bemerkt wer-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

den, daß das, was wir Undurchdringlichkeit der Materie nennen, vielleicht den Körpern selbst nicht eben nothwendig zukömmt. Wir schließen ihr Daseyn nur aus Erfahrungen, denen wir dann, durch Induction, eine allgemeine Gültigkeit geben. Aber man könnte vielleicht auch Erfahrungen für das Gegentheil anführen, z. B. die Wirkungen des Lichts, der magnetischen und electrischen Materie u. s. w. Zwar suchen wir uns hier mit den Poren der Körper zu helfen, aber diese sind doch nur wieder angenommen, weil wir die Materie an sich, vielleicht mit Unrecht, für undurchdringlich halten. Glücklicher Weise hängen von diesen, nicht sowohl physischen als vielmehr metaphysischen Speculationen unsere Kenntnisse der äußeren Erscheinungen der Natur nicht ab, und nur mit diesen letzten beschäftiget sich der eigentliche Naturforscher.

§. 5. (II. Compressibilität.) Durch Druck oder Schlag können die meisten Körper in einen engeren Raum gebracht werden. Ihr Volum nimmt ab, ohne daß die Anzahl ihrer kleinsten Theile vermindert wird. Dieser Druck muß daher die Größe der Poren dieser Körper vermindern, oder er muß die Theile dieser Körper einander näher bringen. Wenn sie, nachdem der Druck aufgehört hat, ihre frühere Gestalt mit einer gewissen Kraft wieder anzunehmen sich bestreben, so nennt man diese Kraft Elasticität. Alle elastische Körper müssen daher compressibel seyn, aber nicht alle compressible Körper sind elastisch.

§. 6. (III. Ausdehnbarkeit.) Beinahe alle Körper nehmen, wenn sie erwärmt werden, einen größeren Raum ein, als sie bei einer geringeren Temperatur eingenommen haben. Dasselbe thun alle luftförmige Körper (Gase), wenn sie von dem auf sie lastenden Drucke befreit werden. Durch diese Ausdehnung muß daher die Dimension der Poren der Körper vergrößert werden. Eine schlaffe, beinahe ganz luftleere Blase schwillt auf, wenn sie mit wohl verschlossener Oeffnung auf einen erwärmten Ofen gebracht wird, und sinkt wieder in ihren vorigen Zustand zurück, wenn die in ihr verschlossene Luft auskühlt. Die eisernen Schienen unserer Wagenräder werden gewöhnlich etwas kleiner, als die Peripherie des Rades von Holz gemacht, aber durch starke Hitze vergrößert, passen sie genau auf das Holz, welches sie noch nach der Auskühlung so stark anziehen, daß sie, selbst ohne Befestigung durch Nägel, lange auf dem Rade festhalten können. Wenn sich Flaschenstöpsel nicht ohne Gefahr für die Flasche ausziehen lassen, so umwindet man den Hals derselben mit in heißes Wasser getauchten Tüchern, wodurch die Oeffnung der Flasche erweitert und der Kork ohne Mühe herausgebracht wird. Als in dem Gebäude des Conservatoire des Arts zu Paris die beiden gegenüberstehenden Seitenwände an ihren oberen Stellen auswärts gewichen waren, ließ Molard sie durch mehrere eiserne Stangen verbinden, die durch beide Mauern gingen und an ihren äußersten Enden mit Schrauben versehen waren. Wenn diese Stangen durch untergestellte Lampen erhitzt und verlängert waren, wurden die Schrauben näher an die Mauern gedreht, und dadurch die Wände von den bei ihrer Verkühlung sich wieder verkürzenden Stangen einander näher und durch wiederholte Versuche endlich ganz in die frühere senkrechte Lage gebracht.

§. 7. (IV. Theilbarkeit.) Alle Körper von noch merkbarem Volum, selbst die kleinsten, lassen sich, der Erfahrung gemäß, in noch kleinere Theile trennen. Diese Theilung geht, unseren Beobachtungen zu Folge, ungemein weit und vielleicht selbst ins Unendliche. Newton lehrte uns der erste die ungemein geringe Dicke mancher durchsichtigen Flächen kennen und selbst berechnen, indem er die Farben, welche sie bei verschiedenen Dicken zurückwerfen, zu diesem Zwecke benützte. Eine Seifenblase ist

eine hohle Kugelschaale, die je nach der Dicke ihrer einzelnen Stellen auch in verschiedenen Farben spielt. Kurz vor ihrem Platzen zeigt sich auf dem höchsten Theile derselben ein schwarzgrauer Punkt, und dort ist die Dicke der Blase, nach Newton's Rechnungen, noch nicht der zwei und ein halb Millionste Theil eines Zolls. Die durchsichtigen Flügel mancher Insekten sind so dünn, daß 50000 derselben übereinander gelegt, noch nicht die Dicke des vierten Theils eines Zolls betragen würden. In unseren vergoldeten Silberfäden ist das sie ringsum bedeckende Gold so ausgedehnt, daß dasselbe bei einem Draht von einem Fuß Länge noch nicht den $1^1/_2$ Millionsten Theil eines Lothes wiegt. Ein Zoll dieses Silberdrahts würde also nur den 18 Millionsten und der noch immer gut sichtbare hundertste Theil dieses Zolles würde den 1800 Millionsten Theil von einem Lothe Goldes enthalten. Dasselbe Stück, durch ein Mikroscop mit einer 500maligen Vergrößerung betrachtet, würde 500mal länger und also auf diesem Silberfaden das ihn bedeckende Gold in 900000 Millionen Theile getheilt erscheinen, deren jeder noch alle die Eigenschaften dieses Metalls hat, seine Farbe, seine Dichte, seine frühere Verwandtschaft zu den chemischen Agentien u. s. w.

Noch viel weiter scheint diese Theilbarkeit bei den organischen Körpern zu gehen. Unser Blut z. B. ist nicht eine gleichmäßige rothe Flüssigkeit, sondern es besteht aus kleinen rothen Kügelchen, die in einer transparenten Flüssigkeit, dem Serum, schwimmen. Bei den Säugthieren sind diese Kügelchen vollkommen rund, bei Vögeln und Fischen aber elliptisch. In dem Blute der Menschen beträgt der Durchmesser dieser Kügelchen nur den 4000sten Theil eines Zolls, woraus folgt, daß in einem solchen Blutstropfen, der an der Spitze der feinsten Nadel hängen bleibt, wenigstens eine Million solcher Kügelchen enthalten seyn muß.

Und doch haben uns die Mikroscope schon Thiere gezeigt, die noch kleiner sind, als diese Kügelchen, von denen Millionen auf einander gehäuft noch keinem Sandkorn gleicheu und die zu Tausenden mit Eins durch die feinste Oeffnung einer Nadel schwimmen; — und doch hat jedes derselben seine Glieder und Eingeweide, seine Sinne und seinen Instinkt, und, wie man aus ihren Bewegungen sieht, auch seinen freien Willen. Aus welchen feinen Theilen muß der Organismus dieser Wesen zusammengesetzt seyn! Müssen sie nicht auch ein Herz, Arterien und Venen, Muskeln und Nerven haben, und von welcher Größe sollen wir dieselben annehmen? Wenn die Kügelchen ihres Blutes zu den unseren dasselbe Verhältniß haben, wie die Größe ihres ganzen Körpers zu dem unseren, wer mag den Durchmesser derselben berechnen?

Da uns hier unsere feinsten Instrumente verlassen und da unsere besten Mikroskope nicht mehr bis zu jenen Gränzen vorzudringen im Stande sind, so scheinen jene unbekannte Gegenden nicht mehr für eigentliche Beobachtungen, sondern bloß für Muthmaßungen geeignet, mit welchen die Einbildungskraft nach Gefallen spielen kann. Aber diese Muthmaßungen sind doch ganz anderer Art, als jene, welche unsere hyperphysischen Naturphilosophen ihren Speculationen zu Grunde zu legen pflegen. Sie sind auf Thatsachen gebaut, auf eine eigene Gattung von Beobachtungen, mit einem Instrumente angestellt, das wir in uns selbst tragen und das unendlich feiner gebaut ist, als alle diejenigen, die bisher aus den Werkstätten unserer Künstler hervorgegangen sind. Unser Nervensystem ist, besonders im gereizten Zustande, von einer Empfindlichkeit, die wir nur fühlen, aber nicht mehr berechnen oder mit dem Verstande angeben können. Unsere Geruchsnerven z. B. zeigen uns das Daseyn riechbarer Körper in der Luft, von denen keine

chemische Analyse auch nur die geringste Spur auffinden kann. Ein einziger Gran Moschus verbreitet in einem großen und luftigen Zimmer, oft mehrere Jahre durch, einen starken Geruch, und Papiere, die neben Moschus gelegen haben, können die Reise nach Ostindien und zurück machen, ohne ihren Geruch zu verlieren. Bedenkt man nun, wie viele Moschustheilchen sich von einem solchen Körper in jeder Secunde absondern müssen, um nach allen Richtungen durch den Geruch erkannt zu werden, so darf man wohl über die Menge, also auch über die Kleinheit dieser Theilchen erstaunen.

Nicht minder bewunderungswürdig erscheint uns der Sinn des Gesichtes. Das Licht des Mondes, auch viele tausendmale in unsern Hohlspiegeln und Brenngläsern verdichtet, zeigt nicht die geringste Wirkung, weder auf unsere Thermometer, noch auch auf die chemischen Erscheinungen der Körper, die diesem höchst condensirten Lichte ausgesetzt werden. Aber so wie auch nur ein Strahl des nicht verdichteten Mondlichtes die Pupille unseres Auges trifft, zieht sich dieselbe sogleich zusammen, und doch bleibt diese Pupille ganz unbeweglich, wenn man sie mit den Spitzen einer Nadel kratzt, wenn man sie mit Säuren benetzt, oder wenn man electrische Funken auf die Oberfläche derselben leitet. — Diese Beispiele mögen uns lehren, mit welcher Behutsamkeit man zu Werke gehen muß, wenn man von Experimenten, an leblosen Körpern angestellt, auf jene schließen will, die an den mit Leben begabten Substanzen Statt haben. Ohne Zweifel sind unsere Physiologen besonders aus dem Grunde noch so weit hinter ihren eigenen Wünschen zurück, weil sie ihre Beobachtungen an dem thierischen Organismus gewöhnlich erst dann anstellen können, wenn bereits das Leben aus ihm entflohen ist.

§. 8. (Krystallisation der Körper.) Durch Bemerkungen dieser Art, die sich so oft darbieten, wird man versucht, alle Körper der Natur als ins Unendliche theilbar anzunehmen. Allein die sonderbaren Phänomene der Krystallisation scheinen dieser Annahme zu widersprechen. — Wenn Salz mit Wasser gemischt und das Gemenge einer höheren Temperatur ausgesetzt wird, so verdampft das Wasser allmählig, und wenn einmal so viel Wasser sich in Dampfgestalt entfernt hat, daß der noch übrige Rest desselben nicht mehr im Stande ist, die ganze Masse des Salzes im flüssigen Zustande zu erhalten, so sieht man dieses Salz in regelmäßigen Gestalten an dem Boden und den Wänden des Gefäßes sich ansetzen, und diese Gestalten sind durchaus dieselben für dieselbe Gattung des Salzes, und verschieden für verschiedene Gattungen: Kugel, Würfel, drei-, vier- und mehrseitige Pyramiden u. s. f. Wenn man diese Krystalle gehörig spaltet, um sie in immer kleinere Theile zu theilen, so bemerkt man, daß die ursprüngliche Gestalt derselben, z. B. die Würfelform, auch bei den kleinsten Theilen dieser Krystalle wieder erscheint, und daß diese kleinsten Theile an ihren Seitenflächen eine sehr hohe Politur haben, die man durch keine mechanische Kunst erreichen kann. Es scheint daher, als ob die letzten Theile der krystallisirten und vielleicht aller Körper der Natur, oder daß die Atome dieser Körper durchaus eine bestimmte und für jeden Körper eigenthümliche Gestalt haben, wie diese denn auch schon bei den meisten, selbst bei den Steinen und Metallen durch unmittelbare Beobachtungen nachgewiesen worden ist. Vielleicht hängen die Eigenschaften, durch welche sich diese Körper unter einander auszeichnen, nur von diesen Gestalten und gegenseitigen Stellungen ihrer Atome ab. Unsere Flüssigkeiten krystallisiren alle in der Kälte, und wenn unsere Luftarten in eine so niedere Temperatur gebracht werden könnten, in welcher sie ebenfalls zu festen Körpern werden, so wür-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

den sie ohne Zweifel dieselben Erscheinungen zeigen. Es ist sehr wahrscheinlich, daß diese letzten Elemente aller Körper ihrer Gestalt und Natur nach unveränderlich und unzerstörbar sind, da wir sie nach allen, auch den gewaltsamsten Veränderungen wieder finden, welche wir mit diesen Körpern, durch mechanische oder chemische Kräfte vornehmen, und daß sie endlich, obschon sie selbst, ihrer ungemein geringen Dimensionen wegen, noch durch keine Kunst in den Bereich unserer Sinne gebracht werden konnten, doch von einer bestimmten, wenn gleich uns unangeblichen Größe seyn müssen.

§. 9. (Bewegung der Körper; Anziehung und Abstoßung derselben.) Außer diesen, allen Körpern der Natur gemeinsamen Eigenschaften bemerken wir aber noch eine andere, die in ganz besonderem Grade unsere nähere Betrachtung verdient. Wir sehen, daß beinahe alle diese Körper und selbst die Theile, aus welchen sie bestehen, ihre Lage gegen einander ändern, oder daß sie sich bewegen.

In diesen Körpern selbst können wir aber nichts finden, was diese Bewegung erzeugen sollte. Wir sind daher gezwungen, die Ursache derselben außer ihnen zu suchen. In den thierischen, belebten Körpern scheint wohl etwas zu liegen, das eine Bewegung derselben hervorbringt, aber diese dem Willen des Thieres gehorchende Bewegung seiner Glieder kann nicht in diesen Gliedern selbst, oder in irgend einem andern Theile des Körpers gesucht werden, da wir sie im Schlafe, und noch mehr nach dem Tode des Thieres, nicht mehr finden, wenn gleich der ganze Körper durch diesen Tod noch keine merkbare Veränderung in der Zusammenfügung seiner Theile erlitten hat. Diese freiwillige Bewegung der lebenden Geschöpfe scheint daher auch hier keineswegs eine Wirkung der an sich todten Materie selbst, sondern vielmehr ein Resultat des diese Materie belebenden und von ihr ganz verschiedenen Wesens zu seyn, dessen Natur für uns noch in tiefes Dunkel gehüllt ist.

Was ist es also, was zwei Wassertropfen einander nähert; was das Eisen dem Magnete entgegenführt; was den Stein, den wir aus der Hand fallen lassen, zur Erde fallen macht; was die Planeten um die Sonne und die Satelliten um ihren Hauptplaneten treibt? — Wir wissen es nicht. Wir sehen, daß sich die Körper bewegen, und da wir die Ursache dieser Bewegung nicht in den Körpern selbst voraussetzen können, so suchen wir sie außer ihnen, in den andern Körpern, zu oder von denen sich jene bewegen. Wir sagen, daß diese Körper gegen jene eine Anziehung oder Abstoßung äußern. — So kömmt es uns vor, und diese beiden Ausdrücke sind auch nichts weiter, als das Bild, welches wir uns von jenen Erscheinungen entwerfen. Ob es aber auch in der That der Natur gemäß sey, sind wir nicht im Stande zu entscheiden. Wenn wir sagen, der Magnet zieht das Eisen an, so heißt dieß nur, daß diese beiden Körper, wenn sie sich begegnen, einander näher kommen und wenn sie sich berühren, an einander fest halten, so daß ein gewisser Widerstand nöthig ist, sie zu trennen. Ob aber die Ursache dieser Annäherung, ob der eigentliche Sitz dieser Anziehung in dem Magnet, oder in dem Eisen, oder ob er in einem diese beiden Körper umgebenden Medium sey, dieß ist uns eben so unbekannt, als die Art, wie die Anziehung beider Körper bewirkt werden mag. Die Wirkung allein ist es, die wir kennen, weil wir von ihrem Daseyn, von ihrer Größe und von ihren Modificationen unmittelbar durch unsere Sinne belehrt werden. Aus diesen Wirkungen schließen wir, daß es ein allgemeines, alle Körper der Natur umschlingendes, obgleich uns unsichtbares Band geben muß, welches nicht nur diese Körper, sondern auch die

kleinsten Theile eines jeden einzelnen Körpers unter sich verbindet, und ohne welches jeder Körper, jedes Atom des Körpers, eine Welt für sich ausmachen würde, ohne Zusammenhang und Wechselwirkung auf andere. Dieses magische Band, dieses räthselhafte Wesen, was da macht, daß jedes Atom der Materie, daß jeder Körper alle anderen an sich zu ziehen sucht, nennen wir, obschon wir dasselbe nicht weiter kennen, der Kürze wegen, die Kraft dieses Körpers, nicht sowohl, um dadurch die Sache selbst, als vielmehr nur die uns sichtbare Wirkung derselben zu bezeichnen. Wir bemerken eben so wenig den unsichtbaren Faden, der den fallenden Stein zur Erde herabzieht, als wir das Seil bemerken, an welchem sich die Erde um die Sonne, oder der Mond um die Erde schwingt, und wir wissen eben so wenig von dem, was ein Körper, was Materie überhaupt ist, als wir einsehen, wie diese Körper auf einander wirken oder sich gegenseitig in Bewegung setzen können. Die Entdeckung dieser Dinge wollen wir daher auch fernerhin dem Scharfsinne unserer Metaphysiker überlassen, die ohnehin, seit die Erde steht, noch keine einzige nützliche gemacht haben. Wir wollen uns dafür begnügen, die Wirkungen dieser Ursachen näher kennen zu lernen und durch diese Kenntnisse, verbunden mit der allein untrüglichen mathematischen Analyse, auf dem Wege reiner und vorurtheilsfreier Beobachtungen so viel von den Geheimnissen der Natur zu erforschen, als sie eben den menschlichen Kräften zu gönnen für gut gefunden hat.

§. 10. (Molecular- und allgemeine Anziehung der Körper.) Zuvörderst wollen wir bemerken, daß diese Kräfte, mit welchen die Körper auf einander wirken, zweierlei wesentlich von einander verschiedener Art zu seyn scheinen. Die einen wirken nur zwischen den kleinsten Atomen eines und desselben Körpers. Ihr Wirkungskreis ist daher, in Beziehung auf ihre Ausdehnung im Raume, sehr beschränkt, und sie erzeugen dadurch das, was wir Zusammenhang, Festigkeit und Dichte dieser Körper nennen. Die andern aber wirken von einem Körper zum andern, selbst auf sehr große Entfernungen, und diese sind es, welche die Bewegungen dieser Körper um und gegen einander, auf der Oberfläche unserer Erde sowohl, als auch in jenen Höhen über uns hervorbringen. Jene Kräfte nennt man die Molecular-Anziehung, während diese die allgemeine Attraction oder auch die allgemeine Schwere (Gravitation) genannt wird.

§. 11. (Nähere Betrachtung der Molecularkräfte.) Die Molecularkräfte sind uns, selbst in ihren Wirkungen, noch sehr wenig bekannt, aber ihr Daseyn ist darum nicht weniger gewiß, da wir, ohne sie, die uns von allen Seiten umgebende Welt nicht so sehen könnten, wie sie uns in der That erscheint. Wenn diese Kräfte nicht existirten, so würde die ganze Natur nur ein verworrenes Aggregat unter einander geworfener Atome, einem Sandhaufen ähnlich, seyn, ohne Gestalt, Zusammenhang und Bewegung. Es würde keine festen, keine flüssigen, keine luftförmigen Körper mehr geben; Licht und Wärme würden nicht mehr die wundervollen Wirkungen auf dieselbe hervorbringen; alle organische Wesen und das Leben selbst, so weit es diese Wesen beseelt, würde aus der Natur verschwinden. Die einzelnen Elemente jenes chaotischen Haufens würden in keiner weiteren Beziehung zu einander stehen, ihren einmal eingenommenen Ort nicht mehr ändern, und an die Stelle des regen Lebens und der immerwährenden Bewegung, die wir jetzt in allen Theilen der Natur bewundern, würde eine öde, allgemeine Ruhe und die Stille des Grabes treten.

Wenn wir daher auch die Art, auf welche diese Kräfte wirken, nicht

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

näher angeben können, wie wir es wohl bei der Kraft der allgemeinen Schwere im Stande sind, so sind wir dessenungeachtet von der Existenz derselben nicht weniger überzeugt. Jede Gegend, jeder Punkt des Himmels und der Erde kann als ein Beweis für das Daseyn dieser Kräfte dienen, und die ganze materielle Welt selbst ist nur ein großes Resultat der Wirkungen, welche durch diese Kräfte erzeugt werden.

Wir haben oben gesehen, daß jeder Körper aus Atomen von bestimmter Gestalt besteht und daß diese Atome durch Zwischenräume (Poren) von einander getrennt sind. Wir kennen weder die Dimensionen dieser Atome, noch die ihrer Zwischenräume, aber wir wissen, daß beide ungemein klein seyn müssen und daß wahrscheinlich die Atome noch viel kleiner sind, als ihre Entfernungen von einander. Ja es ist möglich, daß bei vielen Körpern das Verhältniß der Größe der Atome zu ihren Zwischenräumen demjenigen gleich kömmt, das wir bei den Planeten unseres Sonnensystems und den Räumen bemerken, die sie von einander trennen. Ohne Zweifel wirken die Kräfte, welche diese Atome gegen einander ausüben, nur auf die kleinen Distanzen ihrer Zwischenräume und sind in größeren Entfernungen ganz unmerklich. Auch müssen sie nicht bloß anziehende, sondern auch abstoßende Kräfte seyn, indem jene die Cohäsion und diese den Widerstand der Körper bewirken, den sie alle, wie wir wissen, ihrer Compression entgegen setzen, während beide zusammen vielleicht diejenigen Wirkungen hervorbringen, die wir durch die Benennung der Affinität und der chemischen Erscheinungen zu bezeichnen pflegen. Es scheint, daß die abstoßende Kraft der Atome in der nächsten Umgegend derselben, die anziehende aber erst in etwas größeren Entfernungen von ihnen wirksam ist. Daher widerstehen, bei den festen Körpern, die Atome derselben sowohl der Trennung, als der Compression, und man muß oft bedeutende Kräfte anwenden, sie zu brechen, oder auch sie in einen kleineren Raum zusammen zu pressen. Die Intensität dieser anziehenden Kraft scheint bei allen den Körpern, die wir hart und brüchig nennen, oft sehr groß zu seyn, wenn gleich der Durchmesser ihrer Wirkungssphäre ungemein klein ist. Dieß ist z. B. der Fall bei Gußeisen, bei mehreren Steinen und anderen Substanzen, die man mit keiner Gewalt strecken oder ausdehnen kann. Bei dem Blei und bei anderen weichen Metallen scheint diese Intensität der Attraction viel geringer und dafür die Wirkungssphäre derselben bedeutend größer zu seyn.

Bei flüssigen Körpern aber ist das Gewicht der einzelnen Elemente, aus welchen sie bestehen, viel größer, als der gegenseitige Zusammenhang derselben durch die Molecularkraft. Wenn daher ein solcher Körper an seinen Gränzen nicht eingeschlossen wird, so trennen sich die Theile desselben, oder sie fließen aus einander. Wird er aber in einem Gefäße fest gehalten, so setzt er sich, durch dieses Gewicht seiner Elemente, in dem untersten Theile des Gefäßes fest, dessen Raum er durchaus gleichförmig erfüllt. Auch ein fester Körper, in dasselbe Gefäß gebracht, würde durch das Gewicht seiner Elemente dasselbe thun, wenn er nicht durch die stärkere Cohäsion dieser Elemente daran gehindert würde. Obschon aber bei den festen Körpern diese Attraction der Atome viel größer ist, als bei den flüssigen, so ist sie doch auch bei den letztern noch bedeutend größer, als bei den luftförmigen Körpern. Wenn das Wasser erwärmt wird, so löst es sich in noch viel kleinere und noch viel weiter von einander getrennte Theile auf, die in der Gestalt von Dünsten sich in die Atmospäre erheben, und wenn dann diesen Dünsten ihre höhere Temperatur wieder entzogen wird, so tritt die frühere Cohäsionskraft wieder ein, welche die zerstreuten Theile des Dunstes in runde Tropfen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

sammelt und sie in ihrer früheren Gestalt, als Wasser, wieder der Erde zuführt. Wenn Flüssigkeiten in größeren Höhen, z. B. von einer Thurmspitze, ausgegossen werden, so fallen sie, nicht in ganzen Massen, sondern wie Sand oder Staub, in runden abgesonderten Tropfen herab, die desto größer sind, je größer die Cohäsionskraft der Flüssigkeit ist. So fällt Oel in großen, Aether und Alcohol aber in sehr kleinen Tropfen zur Erde. Die Regentropfen, die an der Außenseite unseres Fensterglases einander näher kommen, vereinigen sich und laufen in einander, so wie Queckſilbertropfen, die einander auf einer horizontalen Glastafel begegnen, zum Zeichen, daß sie von einander angezogen werden. Dieselbe Anziehung der Atome gibt auch den Körnern unseres Schrotes die kugelförmige Gestalt. Wenn das geschmolzene Bley von einer größeren Höhe herabgegossen wird, theilt es sich, wie dort das Wasser, durch seine Cohäsionskraft in runde Tropfen, die, ehe sie den Boden erreichen, auskühlen und daher ihre kugelförmige Gestalt beibehalten. Dieselbe Kraft aber, welche diesen Tropfen ihre runde Form gibt, hat auch wahrscheinlich jene großen Körper des Himmels, die Sonne, den Mond und die Planeten abgerundet, wenn dieselben anders, wie es sehr wahrscheinlich ist, zur Zeit ihrer Entstehung sich in einem flüssigen Zustande befunden haben.

Dieselbe Anziehung endlich, welche wir zwischen den einzelnen Elementen der festen oder auch der flüssigen Körper unter sich bemerken, zeigt sich zwischen den Atomen der festen und flüssigen Körper selbst. So fällt ein Wassertropfen von der untern Seite einer horizontalen Glastafel nicht herab, weil er von der Tafel angezogen wird. Wenn die Spitze einer Nadel in eine Flüssigkeit getaucht und wieder aus ihr herausgezogen wird, bleibt ein Tropfen derselben an ihr hängen, und alle feste, in Flüssigkeiten eingetauchte Körper, werden naß, wenn anders diese beiden Körper sich gegenseitig anziehen. Wenn eine Glasröhre in Queckſilber getaucht wird, so bleibt sie trocken, aus derselben Ursache, aus welcher auch unsere Kleider trocken bleiben würden, wenn es nicht Wasser, sondern Queckſilber regnete.

§. 12. (Capillarkraft und Affinität der Körper.) Dieselbe Molecular-Attraction zeigt sich auch bei dem Aufsteigen der Flüssigkeiten in den Poren und Zwischenräumen der festen Körper, wo sie dann Capillar-Attraction genannt wird. So sieht man Wasser und Oel in Schwamm und Zucker dringen oder in dem Dochte unserer Lampen aufsteigen; so kann man mit benetzten Seilen sehr große Lasten heben. Durch dieselbe Kraft steigt endlich auch der größte Theil der Säfte in den Körpern der Pflanzen uud Thiere in die Höhe.

Noch auffallender erscheint diese Molecularkraft in unseren chemischen Prozessen, wo sie den Namen der Affinität (Verwandtschaft) erhält. Wenn zwei Flüssigkeiten unter einander gemengt werden, so sieht man häufig eine dritte entstehen, deren Eigenschaften von jenen der beiden ersten völlig verschieden sind. Oft ist das Volum der Mischung, oft ist auch die Temperatur, die Farbe, selbst der Zustand der Flüssigkeit ganz anders, als er bei den einzelnen Körpern vor ihrer Vermischung gewesen ist. Ein Quart Wasser mit eben so viel Schwefelsäure gemischt, nimmt einen bedeutend geringeren Raum ein, als zwei Quart betragen, weil sich die Elemente dieser beiden Flüssigkeiten inniger anziehen, als die einer jeden derselben. Auch ist diese Mischung von einer viel höheren Temperatur, als jeder der beiden Körper vor derselben hatte. Wenn die beiden Luftarten, die unter der Benennung des Oxygens und Hydrogens bekannt sind, in einem bestimmten Verhältnisse unter einander ge-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mischt werden, so entsteht keine neue Luftart, sondern Wasser, womit wir das Feuer löschen, während doch ohne Oxygen kein Feuer unterhalten werden kann und während das Hydrogen einer der entzündbarsten Körper der ganzen Natur ist. Dasselbe Oxygen, das an sich farblos ist, gibt, wenn es mit dem weißen Quecksilber verbunden wird, in einer bestimmten Menge beider Körper ein rothes, und in einer andern Menge ein schwarzes Produkt. Die Schwärze unserer Tinte verdanken wir zwei Körpern, dem Eisenvitriol und den Galläpfeln, von welchen der eine grün und der andere gelb ist.

§. 13. (Intensität der Molecularkraft.) Noch ist übrig, etwas über die Intensität oder über die eigentliche Größe dieser Molecularkräfte zu sagen. Ohne diese Größe in bestimmten Zahlen angeben zu können, läßt sich doch leicht zeigen, daß sie, zuweilen wenigstens, an das Ungeheure gränzt und daß sie nicht nur diejenigen Kräfte, welche wir durch unsere Maschinen, durch Dämpfe und andere Mittel hervorbringen können, sondern daß sie sogar die meisten übrigen Kräfte der Natur selbst weit hinter sich zurückläßt. — Wenn wir z. B. die Kraft näher betrachten, mit welcher das Licht von den Körpern unserer Erde gebrochen oder zurück geworfen wird, so finden wir sie in der That von einer erstaunenswürdigen Größe. Der in gerader Richtung bei einem Körper ankommende Lichtstrahl wird von demselben erst dann, wenn er dem Körper gleichsam unendlich nahe ist, angezogen, und zwar so stark, daß dadurch der früher geradlinige Strahl um dreißig und selbst um mehr Grade gebogen wird. Da aber die Geschwindigkeit des Lichts so ungemein groß ist, so muß auch diese Krümmung derselben in einer beinahe unendlich kleinen Zeit vor sich gehen. Welche Kraft mag aber dazu erfordert werden, den Weg des mit einer so großen Schnelligkeit sich bewegenden Lichtes in einem beinahe untheilbaren Augenblick um einen Winkel von vollen dreißig Graden abzulenken?

Um diese Frage näher zu betrachten, wollen wir zuerst bemerken, daß durch die Anziehung unserer Erde, durch die größte uns bisher bekannte Kraft, die Körper auf der Oberfläche derselben in einer Secunde nahe um 15 Fuß von ihrem Laufe abgelenkt werden. Vergleichen wir damit jene Kraft, welche das Element eines Körpers auf das Licht ausübt. — Da die Zeit, während welcher diese Kraft wirkt, gleich derjenigen Zeit ist, in welcher das Licht die Wirkungssphäre des körperlichen Elements durchläuft, so wollen wir, was gewiß nicht zu wenig ist, den Durchmesser dieser Wirkungssphäre gleich dem tausendsten Theil eines Zolles annehmen. Da aber das Licht in einer Secunde 42000 Meilen durchläuft, so wird es den Raum von $^1/_{1000}$ Zoll schon in dem unendlich kleinen Augenblick des 12 billionsten Theils einer Secunde zurücklegen. Beträgt nun die durch die Brechung des Lichtes hervorgebrachte Ablenkung desselben 30 Grade, so wird die dazu erforderliche Kraft, selbst wenn sie eine ganze Secunde hindurch wirksam bliebe, die oben erwähnte Kraft unserer Erde schon gegen 32 Millionenmal übertreffen müssen, da 42000 Sin. 30°. (22842) gleich 21000 (22842) oder nahe gleich 15 mal 32 Millionen ist, vorausgesetzt, daß die deutsche Meile 22842 Par. Fuß beträgt. Da aber diese Molecularkraft keineswegs eine ganze Secunde, sondern nur während dem 12 billionsten Theil derselben ihre Wirkung auf das Licht äußern kann, so muß diese Kraft in demjenigen Verhältniß größer seyn, in welchem das Quadrat einer Secunde größer ist, als das Quadrat dieses kleinen Theiles einer Secunde, das heißt, sie muß nahe 160 Quadrillionenmal größer seyn, als wir so eben gefunden haben, oder mit andern Worten, sie muß die oben erwähnte Kraft, mit

welcher die ganze Erde die Körper auf ihrer Oberfläche anzieht, wenigstens 6720 Quintillionenmal übertreffen, eine Zahl von 34 Ziffern, deren drei erste 672 sind, und von deren Größe wir uns keinen auch nur einigermaßen genäherten Begriff mehr machen können.

§. 14. (Unterschiede der Molecular- und der allgemeinen Attraction.) Diese so eben erwähnte Kraft der Erde, mit welcher sie alle Körper auf und über der Oberfläche derselben an sich zieht, ist von allen bisher betrachteten Molecularkräften schon dadurch wesentlich verschieden, daß diese letzteren nur auf sehr kleine, selbst unserm bewaffneten Auge ganz unmerkbare Distanzen wirksam sind, während jene sich auf sehr große und vielleicht selbst auf unendliche Entfernungen von dem anziehenden Körper erstreckt. Denn diese Anziehung der Erde macht nicht bloß die ihrer Oberfläche zunächst liegenden Körper, wenn sie ihrer Unterstützung beraubt werden, gegen sie fallen, sondern sie ist auch, wie wir bald sehen werden, die Ursache, warum der Mond in einer Entfernung von nahe fünfzig tausend Meilen sich um die Erde bewegt.

§. 15. (Augenblicklicher Stoß und immerwährend wirkende Kraft.) Indem wir aber diese Kraft der Erde näher untersuchen wollen, müssen wir sie zuerst wohl von einem Impulse oder von einem bloßen Stoße unterscheiden. Wenn wir einen Körper mit der Hand stoßen oder werfen, oder wenn wir ihm durch einen Stab, Hammer u. dgl. irgend eine Bewegung beibringen, so wirkt diese auf den Körper angebrachte Kraft nur einen Augenblick, nur so lange als dieser Stoß dauert, nach welchem dann der Körper gleichsam sich selbst überlassen bleibt. Die Folge davon ist, daß der Körper in Folge dieses Stoßes eine Bewegnng annehmen wird, deren Richtung die des Stoßes, und deren Größe immer dieselbe seyn wird, wenn in der That bloß dieser Stoß nnd sonst keine andere Kraft auf ihn wirkt. Die Bewegung eines auf diese Art bewegten Körpers muß also erstens geradlinig und zweitens gleichförmig seyn, d. h. er muß sich mit immer gleicher Geschwindigkeit in einer geraden Linie und zwar ohne Ende fortbewegen. In der Natur können wir zwar solche Bewegungen nicht nachweisen, weil alle Körper, denen wir einen solchen augenblicklichen Impuls durch unsere mechanischen Kräfte beibringen, auch zugleich der Kraft der Erde ausgesetzt sind, und weil sie sich überdieß in der Luft oder in andern widerstehenden Mitteln bewegen, daher sie, außer jenem ersten Impulse, auch noch diesen andern Kräften unterworfen sind. Wenn wir eine Kugel auf einem horizontalen Boden fortstoßen, wenn wir ein Rad um seine Axe schwingen, wenn wir eine Kugel aus unseren Feuergewehren abschießen oder einen Stein in die Höhe werfen, so sehen wir oft, jener Behauptung entgegen, die Kugel und den Stein in einer krummen Linie laufen, sie und das Rad an der Axe immer langsamer gehen und bald völlig still stehen, weil die Reibung der Kugel auf dem nie ganz ebenen Boden, weil die Reibung des Rades an seiner Axe, weil der Widerstand, den der Stein in der Luft erleidet, und weil überdieß bei allen diesen Körpern die Anziehung der Erde jene erste durch den Stoß erzeugte Bewegung ändert, hindert und endlich ganz aufhebt. Wenn aber alle diese Störungen nicht da wären, so würde der Körper bloß dem Antriebe jenes ersten Stoßes folgen, und wir können keine Ursache mehr angeben, warum er den geradlinigen Weg, den er einmal eingeschlagen, verlassen, warum er seine anfängliche Geschwindigkeit verändern, oder warum er nicht ohne Aufhören und in derselben Art sich fortbewegen sollte.

Wenn wir also einen Körper sich in gerader Linie und so bewegen sehen, daß er in derselben Zeit, z. B. in einer jeden Secunde, auch im-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mer denselben Weg zurücklegte, oder daß seine Geschwindigkeit beständig wäre, so würden wir daraus schließen, daß dieser Körper sich in Folge eines erhaltenen Stoßes, eines ursprünglichen Impulses bewegte. Allein solche Bewegungen gibt es, wie gesagt, in der Natur oder auf der Oberfläche unserer Erde nicht, weil hier immer mehrere Kräfte und zwar vorzüglich die Kraft der Erde selbst auf die Körper einwirken.

§. 16. (Freier Fall der Körper auf der Oberfläche der Erde.) Der einfachste Fall der Bewegungen, die wir auf der Oberfläche der Erde beobachten, ist ohne Zweifel der, den ein Stein oder überhaupt jeder Körper annimmt, wenn wir ihn seiner Unterstützung berauben. Wir sehen ihn da sogleich in einer auf die Erdfläche senkrechten, d. h. in einer vertikalen Richtung zur Erde und zwar desto schneller fortgehen, je länger er geht. Hier ist also wohl noch eine geradlinige, aber keine gleichförmige Bewegung mehr; der Weg des zur Erde fallenden Körpers ist noch, wie dort, eine gerade Linie, aber die Geschwindigkeit des Falls ist nicht mehr gleichförmig, sondern sie wächst mit der Zeit.

Aber in welchem Verhältnisse nimmt diese Geschwindigkeit mit der Zeit zu? — Dieß ist Sache der Beobachtung. Allein diese Beobachtungen sind schwer mit der hier nothwendigen Genauigkeit anzustellen. Wir werden daher, wie dieß so oft in den Naturwissenschaften und besonders in der Astronomie geschieht, irgend eine diesen Erscheinungen frei fallender Körper im Allgemeinen angemessene Hypothese annehmen und zusehen, ob diese Annahme mit jenen beobachteten Erscheinungen vollkommen übereinstimmt.

Die einfachste und natürlichste Hypothese ist ohne Zweifel die, daß der Mittelpunkt der Erde eine constante und immer fortwirkende Kraft besitzt, mit welcher er die Körper auf und über der Oberfläche der Erde in der Richtung ihres Halbmessers, d. h. in einer auf die Erdoberfläche senkrechten Richtung an sich zieht. Dadurch ist diese Kraft der Erde gleichsam auf den oben betrachteten Impuls zurückgeführt, nur mit dem Unterschiede, daß der letzte nur im Anfange der Bewegung sich äußert, während jener auch in jedem folgenden Augenblicke noch thätig ist, so daß also die Kraft der Erde als ein sich immer wiederholender und in seiner Intensität immer gleich großer Impuls (Stoß oder Zug) betrachtet werden kann, in dessen Richtung die frei fallenden Körper sich der Erde immer mehr nähern.

§. 17. (Erstes Gesetz dieser Bewegung.) Nehmen wir also an, daß der Körper in einem Augenblicke, in welchem er den ersten Impuls von der Erde erhält, sich zu bewegen anfange, und daß er am Ende dieses Augenblicks eine Geschwindigkeit erhalten habe, vermöge welcher er, wenn nun weiter keine Kraft auf ihn wirkte, in seiner einmal angenommenen vertikalen Richtung gleichförmig fortgehen und z. B. in jeder nächstfolgenden Secunde g Fuß zurücklegen würde, so daß also die Geschwindigkeit desselben am Ende der ersten Secunde g Fuß beträgt. Da er am Ende dieser ersten, oder im Anfange der zweiten Secunde von der Kraft der Erde wieder einen, und zwar, weil diese Kraft constant seyn soll, einen eben so großen Impuls erhält, wie im Anfange der ersten Secunde, so wird er auch dadurch, während der ganzen Dauer der zweiten Secunde seine bereits erlangte Geschwindigkeit in eben dem Maße vermehren, wie in der ersten, oder er wird am Ende der zweiten Secunde eine Geschwindigkeit von 2 g Fuß erhalten. Eben so wird am Ende der dritten Secunde seine Geschwindigkeit 3 g seyn u. s. w. Nennt man

also überhaupt v die Geschwindigkeit (velocitas) und t die Anzahl Secunden, die seit dem Anfange der Bewegung des Körpers verflossen sind, so wird man die einfache Gleichung $v = gt$ haben, und diese Gleichung drückt den Satz aus, daß, unter der Voraussetzung einer constanten Kraft der Erde, die Geschwindigkeiten der frei fallenden Körper sich wie die Anzahl der während des Falles verflossenen Secunden verhalten, oder daß diese Geschwindigkeiten den Zeiten proportional sind. Man nennt dieß eine gleichförmig beschleunigte Geschwindigkeit, weil sie gleichförmig mit der Zeit wächst.

Allein wir suchen nicht sowohl die Geschwindigkeiten, mit welchen der Körper am Ende einer jeden Secunde, wenn weiter keine Kraft auf ihn wirkt, in ganz demselben Verhältnisse weiter gehen würde, sondern wir wünschen vielmehr den Raum zu kennen, welchen er am Ende einer jeden Anzahl von Secunden in seinem gleichförmig beschleunigten Falle zurückgelegt haben wird.

§. 18. (Zweites Gesetz dieser Bewegung.) Zu diesem Zwecke wollen wir zuerst bemerken, daß wir die Größe der Zwischenzeiten, in welchen diese Impulse der Erdkraft auf einander folgen, nicht anzugeben im Stande sind, um so weniger, da diese Kraft wahrscheinlich immerwährend und ohne alle Unterbrechung wirksam ist. Dann wird man aber der Wahrheit desto näher kommen, je kleiner man diese Zwischenzeiten annimmt. Wir haben oben dafür die Dauer einer Secunde gewählt, allein dieselben Schlüsse würden auch dann noch gelten, wenn wir für jene Dauer den hundertsten oder tausendsten Theil einer Secunde angenommen hätten. Immer würden wir, wie dort, gefunden haben, daß, wenn die Kraft der Erde beständig ist, auch der Zuwachs der Geschwindigkeit des fallenden Körpers beständig seyn oder daß sich diese Geschwindigkeit wie die Zeit verhalten muß. Je kleiner wir aber diese Zwischenräume annehmen, desto mehr wird es uns auch erlaubt seyn, die Bewegung des Körpers, während dieser Zeit, als völlig gleichförmig vorauszusetzen, und man sieht, daß man auf diese Weise überhaupt jede andere Bewegung und zwar desto genauer darstellen wird, je kleiner man diese Zwischenzeiten gewählt hat. — Fahren wir daher, der Kürze wegen, fort, diese kleinste Zeiteinheit eine Secunde zu nennen. Im Anfange der ersten Secunde hatte der Körper, unserer Annahme gemäß, gar keine Geschwindigkeit, da er aus der Ruhe seine Bewegung angefangen hat. Am Ende derselben aber hatte er, wie wir oben gesagt haben, die Geschwindigkeit von g Fuß. Nehmen wir also an, daß er, während dieser ersten Secunde, immer dieselbe Geschwindigkeit hatte und mit ihr doch den Raum durchlief, den er während seines Falles in der That zurückgelegt hat, so muß diese gleichförmige Geschwindigkeit das Mittel aus jenen beiden seyn, die er im Anfange und am Ende der ersten Secunde hatte, d. h. sie muß gleich $^1/_2$ g, oder so groß gewesen seyn, daß er mit dieser gleichförmigen Geschwindigkeit während der ersten Secunde den Raum $^1/_2$ g durchläuft.

Im Anfange der zweiten Secunde hatte er die Geschwindigkeit g und am Ende derselben, nach dem Vorhergehenden die Geschwindigkeit 2 g. Er würde also denselben Raum, den er im freien Falle während der zweiten Secunde zurückgelegt hat, auch mit der mittleren Geschwindigkeit d. h. mit der Geschwindigkeit $^3/_2$ g in vollkommen gleichförmiger Bewegung zurückgelegt haben. Eben so würde er in der dritten Secunde mit der Geschwindigkeit $^5/_2$ g, die das Mittel aus 2 g und 3 g ist, denselben Raum, wie im freien Falle, zurücklegen u. s. w. Es ist daher, in Beziehung auf den von dem Körper durchlaufenen Raum, ganz

dasselbe, ob wir annehmen, daß er ihn mit einer gleichförmig beschleunigten Bewegung, wie er in der That thut, oder daß er jeden kleinsten Theil dieses Raumes immer mit derselben, aber jeden nächsten Theil desselben mit einer gleichförmig größern Geschwindigkeit zurücklege. In dem letzten Falle geht er aber, wie wir gesehen haben, in

der ersten Sec. durch den Raum $^1/_2$ g also in einer Sec. durch $^1/_2$ g
zweiten " " " " $^3/_2$ g " " zwei " " $^4/_2$ g
dritten " " " " $^5/_2$ g " " drei " " $^9/_2$ g
vierten " " " " $^7/_2$ g " " vier " " $^{16}/_2$ g
u. s. w.

Diese kleine Tafel zeigt aber schon auf den ersten Blick das Gesetz, nach welchem die letzten Zahlen derselben, d. h. nach welchem die von dem Körper in 1, 2, 3 . . Secunden durchlaufenen Räume fortgehen. Man sieht nämlich, daß man für jede willkürliche Anzahl t Secunden den ihr entsprechenden Raum durch $^1/_2$ g tt ausdrücken muß, so daß also die Räume, welche die Körper in ihrem freien Falle gegen die Erde zurücklegen, sich wie die Quadrate der Zeiten verhalten, während, nach dem Vorhergehenden, die am Ende dieser Zeiten erhaltenen Geschwindigkeiten diesen Zeiten selbst proportional sind. Nehmen wir also an, der Körper sey während der ersten Secunde durch den Raum 1 gefallen und habe am Ende dieser Zeit die Geschwindigkeit 2 erhalten, so zeigt die folgende kleine Tafel den Fallraum und die Endgeschwindigkeit für jede folgende Secunde.

Secunde .	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fallraum	1	4	9	16	25	36	49	64	81	100
Endgeschwindigk.	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20

§. 19. (Anwendung dieser Gesetze auf specielle Fälle.) Häufige und genaue Versuche, welche man über den Fall der Körper angestellt hat, stimmten mit diesen beiden Gesetzen so vollkommen überein, daß man an der Wahrheit derselben nicht weiter zweifeln kann.

Bei dem freien Falle der Körper verhalten sich also die Geschwindigkeiten wie die Zeiten, und die durchlaufenen Räume wie die Quadrate der Zeiten, während welcher der Fall dauert. Behält man daher die vorhergehenden Bezeichnungen von g, v und t bei und nennt man x den Raum, welchen der Körper in t Secunden zurücklegt, so hat man die beiden einfachen Ausdrücke

$$v = g\,t \text{ und } x = {}^1/_2\, g\, t\, t$$

aus welchen man leicht noch den folgenden dritten

$$vv = 2\,g\,x$$

ableiten wird. Mit Hülfe dieser Ausdrücke kann man sehr leicht eine Menge interessanter Fragen über den freien Fall der Körper beantworten, von denen wir hier nur einige kurz anführen wollen.

Das höchste von Menschenhänden errichtete Gebäude ist die große Pyramide bei Cairo, deren Spitze eine Höhe von 450 Par. Fuß über ihrem Boden hat. Nimmt man die Secunde in dem gewöhnlichen Sinne dieses Wortes, nämlich für den 86400sten Theil eines mittleren Tages,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

so beträgt der Fall der Körper während der ersten Secunde, den darüber angestellten Beobachtungen gemäß, 15.098 Par. Fuß. Diese Größe ist also, vermöge der zweiten unserer Gleichungen, gleich $^1/_2 g$, so daß daher die Größe g selbst 30.196 Par. Fuß beträgt.

Mit diesem Werthe von g findet man aus derselben zweiten Gleichung, wenn man in ihr $x = 450$ setzt, daß ein Stein von dem Gipfel dieser Pyramide bis zu dem Boden derselben in $5^1/_2$ Secunden fallen, und daß er daselbst mit einer Geschwindigkeit ankommen würde, mit welcher er, wenn er nun gleichförmig fortginge, in jeder Secunde einen Weg von $164^4/_5$ Fuß zurücklegen müßte.

Der höchste Berg der Erde, der Dhawalagiri in Indien, soll 24150 Par. Fuß über die Meeresfläche sich erheben. Von seinem Gipfel würde daher ein Stein in vertikaler Richtung erst nach 40 Secunden an der Meeresfläche, und zwar mit einer Geschwindigkeit von 1520 Fuß ankommen. Diese Endgeschwindigkeit ist bedeutend größer als die des Schalles, die nur 1038 Fuß in einer Secunde beträgt, und sie übersteigt die gewöhnliche Geschwindigkeit einer Kanonenkugel nahe dreimal.

In Norwegen, Distrikt Rake bei Friedrichshall, soll ein senkrechtes Erdloch sich befinden, dessen Tiefe man noch mit keinem Senkbley ergründen konnte. Wenn man aber einen Stein in dasselbe fallen läßt, so hört man den letzten Aufschlag desselben auf den Boden der Höhle erst nach 90 Secunden. Nimmt man dabei auf die Verzögerung dieser Erscheinung durch den Schall keine Rücksicht, so zeigen unsere Gleichungen, daß die senkrechte Tiefe dieser Höhle 122294 Par. Fuß, also nahe fünfmal so viel, als die Höhe des Dhawalagiri betrage, und daß dieser Stein an den Boden der Höhle mit der Geschwindigkeit von 2718 Fuß in einer Secunde ankommen müßte.

Der Mond ist in seiner mittleren Distanz 51600 deutsche Meilen oder 1178647000 Par. Fuß von der Erde entfernt. Wenn wir daher die Kraft der Erde auch in dieser Entfernung noch gleich der an ihrer Oberfläche annehmen und überdieß voraussetzen dürften, daß der Mond nicht eine ähnliche Anziehung, wie unsere Erde, auf die ihn umgebenden Körper ausübe, so würde, wie unsere Gleichungen zeigen, ein von dem Monde in gerader Linie zur Erde fallender Stein die letzte erst in 8835 Secunden oder in 2 Stunden 27 Minuten 15 Secunden erreichen, und auf derselben mit einer Geschwindigkeit ankommen, vermöge welcher er in einer Secunde durch 266797 Fuß, das heißt, durch nahe $11^3/_4$ deutsche Meilen geht.

Allein diese Voraussetzungen sind sehr gewagt und äußerst unwahrscheinlich. In der That, wenn unsere Erde eine Kraft besitzt, mit welcher sie alle Körper an sich zieht, warum sollten diese anderen Körper, warum sollte der Mond, die Sonne und überhaupt alle Körper der Natur einer solchen Kraft beraubt seyn? Welche Vorrechte soll irgend ein Körper der Natur vor allen andern ansprechen dürfen? Und wenn sie in der That alle eine solche Kraft besitzen, durch welche sie selbst auf sehr entfernte Körper noch eine Wirkung äußern, welchen Grund hat man vorauszusetzen, daß diese Kraft in allen, in großen und kleinen Entfernungen immer dieselbe bleiben soll? Diejenigen Entfernungen von der Erdoberfläche, die Berge und Höhlen derselben, in welchen wir unsere Beobachtungen noch anstellen können, sind in der That, gegen den Halbmesser der Erde, so klein, daß sie, ohne merklichen Fehler, alle als gleich groß, und daß also auch die auf sie wirkende Kraft der Erde durchaus als dieselbe, oder als eine constante Kraft angesehen werden kann. Und wenn dieß, in viel größern Distanzen, wie es scheint, nicht

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

der Fall ist, nach welchem Gesetze ändert sich dann diese Kraft in verschiedenen Entfernungen?

§. 20. (Allgemeine Bemerkungen über diesen Gegenstand.) Diese Frage ist noch zu beantworten übrig, und die Antwort darauf soll der Gegenstand des folgenden Kapitels seyn. Ehe wir aber dahin übergehen, wollen wir noch bemerken, daß auch das meiste von dem, was den Inhalt des gegenwärtigen Kapitels ausmacht, auf Sätzen beruht, die wir nicht streng beweisen, sondern vielmehr nur als Axiome annehmen können, zufrieden, wenn die darauf gebauten Folgerungen den äußern Erscheinungen der Natur, d. h. unsern Beobachtungen derselben vollkommen entsprechen. Daß ein Körper ruht, so lange keine äußere Kraft auf ihn wirkt, und daß ein Körper, der, auch nur durch einen augenblicklichen Impuls in Bewegung gesetzt, sich immerfort gleichförmig und in einer geraden Linie bewegen muß, so lange er durch keine andere Kraft daran gehindert wird — dieses Axiom, das unter der sonderbaren Benennung des Princips der Trägheit der Materie bekannt ist; daß ferner jede Aenderung einer schon statt habenden Bewegung der sie erzeugenden Kraft proportional ist; daß bei jeder solchen Kraftäußerung zwischen zwei Körpern die Wirkung des einen immer der Gegenwirkung des anderen gleich seyn soll — diese und mehrere andere Sätze, welche man als die Grundsätze unserer Dynamik aufstellt, sind, so wahr sie auch an sich seyn mögen, keines eigentlichen Beweises fähig und in sich selbst noch manchen Dunkelheiten unterworfen. Da die Körper, wie wir annehmen, ohne die Wirkung einer äußern Kraft sich nicht bewegen können, wie sollen sie sich doch, derselben Annahme gemäß, ohne äußere Kraft in dieser Bewegung erhalten? Nehmen wir vielleicht dabei stillschweigend an, daß die Bewegung etwas der Materie Eigenthümliches sey? Es mag so seyn, immerhin: aber — muß es auch so seyn? Ist dieses auf den Körper einwirkende Wesen selbst nichts Körperliches mehr, oder gehören beide ihrer innern Natur nach zusammen, oder endlich ist das, was dem Körper seine Bewegung, gleichsam sein Leben mittheilt, etwas Analoges mit derjenigen, uns eben so wenig bekannten Kraft, die, nur anders modificirt, auch die Ursache des organischen Lebens, der Pflanzen und Thiere, die Ursache des Wachsthums und der Gährung und vielleicht selbst die eigentliche Quelle aller unserer geistigen Operationen bildet? — Was wissen wir von allen diesen Dingen, über die wir nur eben noch fragen können, und wie viel mehr mag noch zurück seyn, worüber uns unsere Sinne und selbst unsere lebhafteste Phantasie nicht einmal mehr fragen kann? Auch andere Wissenschaften, ja selbst die Mathematik, geht von solchen Axiomen, von ersten Grundsätzen aus, über die sich nichts weiter mehr ausmachen läßt und die gleichsam wie Glaubenssachen angenommen werden müssen, um auf ihnen, als auf einer Basis, weiter zu bauen. Diese Basis selbst aber ist kein weiterer Gegenstand weder der Erfahrung, noch der Vernunft, sie ist die Gränze oder vielmehr die absolute Scheidewand aller unserer geistigen Thätigkeit.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Kapitel II.

Allgemeine Schwere.

---

§. 21. (Vorarbeiten Anderer.) Unter allen Entdeckungen in dem weiten Felde der Wissenschaften ist wohl die der allgemeinen Schwere, die wir dem großen Newton verdanken, die glänzendste und einflußreichste, da sie das Gesetz enthält, dem alle Himmelskörper unseres Sonnensystems und, wie es scheint, selbst alle Körper des Weltraumes gehorchen.

Es kann nicht anders als sehr interessant seyn, zu sehen, auf welche Weise dieser seltene Geist zu jener hohen Idee gekommen ist. Selbst wenn wir ihn kämpfen und ringen, wenn wir ihn fehlen sehen, kann er nur mit der innigsten Theilnahme und hier insbesondere mit rein menschlicher Theilnahme betrachtet werden. Auch steht er nicht allein, nicht ohne Hülfe und Beirath von anderen da. Viele treffliche Männer gingen ihm voraus und bahnten ihm den Weg zu seinem hohen Ziele. Und doch verfehlte er viele Jahre diesen Weg und mühte sich ab, die kraftvollste Zeit seines Lebens, jene Wahrheit zu finden, die er ahnte, ja die er, aber ohne es zu wissen, schon als ein Jüngling von kaum zwanzig Jahren gefunden hatte, und zu deren Erkenntniß er erst durch Andere und durch einen glücklichen Zufall geführt werden mußte. Aber dessenungeachtet erscheint er als der Führer dieser Anderen, als ihr Herr und Meister und als der Vorfechter unter den Eliten seiner Zeit. Denn Er war es, der sie leitete in dem großen Kampfe, Er errang den Sieg, und was auch Jene geleistet haben mögen, Ihm gebührt der Lorbeer. Ein volles Jahrhundert ist verflossen seit der Zeit, da er unter uns gewandelt hat, und noch steht er da, unerreicht und unerreichbar, ein Riese unter den Pygmäen, sein Haupt mit dem Strahlenkranze der Unsterblichkeit umwunden.

§. 22. (Unterschied der Welt- und Literatur-Geschichte.) Die sogenannte Weltgeschichte, worunter wir gewöhnlich die der Regenten und der von ihnen geführten Kriege verstehen, ist in mehr als einer Beziehung sehr verschieden von der Geschichte der menschlichen Kultur. In jener gehen die großen Epochen derselben gewöhnlich nur von Einem Menschen aus, und sie sind nur zu oft von den heftigsten Erschütterungen begleitet. Plötzlich erhebt sich, nicht selten aus dem Staube der Unbekanntschaft, der Friedensstörer. Trotzend seiner Zeit und ihren Vorurtheilen, allen göttlichen und menschlichen Gesetzen Hohn sprechend, selbst den Kampf mit den Elementen und den Geistern des Schicksals nicht scheuend — verbreitet er sich mit seinen Heeren über ganze Länder und Welttheile und tritt das Glück der Völker unter seine Füße, um auf den Trümmern desselben seiner Dynastie einen Thron und sich selbst, am Ende seiner Thaten, die Verwünschung der Nachwelt, oder auf einer wüsten Insel im Weltmeere, ein enges Grab zu erobern.

Nicht so in dem großen Reiche der Wissenschaften, deren Wachsthum nur langsam, und die blutlosen Fehden der Gelehrten etwa aus-

genommen, immer friedlich vor sich geht, und wo nur selten oder nie der Einzelne, ohne Hülfe der Anderen, eine neue Epoche begründen kann.“ Die meisten großen Conceptionen, deren unsere Kulturgeschichte erwähnt, sind nur scheinbar von einem einzigen Manne ausgegangen. Denn nicht nur die eigentliche Ausführung, die immer fremder Hände bedarf, sondern die erste Idee selbst entsprang gewöhnlich nur aus verwandten Ansichten mehrerer vorhergegangener Geister. In der That findet man, daß beinahe jede große Revolution in dem Gebiete der Kultur von einer Art allgemeiner geistiger Fermentation eingeleitet worden ist, die beinahe alle bessere Köpfe des Jahrhunderts, wie durch einen höhern Instinct getrieben, auf denselben Gegenstand gerichtet hat. Anfangs klein und unbemerkbar nimmt das Gedränge allmählig zu, um jenen Punkt, wo der Schatz begraben liegt; zuerst Einzelne, dann Mehrere rütteln an dem verschlossenen Thore, bis endlich, wenn alle Vorbereitungen erschöpft sind, der Sohn des Glücks hervortritt aus der Menge und mit einem Drucke seiner Hand die Riegel sprengt, wo dann sofort aus der weit geöffneten Pforte ein Strom von Licht sich ergießt, der die ganze unbekannte, früher in tiefe Nacht begrabene Gegend mit seinen Strahlen, nicht mit jenem verzehrenden Feuer des Ehrgeizes und der Eroberungssucht, sondern mit den milden, wohlthätigen Strahlen der Wahrheit und der Erkenntniß erleuchtet.

§. 23. (Vorgänger Newton's.) Nahe zwei Jahrhunderte vor der Entdeckung, von welcher wir hier sprechen, hatte uns Copernicus (geb. 1472, gest. 1543) die Bewegung der Planeten in Kreisen gelehrt, deren gemeinschaftlicher Mittelpunkt die Sonne ist, und uns dadurch den Weg gezeigt, auf dem allein eine wahre Kenntniß des Himmels und ein Fortschreiten der Wissenschaft möglich war. Er gab uns das neue Testament der Astronomie, und Kepler (geb. 1571, gest. 1630) lieferte uns eine neue, wesentlich verbesserte Auflage desselben, indem er das unnütze Gerüste der Epicykeln niederriß, mit welchem die Alten unser Sonnensystem überladen hatten, und welches auch Copernicus noch beizubehalten gezwungen war. Er zeigte uns, daß sich die Planeten nicht in Kreisen, sondern in Ellipsen, in deren einem Brennpunkte die Sonne ist, bewegen, und er lehrte uns die drei Gesetze kennen, nach welchen diese Bewegungen vor sich gehen. Dadurch erst gewann die Sternkunde eine mathematische Unterlage und eine eigentlich streng wissenschaftliche Gestalt. (Vergl. I. Kap. 8 und 9.)

Aber noch war der Grund dieser Gesetze, gleichsam das einzige oberste Gesetz unbekannt, von welchen jene drei nur ein Ausfluß, eine bloße Folge seyn sollten. Zwar hatte Kepler selbst mehr als eine Muthmaßung darüber aufgestellt, aber auch nur Muthmaßungen, durch keine Rechnung unterstützt und alles eigentlichen Beweises entbehrend. An geistiger Kraft fehlte es dem seltenen Manne nicht, diese von ihm geahnte Höhe zu erreichen; aber seine kläglichen Lebensverhältnisse, die Mißgunst des Schicksals, ohne das nichts Großes gedeiht, und vielleicht selbst die zu große Lebhaftigkeit seiner Imagination, die ihn nur zu oft in Irrwegen und grundloser Spekulation herumführte, hinderten ihn, seinem Haupte die Krone aufzusetzen, deren er so würdig war, und die er, nicht aus Mangel an eigenem Verdienste, einem Andern überlassen mußte.

Diese beiden Männer gingen Newton in größerer Entfernung voraus. Es fehlte aber auch nicht an anderen, näheren Vorgängern, die der großen Entdeckung, durch die Jener sich unsterblich machte, oft nahe genug kamen. Bouillaud, ein Arzt in Frankreich, stellte in seiner

Astronomica Philolaica, die im Jahre 1645 erschien, bereits den Satz auf, daß die Kraft, mit welcher die Sonne auf die Planeten wirkt, sich verkehrt wie das Quadrat der Entfernung der Planeten von der Sonne verhalte. Dieß war im Grunde Newton's Basis, aber da es nur als eine Hypothese vorgetragen und durch keine Beweise unterstützt war, so blieb es ohne weitere Folgen und wurde bald darauf wieder vergessen. — Borelli's Werk über die Satelliten Jupiters, das im Jahre 1666 erschien, stellte ebenfalls die Ansicht auf, „daß die Bewegungen der Planeten um die Sonne nach denselben Gesetzen vor sich gehen müssen, nach welchen sich diese Satelliten in ihren Bahnen um ihren Hauptplaneten bewegen, und nach welchen zugleich der Mond um unsere Erde geht.“ Eine eben so wichtige als richtige Bemerkung, die aber, aus derselben Ursache, ohne Früchte zu tragen, wieder verloren ging.

Noch näher trat der Sache Robert Hooke, Newton's Zeitgenosse und Gegner, ein erfindungsreicher Kopf, der schon in demselben Jahre, 1666, der königl. Akademie in London eine Abhandlung über die Abnahme der Schwere der Körper in verschiedenen Höhen über der Erde vorgetragen hatte. Im Mai desselben Jahres las er in dieser Akademie eine Abhandlung über die Bewegung der Planeten um die Sonne, in welcher er die Entstehung der krummen Bahnen der Planeten durch die Verbindung einer constanten Tangentialkraft dieser Himmelskörper mit einer veränderlichen Centrifugalkraft der Sonne zu erklären suchte. In einer im Jahre 1674 von ihm herausgegebenen Schrift stellt er die Sätze auf, „daß alle Himmelskörper eine gegen ihren Mittelpunkt gerichtete Anziehungskraft haben, wodurch sie nicht nur auf ihre eigenen Elemente, sondern auch auf alle anderen Körper außer ihnen wirken; daß die anziehenden Kräfte desto stärker sind, je näher die angezogenen Körper stehen“ u. s. w.

Allein alle diese und ähnliche Ideen, die einer genauen und fortgesetzten Betrachtung würdig gewesen wären, wurden nur eben hingeworfen, ohne sie weiter zu verfolgen. Dieses Verfolgen des ersten flüchtigen Gedankens, dieses Brüten über ihm ist es aber, was ihn zur Reife bringen, und was allein die Wissenschaften wahrhaft fördern konnte. Wußte doch Newton selbst die Anfrage seines Freundes Halley, auf welche Weise er zu seinen großen Entdeckungen gekommen sey, nur mit den wenigen, aber inhaltschweren Worten zu erwidern: „Indem ich unabläßig darüber nachdachte.“

Endlich wurde auch Huygens, Newton's Zeitgenosse und Rival, oft auf demselben Wege mit ihm gefunden. Huygens (geb. 1625, gest. 1695) war ohne Zweifel einer der größten Geometer und der sinnreichsten Köpfe seiner und selbst aller Zeiten. Seine Theorie der Evolutionen, die von ihm entdeckten merkwürdigen Eigenschaften der Cycloide, seine Arbeiten über die Wahrscheinlichkeitsrechnung, sein erstes Aufstellen und Ausbilden der Theorie der Kreisbewegung und des Stoßes der Körper, seine Bestimmung des Schwingungspunkts der Pendel, seine wesentlichen Verbesserungen der Gewicht- und Federuhren, seine optischen Entdeckungen über die Natur des Lichtes, über die Theorie der Fernröhre, über die doppelte Strahlenbrechung des isländischen Krystalls, selbst seine praktischen Verbesserungen der optischen Instrumente, mit welchen er den ersten Satelliten Saturns und den Ring dieses Planeten entdeckte — alle diese und noch mehrere andere, große Verdienste sichern ihrem Urheber eine der ausgezeichnetsten Stellen in der Geschichte der wissenschaftlichen Kultur, und es fehlte vielleicht nur ein Schritt, um ihm selbst die erste, selbst die vor Newton, anzuweisen. Denn volle fünfzehn Jahre

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

schon vor der Bekanntmachung des Princips der allgemeinen Schwere durch Newton, hatte Huygens bereits die oben erwähnten Eigenschaften der Centralbewegung der Körper in Kreisen in dreizehn Propositionen öffentlich vorgetragen, und wenn er den Einfall gehabt hätte, nur zwei dieser Propositionen unter sich zu verbinden und sie als ein Beispiel auf die Rotation der Erde um ihre Axe und auf die Bewegung des Mondes um die Erde anzuwenden, (was Newton eigentlich später that, und wodurch er eben auf seine große Entdeckung geführt wurde), so würde Er der Schöpfer des neuen Systems geworden seyn. Aber er versäumte es, diese Anwendung, diesen letzten Schritt zu machen, und auch er mußte daher die Palme des Ruhmes einem Andern, einem Glücklicheren überlassen.

§. 24. (Veranlassung zu dieser Entdeckung Newton's.) Isaak Newton wurde am 25. Dez. 1642 geboren. In seinem 18ten Jahre betrat er die Universität zu Cambridge, beinahe ohne alle jene vorbereitende Bildung, welche die Schüler dieses berühmten Instituts bei ihrem Eintritte in dasselbe mitzubringen pflegten. Vielleicht aber wirkte eben dieser Mangel vortheilhaft auf seinen Geist. Er wurde von keinen Vorkenntnissen unterstützt, er hatte aber auch keine Vorurtheile zu besiegen. Er hatte nichts gelernt, er durfte auch nichts verlernen, und sein jugendlicher Geist konnte ungehindert seinen eigenthümlichen Gang gehen, den Weg des kleinsten Widerstandes, ohne sich von den Gebirgen von Hindernissen irren zu lassen, die sich vor ihm aufthürmten, die er aber nicht kannte, und die er bald darauf so glorreich besiegte.

Er wendete sich, gleich im Anfange seiner Studien, zur Mathematik. Seine Absicht dabei soll gewesen seyn, die Irrthümer der Astrologie, die zu jener Zeit noch viele Anhänger zählte, auf geometrischem Wege zu widerlegen. Euclid's Werke lernte er nur eben kennen, um sich sogleich wieder aus der Hand zu legen. Er fand sie zu leicht und betrachtete die meisten der in ihnen enthaltenen Sätze nur als eben so viele Axiome, deren Wahrheit sich gleichsam von selbst versteht. Er wendete sich daher sogleich zu der viel schwereren Geometrie des Descartes, zu Wallis Arithmethik des Unendlichen und zu Kepler's astronomischen Werken, welche er alle, die Feder in der Hand, las und sich daraus Auszüge machte, die er bis an das Ende seines Lebens bewahrte. Man erkannte bald den Geist, der in ihm lebte, und im Jahre 1669 wurde er, an des berühmten Barrow's Stelle, Professor der Mathematik in Cambridge, eine Stelle, die er bis zu dem Jahre 1695 begleitete, wo er zum Vorsteher der königl. Münze in London mit einem jährlichen Gehalte von 15000 Pf. Sterling berufen ward, welches Amt er bis an sein Ende beibehielt, das am 20. März 1727 im 85sten Jahre seines Alters erfolgte.

Gegen das Jahr 1662 wendete er seine ganze Aufmerksamkeit gegen die Optik, und insbesondere gegen die Natur des Lichtes, über welche er auch bald darauf die glänzendsten Entdeckungen machte. Als aber im Jahre 1666 eine pestartige Krankheit die Umgegend von Cambridge verheerte, zog er sich auf einige Monate in seinen Geburtsort, Woolsthorpe zurück, ein Dorf in Lincolnshire, nahe eine deutsche Meile südlich von der Stadt Grantham.

Hier saß er eines Tages in seinem Garten, als er, wie man erzählt, durch den Fall eines Apfels von einem nahen Baume, auf die erste Idee der allgemeinen Schwere geleitet wurde. Dieser Baum war lange ein Gegenstand der besonderen Beachtung aller Verehrer Newton's. Erst im Jahre 1826 wurde der morsche Stamm desselben von einem Sturme gestürtztt und aus seinem Holze ein Stuhl verfertigt, der den

Freunden des hingeschiedenen großen Mannes, wenn sie seine Geburtsstätte besuchen, noch jetzt mit einer Art von Andacht gezeigt zu werden pflegt. Wenn übrigens diese Erzählung von dem Apfel, die erst in den neuesten Zeiten wieder mehrere Vertheidiger gefunden hat, auch nicht ganz verbürgt seyn sollte, so ist sie doch weder sehr unwahrscheinlich, noch die einzige ihrer Art. Auch Galilei, auf den sein Vaterland noch jetzt stolz ist, auch er soll durch den Anblick einer schwingenden Lampe, die von dem Innern des Kirchendoms zu Pisa herabhing, auf die Theorie des Pendels und dadurch auf die eigentliche Begründung der Mechanik geführt worden seyn, eine Wissenschaft, deren Schöpfer er ist, und von welcher die Alten nicht einmal eine Ahndung hatten.

§. 25. (Fragen, die sich Newton darboten.) Warum fällt der Apfel, und überhaupt jeder Körper, wenn er nicht gehalten oder unterstützt wird? Da er immer in einer senkrechten Richtung zur Erde hin fällt, so scheint in dieser Erde etwas zu seyn, das ihn an sich zieht. Dieses Etwas, diese Kraft, wie wir es nennen wollen, auf welche Weise, nach welchem Gesetze wirkt sie auf den fallenden Körper? Und wie weit erstreckt sie sich von der Erde? Wenn sie z. B. bis zu dem Monde reichen sollte, welche Wirkung äußert sie auf diesen Himmelskörper? Er hängt doch offenbar mit der Erde zusammen, so wie jener fallende Stein, da er, wenn er gleich nicht zur Erde fällt, sich doch in einem Kreise um die Erde bewegt. Sollte vielleicht diese Bewegung eine Folge jener Kraft der Erde seyn, die den Stein zu ihr fallen macht? Und wenn dieß zugegeben wird, obschon man eben die Verbindung zwischen diesen beiden Erscheinungen nicht sieht, dürfte man dann nicht noch weiter gehen, und dieselben Schlüsse auch auf diese Erde selbst, ja auf alle übrige Planeten unseres Sonnensystems anwenden? — In der That, die Erde und diese Planeten alle bewegen sich, wie schon Copernicus gezeigt hatte, in Kreisen um die Sonne, ganz so, wie sich der Mond in einem Kreise um die Erde bewegt. Wird nun der Mond zu seiner Bewegung durch jene Kraft der Erde gezwungen, könnten nicht auch die Erde und alle Planeten zu ihrer Bewegung um die Sonne durch eine ähnliche, in der Sonne wohnende Kraft gezwungen werden?

Große Fragen fürwahr, da offenbar von ihnen die ganze Kenntniß der Organisation unseres Planetensystems abhängt. Und alles dieß wegen eines Apfels, der zufällig vor uns zur Erde fällt! — Wie viele Millionen, seit die Erde steht, sahen so gut wie Newton die Körper fallen, ohne dadurch auf solche Fragen geführt zu werden, ja ohne dabei auch nur überhaupt etwas zu denken.

Und doch — es sind nur Fragen, Meinungen, Hypothesen, und nichts weiter. Es mag wohl immer, in alten und neuen Zeiten, Menschen gegeben haben, die bei solchen Gelegenheiten auf ähnliche Fragen kamen. Aber nicht die Frage — die Antwort ist es, auf die in solchen Fällen alles ankömmt. Kepler, Hooke, Huygens waren, nach dem, was wir oben von ihnen gehört haben, Männer, die sich in der That, wenn auch nicht eben diese, doch ihnen sehr ähnliche Fragen vorgelegt haben müssen. Aber haben sie sie auch beantwortet, auf die einzige Art, wie man solche Fragen beantworten soll: durch Rechnung, mit dem Griffel in der Hand? Es fiel ihnen nicht ein, oder sie fanden kein Mittel dazu, diese Wahrheit, wenn es eine seyn sollte, näher zu untersuchen, und sie auf dem allein untrüglichen Probirstein der Rechentafel abzureiben. Deßhalb blieb die Sache, wie sie war, eine Meinung, eine bloße Hypothese, die keine Folgen, keine Früchte hatte.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Die nähere Untersuchung des Gegenstandes forderte aber drei Dinge, die zuerst bekannt seyn mußten: I. die Art, auf welche jene Kraft wirkt. II. die Kenntniß der Umlaufszeit des Mondes und III. die der wahren Größe der Erde.

§. 26. (I. Wie die Attraction wirkt.) Das Erste, was Newton kennen mußte, war die Art, auf welche diese Kraft der Erde, wenn sie überhaupt existirt, auf nahe und ferne Gegenstände wirken soll. An der Oberfläche der Erde fallen die Körper, wie die Beobachtungen zeigen, in der ersten Secunde durch 15 (genauer durch 15.098) Par. Fuß, und man kann annehmen, daß diese Größe dieselbe ist für alle Orte der Oberfläche der Erde, und selbst für alle Höhen und Tiefen, zu welchen wir noch gelangen können. Diese Beständigkeit der Kraft der Erde würde einen schwächeren Kopf verleitet haben, die ganze Untersuchung gleich anfangs wieder aufzugeben. Wenn diese Kraft in der Höhe einer deutschen Meile über der Erde, und so hoch sind beinahe die größten Berge, die wir kennen, noch immer dieselbe, wie an der Oberfläche der Erde ist, so scheint sie überhaupt in allen Entfernungen dieselbe zu bleiben. Allein Newton ließ sich dadurch nicht irre machen, da er zu sehr davon überzeugt war, daß diese Kraft in größeren Entfernungen immer kleiner werden müsse. Vielmehr bestärkte ihn dieß in seiner Vermuthung. Denn wenn die Kraft der Erde, selbst in der Entfernung einer Meile, noch immer dieselbe zu seyn scheint, so muß sie eine sehr starke Kraft seyn, so muß sie, da sie nun einmal nicht immer dieselbe bleiben kann, nur sehr langsam abnehmen, so muß sie am Ende selbst noch in der Gegend des Mondes groß genug seyn, um dort, um an diesem Himmelskörper noch bemerkbare Veränderungen hervorzubringen, und eben diese Veränderungen waren es, die er suchte.

Man kann sich aber diese Anziehungskraft der Erde nicht wohl anders vorstellen, als durch einen Strahlen- oder Seilen-Büschel, dessen einzelne Linien alle aus dem Mittelpunkte der Erde auslaufen, wie etwa die Strahlen eines Lichtes, das in dem Mittelpunkte dieser Erde seinen Sitz hat. Denkt man sich eine hohle Kugelfläche, deren Halbmesser z. B. 100 Fuß beträgt, und deren Mittelpunkt mit jenem der Erde zusammenfällt, so wird die innere Fläche dieser Kugelschaale von jenem Lichte mit einer gewissen Stärke beleuchtet werden. Wenn aber der Halbmesser dieser Kugel noch einmal so groß, also gleich 200 Fuß wäre, so wird diese zweite hohle Kugelschaale in ihrem Innern von demselben Lichte offenbar schwächer beleuchtet werden. Zwar fällt alles Licht, welches früher die kleinere Kugel beschien, jetzt auch auf die größere; aber da die Oberfläche der zweiten viel größer ist, als die der ersten, so werden die auf die zweite Kugel fallenden Strahlen, da sie divergirend von dem Mittelpunkte ausgehen, auch viel weiter von einander entfernt seyn, d. h. mit andern Worten, die zweite Kugel wird von demselben Lichte schwächer erleuchtet werden, als die erste, und zwar genau um so viel schwächer, als die Oberfläche dieser zweiten Kugel größer ist, als die Oberfläche der ersten. Da sich aber die Oberfläche der Kugeln bekanntlich wie die Quadrate ihrer Halbmesser verhalten, so wird die Fläche der zweiten Kugel, deren Halbmesser 2mal so groß ist, als jener der ersten, auch 2mal oder 4mal schwächer erleuchtet werden. Eben so wird für eine Kugel von einem 3mal so großen Halbmesser, als die erste, die Beleuchtung 3mal 3 oder 9mal schwächer seyn, für einen 4mal so großen Halbmesser 16mal schwächer u. s. w., kurz, die Beleuchtung wird abnehmen, wie das Quadrat der Entfernung zunimmt, oder, was dasselbe ist, die Beleuchtung dieser innern Kugelschaale, in jedem einzelnen Punkte ihrer

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Oberfläche, wird sich wie verkehrt das Quadrat der Entfernung verhalten.

Dasselbe wird also auch wohl von der Anziehung der Erde auf alle Körper außer ihr gelten, wenn anders die vorhergehende Voraussetzung richtig ist, daß diese beiden Dinge, Licht und Attraction, sich auf gleiche Weise von ihren Centralkörpern aus verbreiten. Die Folge wird uns lehren, ob man sich diese Voraussetzung erlauben darf, d. h. ob die auf diese Weise erhaltenen Erscheinungen der Attraction auch in der That mit den Beobachtungen übereinstimmen. Von irgend einer Voraussetzung über die Wirkungsart dieser Kraft muß man ausgehen, wenn man diese Wirkungen einer Rechnung unterwerfen will. Die oben angenommene ist die natürlichste und einfachste, die man wählen kann. Der Erfolg wird zeigen, ob sie auch die wahre ist.

Newton nahm aber diese Voraussetzung nicht auf Gerathewohl, und bloß auf die, übrigens durch nichts bewiesene Analogie mit dem Lichte gestützt, an. Er hatte noch einen anderen, besseren Grund, und diesen verdankte er den Vorarbeiten Keplers und Huygens, deren Entdeckungen er nun zu seinem Zwecke benutzen konnte.

Kepler hatte nämlich im Jahre 1618 durch sehr mühsame, und Jahre lang mit seltener Ausdauer fortgeführte Rechnungen gefunden, daß die Quadrate der Umlaufszeiten der Planeten um die Sonne sich wie die Würfel der Halbmesser ihrer Bahnen verhalten (I. §. 146). Huygens aber hatte unter den oben erwähnten dreizehn Propositionen auch den Satz aufgestellt, daß bei den in Kreisen umlaufenden Körpern die Quadrate ihrer Umlaufszeiten sich verhalten, wie die Halbmesser dieser Kreise, dividirt durch den Druck, welchen diese Körper senkrecht auf die Peripherie ihrer Bahn ausüben. Dieser Druck muß aber als die Kraft angesehen werden, welche, indem sie gegen den Mittelpunkt des Kreises gerichtet ist, eben diese Kreisbewegung des Körpers erzeugt. Verbindet man daher diese beiden Sätze mit einander, so folgt, daß bei allen Kreisbewegungen der Druck der bewegten Körper, d. h. die im Mittelpunkte dieser Kreise wohnende bewegende oder anziehende Kraft sich verhalten muß, wie verkehrt das Quadrat dieses Halbmessers, d. h. also wie verkehrt das Quadrat der Entfernung des angezogenen Körpers von dem anziehenden Mittelpunkte, und dieß ist eben der Satz, welchen wir oben für die Attraction der Körper überhaupt, aus der Analogie derselben mit dem Lichte, abgeleitet haben. Newton kannte diese Proposition und benutzte sie auch in der That zu diesem Zwecke, wie er dieß selbst in einem seiner spätern Briefe an Halley gestand. Die Entdeckung Kepler's aber war zu jener Zeit, als Newton seine Untersuchungen anstellte, nicht nur ihm, sondern der ganzen astronomischen Welt bekannt und längst schon als eine unbestreitbare Wahrheit angenommen worden.

§. 27. (II. Umlaufszeit des Mondes um die Erde.) Wenn Newton durch unmittelbare Versuche oder auf Beobachtungen gegründete Rechnungen entscheiden wollte, ob es in der That dieselbe Kraft ist, die den Stein auf die Erde fallen macht, und die den Mond um dieselbe bewegt, so mußte er zweitens die Zeit, in welcher der Mond sich um die Erde bewegt, oder er mußte die Revolution des Mondes mit großer Genauigkeit kennen. Wir haben aber bereits oben (I. §. 125) gezeigt, daß man, wenn man zwei in der Zeit sehr von einander entfernte Beobachtungen des Mondes vergleicht, die wahre Größe dieser Revolution mit aller nur wünschenswerthen Schärfe bestimmen kann, wie denn auch bereits die alten Griechen sie so genau bestimmt hatten, daß die neueren

Astronomen nur wenig oder nichts mehr hinzufügen konnten. Diese Umlaufszeit des Mondes um die Erde, in Beziehung auf die Fixsterne oder die sogenannte siderische Revolution desselben (I. §. 100) beträgt 27.3216614 Tage. Da er in dieser Zeit volle 360 Grade oder 1296600 Secunden beschreibt, so findet man leicht durch eine einfache Proportion, daß der Mond in seiner Bewegung um die Erde in jeder Zeitsecunde den kleinen Winkel von 0.5479 Secunden zurücklegt. Allein man weiß, daß die halbe Peripherie eines jeden Kreises, dessen Halbmesser für die Einheit angenommen wird, 3.1415926 Theile dieses Halbmessers beträgt, daß also zu einem Winkel von 648000 Secunden der Bogen 3.1415926 und daher auch zu einem Winkel von einer einzigen Secunde der Bogen von 0.0000048481 Halbmessern gehört. Multiplicirt man daher die letzte Zahl durch 0.5479, so folgt, daß der Bogen der Mondsbahn, der von diesem Himmelskörper in jeder Secunde beschrieben wird, gleich dem 0.00000265631sten Theil des Halbmessers der Mondsbahn ist. Es ist aber aus dem Kap. V. des I. Theiles bekannt, wie man die Entfernung des Mondes von der Erde durch die Beobachtung der Parallaxe dieses Gestirns findet. Diese Beobachtungen gaben die Entfernung des Mondes von dem Mittelpunkte der Erde, oder den Halbmesser der Mondsbahn gleich 60.16 Halbmesser der Erde. Multiplicirt man daher die beiden letzten Zahlen durch einander, so findet man, daß der Bogen, welchen der Mond in seiner Bahn während jeder einzelnen Secunde zurücklegt, nur 0.0001598 Erdhalbmesser beträgt.

§. 28. (III. Bestimmung des Halbmessers der Erde.) Allein diese letzte Bestimmung der Entfernung des Mondes kann noch nicht zu unserem Zwecke gebraucht werden. Unsere Absicht ist nämlich, den Fall der Körper auf der Erde mit der Bewegung des Mondes zu vergleichen, um zu sehen, ob in der That beide aus derselben Ursache entspringen. Da aber dieser Fall in Toisen oder Fußen ausgedrückt ist, so müssen wir auch jenen Bogen der Mondesbahn in demselben Maaße kennen, oder mit andern Worten, wir müssen wissen, wie viel Toisen der Halbmesser der Erde beträgt.

Wir haben oben (I. Kap. 1. und 2.) das Vorzüglichste von dem mitgetheilt, was wir über die Gestalt und Größe der Erde wissen. Allein Newton kannte diese Bestimmungen noch nicht, da die zu diesem Zwecke angestellten Messungen der Erde erst nach ihm unternommen wurden. Die erste bessere Gradmessung ist die von Picard in Frankreich, der im Jahre 1669, also drei Jahre nach Newton's Aufenthalt in Woolsthorp, den Grad eines Meridians oder den Breitengrad der Erde gleich 342360 Fuß gefunden hat, woraus folgt, daß der Halbmesser der Erde 19615780 Par. Fuß beträgt.

Zwar hatte schon früher, im Jahre 1615, Snellius in Holland durch seine mit vieler Umsicht angestellte Vermessung diesen Grad gleich 330432 Fuß, also zu unserem Zwecke genau genug, gefunden, aber Newton scheint von dieser Bestimmung eben so wenig, als von der seines Landsmannes Norwood, Nachricht erhalten zu haben, welcher letzte im Jahre 1634 den Breitengrad der Erde gleich 343800 Fuß, also noch genauer, als selbst Picard, gefunden hatte. Auch mochte er diejenigen Werke, in welchen von diesen damals noch neuen Messungen gesprochen wurde, in der Zurückgezogenheit seines ländlichen Aufenthaltes nicht bei der Hand gehabt, und, einer damals allgemein angenommenen Voraussetzung gemäß, den Erdgrad in runder Zahl zu 60 englischen Meilen angenommen haben. Da die englische Meile 4954.19 Par. Fuß enthält, so betrug also, seiner Annahme gemäß, der Erdgrad nur 297251, und der daraus

folgende Halbmesser der Erde nur 17031230 Fuß. Man sieht, daß diese beiden Zahlen beträchtlich, nahe um ihr Siebentheil, kleiner sind, als die oben von Picard's Messungen angeführten Resultate. Multiplicirt man die letzte Zahl mit der oben angegebenen 0.0001598, so findet man 2721.59 Pariser Fuß für den Bogen, welchen der Mond in seiner Bahn während jeder Zeitsecunde zurücklegt. — So hatte nämlich Newton diesen Bogen gefunden. Allein wenn er, statt seiner fehlerhaften Voraussetzung über die Größe der Erde, denjenigen Halbmesser derselben, nämlich 19615780 Fuß, gebraucht hätte, den Picard aus seinen Messungen abgeleitet hat, so würde er für diesen Bogen die Größe von 3134.6 Fuß gefunden haben, welche Zahl wieder nahe um ihr Siebentheil größer ist, als die vorhergehende.

§. 29. (Anziehung der Erde in größeren Entfernungen von ihrem Mittelpunkte.) Auf der Oberfläche der Erde fällt, wie wir gesehen haben, jeder Körper in der ersten Secunde durch 15 Fuß. Wie tief wird er aber in einer Entfernung von zehn, hundert, tausend Meilen von der Oberfläche der Erde, in derselben Zeit von einer Secunde fallen?

Die Antwort auf diese Frage ist leicht, wenn man das in I. betrachtete Gesetz der Abnahme der Anziehungskraft der Erde als richtig voraussetzt. Dieser senkrechte Fall des Körpers zur Erde ist nämlich die reine Wirkung jener Kraft und kann selbst für das eigentliche Maaß dieser Kraft genommen werden. Der Fall wird daher für jede in Halbmessern der Erde gegebene Entfernung gleich seyn der Zahl 15, dividirt durch das Quadrat dieser Entfernung. Der höchste Berg, den wir kennen, ist ein Pic des Himalaja in Tibet, dessen Höhe 24150 Fuß beträgt. Seine Höhe ist also noch nicht der achthundertste Theil des Erdhalbmessers nach Picard, oder der Gipfel dieses Berges ist 1.0012 Erdhalbmesser von dem Mittelpunkte der Erde entfernt. Dividirt man die Einheit durch das Quadrat dieser Zahl, so erhält man 0.998, und dieß durch 15 multiplicirt gibt 14.970. Die Körper fallen demnach auf der Spitze dieses Berges in der ersten Secunde nur durch 14.97 Fuß oder beinahe um $4^{3}/_{10}$ Linien weniger tief, als am Niveau des Meeres, oder endlich, wenn die Kraft der Erde an ihrer Oberfläche zur Einheit genommen wird, so ist sie auf dem Gipfel jenes Berges nur mehr 0.998, also um ihren zweitausendsten Theil kleiner, als zuvor. Eine so geringe Verschiedenheit konnte allerdings durch unsere Beobachtungen nicht mehr entdeckt werden, daher man auch, zu Newton's Zeiten, die Schwere an allen Orten der Erde gleich groß voraussetzte.

Wenn aber ein Körper um den ganzen Halbmesser der Erde über die Oberfläche derselben gebracht werden könnte, so würde er in dieser Entfernung, die die doppelte von jener an der Oberfläche ist, in einer Secunde nur mehr durch den vierten Theil von 15 oder nur durch 3.75 Fuß fallen. In einer dreimal so großen Entfernung, oder in der Distanz von drei Erdhalbmessern von dem Mittelpunkte der Erde, wird er durch den 9ten Theil jener Größe, oder nur durch 1.67 Fuß, in einer zehnmal größeren Entfernung nur durch den 100sten Theil, oder durch 0.15 Fuß fallen u. s. w.

Wenn also endlich derselbe Körper bis in den Ort, wo der Mond ist, d. h. wenn er in die Entfernung von 60.16 Erdhalbmessern von dem Mittelpunkte der Erde gebracht würde, so würde er daselbst in der ersten Secunde durch 15, dividirt durch das Quadrat von 60.16, das heißt, er würde in der Gegend des Mondes nur mehr durch 0.00414 Fuß fallen, oder er würde in der ersten Secunde sich nahe $^{6}/_{10}$ einer Linie der Erde nähern.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Dieß Resultat ist, als Ergebniß der Rechnung, völlig gewiß, wenn anders die obige Voraussetzung, auf welche diese Rechnung gegründet ist, richtig ist, daß nämlich die Attractionskraft der Erde sich verkehrt, wie das Quadrat der Entfernung, verhält. Allein ist diese Voraussetzung auch in der That richtig? — Dieß eben soll hier entschieden werden, und zwar durch unmittelbare Beobachtungen, durch Beobachtungen an dem Monde entschieden werden. Wenn uns diese Beobachtungen zeigen könnten, daß der Mond in der That in jeder Secunde durch 0.00414 Fuß zur Erde fällt, so ist unsere Voraussetzung richtig, und das Gesetz der Anziehung der Erde, das Gesetz der Schwere ist durch Experimente nachgewiesen und muß sonach als wahr anerkannt werden.

Allein wie sollen uns die Mondesbeobachtungen zeigen, daß dieser Himmelskörper in der That in jeder Secunde so viel zur Erde fällt? Wir sehen ihn nicht fallen, und wenn er auch in der That fallen sollte, so haben wir kein Mittel, die Größe dieses Falls zu messen. Alles, was wir von seiner Bewegung wissen, ist, daß der Bogen, den er in jeder Secunde um die Erde beschreibt, 2721.59 oder auch 3134.6 Fuß beträgt, je nachdem wir den Halbmesser der Erde nach Newton oder nach Picard annehmen. Was soll aber aus diesem Bogen für den Fall des Mondes zur Erde folgen?

§. 30. (Wirkung dieser Attraction der Erde auf ruhende und auf bewegte Körper.) Um die letzte Frage zu beantworten, müssen wir in unserer Untersuchung wieder einige Schritte zurückgehen.

Wenn der Mond durch irgend eine mächtige Hand festgehalten, und dann plötzlich ausgelassen würde, so müßte er ohne Zweifel in einer geraden Linie zur Erde fallen, und sich ihr, wie wir gesehen haben, in der ersten Secunde um 0.00414 Fuß nähern, ganz aus demselben Grunde, wegen welchem der Stein auf der Oberfläche der Erde in derselben Zeit durch 15 Fuß fällt, wenn die Hand, die ihn hält, sich wendet und dadurch den Stein seiner bisherigen Unterstützung beraubt. Allein jene unsichtbare Hand, die vielleicht auch vor Zeiten den Mond festgehalten hat, kann sich nicht bloß gewendet haben, als sie den Mond sich selbst oder vielmehr der Wirkung der Erde überließ, sondern sie muß ihn, als sie ihn seinem ferneren Schicksale überlassen wollte, mehr als nur ausgelassen, sie muß ihn aus der Hand *geworfen* haben, und die Richtung dieses Wurfes muß, nicht auf die Erde zu, sondern seitwärts gegangen seyn, weil sonst der Mond wieder in einer geraden Linie zur Erde herabgefallen wäre, was er doch nicht gethan hat, da er vielmehr, wie wir sehen, einen Kreis um die Erde beschreibt.

Die Existenz dieser Bahn, die uns vor Augen liegt, führt uns daher auf zwei Voraussetzungen, ohne welche jene Bahn sich nicht als möglich denken läßt. Der Mond muß nämlich von *zwei* verschiedenen Kräften in Bewegung gesetzt werden, von einer ersten ursprünglichen, von einer *Wurfkraft*, und von der im Mittelpunkte seiner Bahn ruhenden *Centralkraft* oder von der Anziehungskraft der Erde. Jene ist eine nur im ersten Augenblicke wirkende Kraft, gleich der eines Stoßes, diese aber eine immerwährend thätige, und noch jetzt in jedem Augenblicke wirkende Kraft. Jene konnte alle mögliche Richtungen haben, nur nicht die gerade zur Erde hin, weil sonst der Mond auf die Erde gefallen wäre; diese aber hatte, und hat noch, ihre Richtung gegen den Mittelpunkt der Erde. Jene allein würde den Mond in irgend einer geraden Linie im Weltraume fortgeführt, und diese allein würde ihn, ebenfalls in einer geraden, aber zur Erde gerichteten Linie auf diese Erde geworfen haben, und beide zusammen endlich leiten ihn in der krum-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

men Linie, in dem Kreise hin, den er eben, wie wir sehen, um die Erde beschreibt.

Die Kraft der Erde also erscheint in ihrer Wirkung bei der Bewegung des Mondes nicht mehr rein, sondern mit der Wirkung jener Wurfkraft, jenes Stoßes vermischt, welchen der Mond im Anfange seiner Bewegung erhalten haben muß, damit er diese Bahn, die wir an ihm beobachten, in der That beschreiben kann. Es wird daher, ehe wir an die eigentliche Auflösung unseres Problems gehen, nothwendig seyn, diese Mischung wieder aufzuheben und aus der so zusammengesetzten Bewegung des Mondes denjenigen Theil herauszusuchen, der, so wie jener Fall des Steines, bloß der Anziehung der Erde angehört.

Zu diesem Zwecke werden wir also die Wirkung dieser Anziehung der Erde, welche sie auf schon bewegte Körper äußert, untersuchen müssen. Glücklicher Weise können wir diese Untersuchung auf der Oberfläche der Erde alle Tage, und ohne alle Mühe anstellen. Wir sehen den Stein und überhaupt jeden Körper, wenn er aus der ruhenden Hand gelassen wird, senkrecht zur Erde fallen. Allein wenn er von derselben Hand geworfen wird, so sehen wir ihn nicht mehr in gerader Linie senkrecht fallen, sondern, gleich dem Monde, eine krumme Linie beschreiben, offenbar aus demselben Grunde, weil hier zwei Kräfte auf ihn wirken, die augenblickliche Kraft des Wurfs oder der erste Stoß der Hand, und die immer thätige Anziehungskraft der Erde. Wir bemerken ferner, daß die krumme Linie, die er auf diese Weise beschreibt, desto länger ist, je größer jene erste Kraft ist, mit welcher ihn die Hand geworfen hat. Die Kugeln unserer Feuergewehre geben uns davon eben so bekannte als auffallende Beispiele. Diese Maschinen treiben die von ihnen geworfenen Körper oft sehr weit über die Erde hin, und unsere Kanonenkugeln beschreiben, ehe sie wieder zur Erde fallen, einen desto längeren Bogen über derselben, je stärker die Ladung ist, mit welcher sie abgeschossen wurden. Und was hindert uns, anzunehmen, daß eine noch viel stärkere Ladung sie noch viel weiter, sie endlich ganz um die Erde herum treiben würde, so wie auch vielleicht der Mond von einer solchen ersten hinlänglich starken Kraft um die Erde getrieben wird?

Diese beiden Dinge sind offenbar so ähnlich, und einander in einem so hohen Grade analog, daß wir nur das eine derselben, den Stein oder die Kugel, deren Spiel in unserer Nähe vorgeht, näher betrachten dürfen, um das, was wir an ihm gefunden haben, auch sogleich auf das zweite, auf den Mond, übertragen zu können.

§. 31. (Fall der auf der Oberfläche der Erde geworfenen Körper.) Denken wir uns demnach vor einer horizontal aufgestellten Kanone eine vertikale Wand in einer solchen Entfernung von der Mündung des Geschützes, daß die Kugel, wenn sie diese Mündung verläßt, jener Wand genau in der Zeit von einer Secunde begegne. Bemerken wir überdieß zuerst denjenigen Punkt der Wand, der mit dem Mittelpunkte der Mündung in derselben Höhe liegt, oder den Punkt, welchen die Kugel treffen würde, wenn sie sich genau in horizontaler Richtung bewegen, wenn sie, während ihres Laufes, von der Erde nicht angezogen werden möchte. Bemerken wir dann aber auch, nach dem Schlusse, denjenigen Punkt der Wand, wo sie von der Kugel in der That getroffen worden ist. — Wo wird dieser zweite Punkt liegen? — Genau 15 Fuß unter dem ersten, wie sich jeder selbst überzeugen kann, der das Experiment anstellen will. Also genau eben so viel, als sie, in dieser ersten Secunde, frei gefallen wäre, wenn man sie, statt sie aus der Kanone zu schießen, bloß aus der umgewendeten Hand hätte fallen lassen.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Was sollen wir aus dieser merkwürdigen Uebereinstimmung schließen? — Offenbar, daß, wenn zwei Kräfte auf einen Körper wirken, jede derselben die gleiche Veränderung in ihm hervorbringt, die sie hervorgebracht haben würde, wenn sie allein auf ihn gewirkt hätte, oder wenn die andere gar nicht da gewesen wäre. Vermöge des Wurfes der Hand geht der Stein in der Richtung dieses Wurfes in derselben geraden Linie fort, die er beschreiben würde, wenn die Erde keine anziehende Kraft hätte. Und vermöge dieser letzten Kraft fällt er ganz eben so in senkrechter Richtung zur Erde, als er gefallen seyn würde, wenn jener Wurf der Hand nicht Statt gehabt hätte, sondern wenn der Stein nur aus der ruhenden Hand gefallen wäre. Beide Kräfte zusammen aber bewirken die krummlinige Bahn dieses Steines, deren jedes noch so kleine Theilchen, jedes Element, aus dem Elemente dieser geraden Wurflinie und aus dem Elemente jener senkrechten Falllinie zusammengesetzt ist.

Dasselbe wird also auch von dem Monde gelten und unmittelbar auf ihn angewendet werden können. Die gerade Linie, in welcher er sich vermöge seiner ursprünglichen Wurfkraft zu bewegen sucht, wird die auf den Halbmesser seines Kreises senkrechte Tangente seyn, in welcher er jeden Augenblick von der Erde fortgehen will und auch in der That fortgehen würde, wenn die Anziehung der Erde ihn nicht zurückhielte. Und diese Anziehung der Erde wird wieder die kleine gerade Linie seyn, um welche er, indem er die Richtung jener Tangente verläßt, in jeder Secunde der Erde näher rückt oder eigentlich zu ihr hinfällt.

Welches ist aber diese letzte gerade Linie, um welche sich der Mond in jeder Secunde der Erde nähert? —

§. 32. (Anwendung des Vorhergehenden auf den Mond.) Sey C Fig. 87 der Mittelpunkt der Erde, und zugleich jener der Mondesbahn AMD. Indem der Mittelpunkt A des Mondes diesen Punkt A seiner Bahn verläßt, um seinen Weg fortzusetzen, wird er, wenn keine andere Kraft auf ihn wirkte, nicht anders, als in der Richtung, die er bei seiner Ankunft in A hatte, d. h. er wird in der geradlinigen Tangente AB seiner Bahn, die auf seiner Entfernung CA senkrecht steht, fortgehen. Allein da er zugleich von der Erde angezogen wird, so kann er, am Ende der ersten Secunde, nicht in dem Punkte B dieser Tangente, sondern er muß in irgend einem der Erde C nähern Punkte, nämlich in dem Punkte M seiner kreisförmigen Bahn seyn, ganz eben so, wie vorhin die Kugel der ihr gegenüberstehenden Wand nicht in dem horizontalen Visirpunkte, sondern in einem anderen, tieferen Punkte begegnete. Auf dieselbe Weise begegnet also auch jetzt der Mond dem ihm gegenüberstehenden Halbmesser CB oder dieser seiner Wand nicht in dem Visirpunkte B, sondern in dem der Erde nähern Punkte M, und die Distanz dieser beiden Punkte, das heißt die kleine Linie BM ist es, um welche der Mond in der ersten Secunde, seit er von A ausging, zur Erde fiel, und um welche er auch in der That schon von dem Punkte A aus gefallen seyn würde, wenn bloß die Anziehung der Erde, ohne jene Wurfkraft, auf ihn gewirkt hätte.

Diese kleine Linie BM also, die den eigentlichen Fall des Mondes zur Erde während jeder Secunde ausdrückt, diese ist es, deren Größe wir nun bestimmen sollen, um zu sehen, ob sie mit derjenigen übereinstimmt, die wir oben aus unserer Voraussetzung abgeleitet haben, wo wir fanden, daß der Mond in jeder Secunde um 0.00414 Fuß zur Erde fallen soll.

Allein wie soll man diese Größe BM finden? — Wir kennen von

der Mondsbahn bloß die Größe des Halbmessers CA oder CD und die Größe des Bogens AM seiner Bahn, den der Mond in jeder Secunde zurücklegt.

§. 33. (Berechnung des Falls des Mondes gegen die Erde.) Die ersten und einfachsten Elemente der Geometrie reichen aber schon hin, zu zeigen, daß diese Größe BM gleich ist dem Quadrate des Bogens AM dividirt durch den Durchmesser AD des von dem Monde beschriebenen Kreises, d. h. durch die doppelte Entfernung des Mondes von dem Mittelpunkte der Erde.

Nehmen wir nun, nach Picard's Messung, den Halbmesser der Erdbahn gleich 19615780 Fuß an, so ist, wie wir oben gesehen haben, der Bogen AM gleich 3134.6 Fuß, und da die Entfernung des Mondes von der Erde 60.16 Erdhalbmesser beträgt, so ist die gesuchte Linie BM, um welche der Mond in einer Secunde zur Erde fällt, gleich dem Quadrate von 3134.6, dividirt durch das Product von 60.16 in 39231560, das heißt, gleich 0.60416 Fuß, also bis auf eine hier ganz unmerkliche Differenz genau so groß, als wir so eben aus der Voraussetzung gefunden haben, daß die Kraft der Erde sich wie verkehrt das Quadrat der Entfernung verhalte, und daß diese Kraft, welche die Körper auf der Oberfläche der Erde fallen macht, dieselbe ist, welche auch der Mond um sich bewegt.

Diese Uebereinstimmung ist also der schönste Beweis für die Richtigkeit der Voraussetzung, welche auf diese Weise durch eine unmittelbare Beobachtung der Natur, durch die Bestimmung der Größe der Erde, und der Umlaufszeit des Mondes, bestätiget war, und an deren Wahrheit man daher nicht weiter zweifeln konnte. Aber einmal dahin gekommen, war es nun leicht, durch Induction oder Analogie den gefundenen Satz auch auf die übrigen Körper des Himmels auszudehnen und anzunehmen, daß auch die Planeten in ihren Bewegungen um die Sonne durch eine ähnliche, dieser Sonne inwohnende Kraft, die sich verkehrt wie das Quadrat der Entfernung verhält, bewegt werden, wie der Mond durch eine solche Kraft der Erde um sie geführt wird. In der That boten sich auch bald, wie wir weiter unten sehen werden, Beobachtungen in Menge dar, welche diese Erweiterung der durch den Mond gemachten Entdeckung auf die schönste und genügendste Weise bestätigten.

§. 34. (Newton's Fehler in der Berechnung dieser Kraft.) Wir haben in dem Vorhergehenden, um den Zusammenhang nicht zu stören, sogleich den nahe wahren Werth des Erdhalbmessers, wie er aus Picard's Messungen hervorgeht, angenommen, und so durch eine sehr einfache Rechnung die Bestätigung unserer früheren Vermuthung gefunden. Wir haben nämlich, um das Ganze noch einmal mit andern Worten darzustellen, gefunden: daß man auf zwei ganz verschiedenen Wegen immer denselben Werth für den Fall des Mondes gegen die Erde erhält, man mag ihn aus dem beobachteten Falle der Körper an der Oberfläche der Erde, oder aus der beobachteten Umlaufszeit des Mondes um die Erde ableiten, und eben diese Uebereinstimmung der beiden durch so verschiedene Mittel erhaltenen Resultate verbürgt uns die Richtigkeit der Annahme, auf welche diese Rechnung gegründet ist.

Allein Newton hatte größere Schwierigkeiten, sich von der Wahrheit seiner Voraussetzung zu überzeugen. Man sieht aus allem Vorhergehenden, daß die Rechnungen, welche geführt werden mußten, um die Richtigkeit der ihnen zu Grunde gelegten Hypothesen zu bestätigen, die genaue Kenntniß der Größe des Erdhalbmessers voraussetzten, und eben diese war es, die ihm fehlte. Er nahm, wie wir oben gesagt haben, den

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Halbmesser der Erde gleich 17031230 Fuß, also viel zu klein an, daher er auch den Bogen AM (Fig. 87) gleich 2721.59, also ebenfalls zu klein gefunden hatte. Nach diesen Annahmen wird also der Fall des Mondes während einer Secunde gleich dem Quadrate von 2721.59, dividirt durch das Product von 60.16 in 34062460, das heißt, gleich 0.00361 Fuß seyn. Es sollte aber, wenn die Voraussetzung richtig ist, gleich 0.00414, also nahe ein Siebentheil größer seyn. Diese Differenz war aber zu beträchtlich, als daß sie zugelassen werden konnte.

Man sieht dieß in der That besser, wenn man aus dieser, von Newton gefundenen Größe von BM = 0.00361 wieder auf den Fall der Körper über der Oberfläche der Erde rückwärts schließt. Da nämlich die Entfernung des Mondes von der Erde 60.16 Halbmesser der Erde beträgt, so müßte, wenn Newton's Bestimmung der Größe BM auch nur beinahe richtig gewesen wäre, der Fall der Körper auf der Oberfläche der Erde während einer Secunde gleich dem Quadrate von 60.16 multiplicirt in diese Zahl 0.00361, das heißt, er müßte nahe gleich 13.065 Fuß seyn. Allein unseren Beobachtungen zu Folge beträgt dieser Fall 15 Fuß, und diese Bestimmung ist, wie Newton sehr wohl wußte, so genau, daß sie kaum ein Zehntheil eines Fußes, nicht aber beinahe volle zwei Fuß von der Wahrheit abweichen konnte.

§. 35. (Folgen, die er aus dieser Differenz ableitete.) Newton hätte vielleicht aus dieser Nichtübereinstimmung seiner Rechnung mit den Beobachtungen den Schluß ziehen können, daß irgend eines der seinen Rechnungen zu Grunde gelegten Elemente, der Halbmesser der Erde oder die Umlaufszeit oder die Entfernung des Mondes in Erdhalbmessern ausgedrückt, nicht ganz richtig seyn, und daher noch einer Verbesserung bedürfen könne. Allein unglücklicher Weise vertraute er diesen von Andern geborgten Resultaten zu sehr und setzte dafür das Mißtrauen, welches sie verdient hätten, bloß auf seine Schlüsse oder vielmehr auf die Hypothese, die er seinen Schlüssen zu Grunde legte, und von der er sich, wie er nun einzusehen glaubte, zu viel versprochen hatte. Es ist also wohl ganz unrichtig, sagte er zu sich selbst, was ich anfangs für so wohl begründet hielt; es ist unrichtig, daß dieselbe Kraft, die den Stein zur Erde fallen macht, auch den Mond um sie bewegt, oder es ist doch, wenn es auch so wäre, unrichtig, daß diese Kraft sich wie verkehrt das Quadrat der Entfernung verhält. Dieß brachte ihn auf die Idee, daß bei diesen Erscheinungen der Natur wohl noch ganz andere Kräfte mit im Spiele seyn könnten, und er ließ sich sogar, wie er später seinen Freunden selbst gestand, zu der Meinung verleiten, daß die Wirbeltheorie seines Vorgängers Descartes, die er doch früher selbst als ganz unstatthaft verworfen hatte, und die so gar nichts an sich hatte, was einen Mann von seinem Geiste länger festhalten konnte, doch nicht so ganz verworfen werden sollte. Da aber diese wunderlichen Wirbel der Art waren, daß sie sich keiner eigentlichen Berechnung, die doch hier allein entscheiden konnte, unterwerfen ließen, so brach Newton alle weiteren Untersuchungen über diesen Gegenstand gänzlich ab und erklärte seine frühere Idee für einen von den vielen mißlungenen Versuchen, die das Forschen nach Wahrheit, auch bei Männern seiner Art, so oft zu hindern und aufzuhalten pflegen, so daß er diese seine Beschäftigung mit unnützen Spekulationen, denn als solche erschienen sie ihm, mehrere Jahre durch selbst vor seinen näheren Freunden verheimlichte.

§. 36. (Weitere Versuche Newton's, seine Absichten zu erreichen.) Wäre die Sache in diesem Zustande geblieben, so würde vielleicht bis heute noch unsere ganze Astronomie auf der Stufe, auf welche sie Kepler er-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

hoben hatte, das heißt im Grunde doch nur auf der Stufe ihrer Kindheit stehen geblieben seyn.

In der That war wenig Hoffnung zu einer Verbesserung dieses Zustandes der Wissenschaft. Denn als Newton, am Ende der Krankheit, welche die Umgegenden Cambridge's verheerte, nach dieser Stadt zurückkehrte, überließ er sich ganz wieder seinen optischen Untersuchungen, die ihn schon früher zu so schönen Entdeckungen geführt hatten. Volle zwölf Jahre kam er nicht mehr auf jenen Gegenstand zurück, den er, wie es schien, für immer aufgegeben hatte. Im Jahre 1678 erhielt er von der Londoner Academie den Auftrag, seine Ansicht über ein Werk der physischen Astronomie mitzutheilen, das damals einiges Aufsehen gemacht hatte, und das jetzt ganz vergessen ist. Er kam diesem Wunsche in einem Briefe an Hooke, Secretär dieser Societät, nach, in welchem er auch gelegentlich von einer ihm erst kürzlich beigefallenen Idee sprach, die Rotation der Erde durch unmittelbare Beobachtungen zu beweisen. Zu diesem Zwecke schlug er das nun allgemein bekannte Experiment mit von hohen Thürmen fallenden Körpern vor (vergl. I. §. 20) und behauptete, daß diese Körper, wegen der Rotation der Erde, östlich von dem Thurme zu Boden fallen müssen, weil sie vor ihrem Falle die Geschwindigkeit der Spitze des Thurmes haben, die größer ist, als die des Fußpunktes desselben. Die Academie setzte einen großen Werth auf diesen Vorschlag und trug Hooke, der als ein genauer Beobachter bekannt war, die Ausführung desselben auf. Als dieser anfing, sich mit dem Gegenstande zu beschäftigen, bemerkte er, daß der Körper nicht bloß östlich, sondern auch, in der nördlichen Hemisphäre, etwas südlich von dem Fuße des Thurmes, zur Erde kommen müsse. In der That hat man auch in den spätern Zeiten durch genauere Rechnungen dieses Resultat vollkommen bestätiget gefunden. Das höchste Gebäude, welches bisher durch Menschenhände errichtet worden ist, die große Pyramide zu Cairo, von 450 Fuß Höhe, würde nach Laplace's und Gauß theoretischen Untersuchungen dieses Gegenstandes, die östliche Ausweichung der von ihrer Spitze fallenden Körper 12.36 Linien, und die südliche 0.002 Linien geben. Obschon die letzte so gering ist, daß sie durch Beobachtungen nicht mehr bestimmt werden kann, so ist sie demungeachtet nicht weniger, als jene, in der Theorie begründet, und Newton erkannte auch sofort die Richtigkeit der Bemerkung. In seiner Antwort an Hooke setzte er hinzu, daß er diese Sache seitdem noch näher untersucht und gefunden habe, daß der Weg des fallenden Körpers bei der rotirenden Erde eine Art von Spirale seyn müsse.

Allein auch diese Bemerkung wollte Hooke nicht gelten lassen. Er schrieb nämlich nach einiger Zeit an Newton zurück, daß nach seinen über diesen Gegenstand angestellten Untersuchungen die krumme Linie, in welcher der Körper bei einer rotirenden Erde fällt, eine Ellipse sey, wenn anders die Kraft der Erde sich wie verkehrt das Quadrat der Entfernung verhalte, und die Bewegung des Körpers im freien Raume vor sich gehe.

Man findet nicht, daß Newton auf diese zweite Verbesserung Hooke's geantwortet habe. Aber er erkannte ohne Zweifel die Richtigkeit derselben. Sie gab ihm sogar, wie er selbst in einem spätern Briefe an Halley, vom 27ten Julius 1686, gesteht, Veranlassung, der Sache weiter nachzuforschen, und dadurch ein sehr wichtiges Theorem zu entdecken, welches eigentlich nur eine Erweiterung des von Hooke gefundenen Satzes war. Er fand nämlich, daß, wenn ein durch eine Centralkraft getriebener Körper in einer Ellipse einhergeht, und wenn diese Kraft in einem

der Brennpunkte der Ellipse ihren Sitz hat, daß dann diese Kraft sich verkehrt wie das Quadrat der Entfernung des Körpers von diesem Brennpunkte verhält. Da nun schon lange vorher durch Kepler ausgemacht war, daß die Planeten Ellipsen beschreiben, in deren einem Brennpunkte die Sonne ruht, so war auch dadurch das Gesetz der Attraction der Sonne gefunden. Allein diese Entdeckung gehört einer späteren Epoche an, wenigstens machte sie Newton erst fünf Jahre nachher, im Jahre 1683, der königl. Academie in London, und erst 1687 öffentlich bekannt. Als er jenen Brief Hooke's erhielt, wagte er es noch nicht, diese vielleicht nur geahnte, aber nicht bewiesene Entdeckung, als das eigentliche Gesetz der Natur aufzustellen. Das Mißlingen seines ersten Versuchs den er vor dreizehn Jahren angestellt hatte, um die Bewegung des Mondes mit jener der fallenden Körper in Uebereinstimmung zu bringen, machte ihn schüchtern und verbreitete Zweifel und Ungewißheit über alle seine Spekulationen dieser Art, so wie es ihn auch abhielt, die Resultate seiner bisherigen Untersuchungen bekannt zu machen, bevor er sie nicht von allen Seiten geprüft und die Wahrheit derselben durch Rechnung über allen Zweifel erhoben hatte. Diese vielleicht zu weit getriebene Vorsicht verwickelte ihn hier, so wie beinahe in allen seinen anderen großen Entdeckungen, in spätere und oft sehr unangenehme Streitigkeiten mit den Rivalen seines Ruhmes. Wenn aber auch diese vielleicht nur scheinbare Aengstlichkeit aus der Individualität des seltenen Mannes hervorging, so kann sie doch zugleich als ein Beweis der höheren Kraft und der tieferen Erkenntniß desselben angesehen werden, die selbst da noch Mängel und Hindernisse erblickt, wo der gewöhnliche gute, aber leichte Kopf nichts mehr sieht und kühn den Sprung wagt, der ihn zum Ziele führen soll. Wenn er aber auch die Richtigkeit dieses Satzes schon früher eingesehen haben sollte, so wußte er doch gewiß damals noch nicht auch den umgekehrten Satz zu beweisen, daß nämlich, wenn die Kraft der Sonne sich wie verkehrt das Quadrat der Geschwindigkeit verhält, dann auch die Bahnen der Planeten Ellipsen oder überhaupt krumme Linien der zweiten Ordnung (I. Kap. 9.) seyn müssen. Zu jenen gehörte nur Differentialrechnung, zu diesen aber war der Integralcalcul nothwendig, der damals noch kaum geboren war. Diesem gemäß blieb es also noch immer zweifelhaft, ob nicht auch andere der Sonne inwohnende Kräfte ebenfalls solche elliptische Bahnen erzeugen können, wie denn dieß auch in der That der Fall ist, da z. B., wenn die Kraft der Sonne sich wie die Entfernung selbst verhält, also mit ihr im gleichen Verhältnisse zu- und abnimmt, diese Bahnen ebenfalls Ellipsen sind, nur mit dem Unterschiede, daß dann die Sonne nicht in einem der Brennpunkte, sondern in dem gemeinschaftlichen Mittelpunkte dieser Ellipsen ihren Sitz hat. Endlich, wenn man auch zugeben wollte, daß die Sache auf theoretischem Wege richtig und vollständig erwiesen sey, so handelt es sich hier nicht sowohl um ein wissenschaftliches Theorem, um einen Satz der Schule, sondern um eine, und zwar um eine sehr große und weit verbreitete, Erscheinung der Natur. Diese letzte aber wird nicht durch Spekulationen, sondern durch Beobachtungen befragt, und so sinnreich und kunstvoll auch unsere Erklärung ihrer Phänomene seyn mag, so ist doch der eigentliche Prüfstein der Wahrheit dieser Hypothesen immer nur die Uebereinstimmung derselben mit den Beobachtungen, und an diesem letzten und besten Beweise mußte es ihm so lange fehlen, als er jenen ersten Versuch mit dem Monde und dem fallenden Steine nicht zu den gelungenen zählen durfte.

§. 37. (Endliche Entdeckung seines Irrthums.) Er ließ also alle wei-

teren Untersuchungen dieses Gegenstandes zum zweiten Male fallen, da er sie nur als leere, von den Beobachtungen nicht unterstützte Spekulationen betrachtete, und er würde sie vielleicht nie mehr aufgenommen haben, wenn er nicht volle sechszehn Jahre nach jenem ersten Versuche durch einen bloßen Zufall wieder darauf zurückgeführt worden wäre.

Es war im Junius des Jahres 1682, als er in dem Hause der Academie zu London, unter den früher Angekommenen, auf die für diesen Tag angesagte Versammlung wartete. Man sprach hier unter Andern auch von einer neuen Gradmessung, die kurz zuvor ein gewisser, damals noch wenig bekannter Picard in Frankreich ausgeführt hätte, und eines der Mitglieder zeigte ein von ihm erhaltenes Schreiben vor, in welchem die Resultate dieser Vermessung enthalten waren. Newton nahm eine Abschrift dieser Zahlen und hörte dann den folgenden Vorträgen der Academie mit ungetheilter Aufmerksamkeit zu. Nach geendeter Sitzung wieder in seiner Wohnung angekommen, suchte er seine alten Rechnungen von dem Jahre 1666 hervor, um sie mit den Zahlen jenes Briefes zu vergleichen. Er bemerkte bald im Verfolge seiner Rechnungen, daß er sich der so lange gewünschten Erfüllung seines Wunsches nähere; mit jeder Zeile wurde es ihm gewisser, daß er an dem Vorabende einer großen Entdeckung stehe — aber jetzt wurde er auch von einem so heftigen Beben seiner Nerven ergriffen, daß er die angefangene Rechnung nicht vollenden konnte. In diesem Zustande vertraute er sich einem seiner hereintretenden Freunde, der den Griffel wieder aufnahm und die Rechnung zu Ende brachte.

Wir haben bereits oben gezeigt, wie Picard's Messungen in der That sehr gut mit Newton's Voraussetzung übereinstimmten, und wie eben dadurch der so lange gesuchte Beweis der Richtigkeit derselben endlich gefunden wurde. — Es möchte schwer seyn, den Eindruck zu schildern, den dieses Resultat auf einen solchen Geist hervorbringen mußte. Mit eins öffnete sich nun das ganze Weltall vor seinem Blicke: die Sonne mit ihren Planeten und Kometen, diese Planeten selbst mit ihren Satelliten, kurz das ganze, dem menschlichen Auge bisher verschleierte Sonnensystem stand nun in seiner innern, wundervollen Einrichtung, und in dem alle seine regulirenden Gesetze, klar und deutlich vor seinen Augen.

§. 38. (Nächste Folge dieser Entdeckung.) Nachdem sich nun Newton von der Wahrheit seiner ersten Ansicht überzeugt, nachdem er das große Gesetz der Natur, daß nämlich alle Körper sich wie verkehrt das Quadrat ihrer Entfernungen anziehen, gefunden, und durch die Erscheinungen der Natur selbst nachgewiesen hatte, ging er mit neuer Kraft an alle die früheren Versuche, die er über diesen wichtigen Gegenstand von Zeit zu Zeit angestellt hatte. Er suchte sie unter einander zu verbinden, und aus ihnen die Erklärungen aller übrigen Phänomene des Himmels abzuleiten. Er sah bald, daß sich aus der Anwendung des von ihm entdeckten Gesetzes nicht nur die elliptische Bewegung der Himmelskörper, sondern auch noch eine große Anzahl von andern Erscheinungen derselben, von welchen man bisher keinen Grund angeben konnte, würde ableiten lassen. Allein diese Ableitung, diese weitere Entwicklung jenes obersten Naturgesetzes erforderte einen noch viel höheren Aufwand von geistiger Kraft, als selbst jene Entdeckung, und sie ist es eigentlich, wodurch er seine wahre Größe beurkundet hat.

Vier Jahre beschäftigte er sich unabläßig mit diesen wichtigen und schwierigen Entwicklungen, deren Resultate er endlich im Jahre 1686,

also erst zwanzig Jahre nach seiner ersten Idee, in seinem unsterblichen Werke: Principia philosophiae naturalis mathematica, bekannt machte.

§. 39. (Kurze Inhaltsanzeige der Prinzipien.) Dieses größte Werk von allen, die der menschliche Geist hervorgebracht hat, handelt zuerst von den krummen Linien, welche die Körper beschreiben, wenn sie von gegebenen Kräften getrieben werden. Unter diesen Problemen wird der Fall der Natur, wo die Centralkraft sich wie verkehrt das Quadrat der Entfernung verhält, mit der ihm gebührenden Umständlichkeit besonders betrachtet. Ferner wird gezeigt, daß bei diesem Naturgesetze die Anziehung der Kugeln auf äußere Punkte sich so verhalte, als wäre ihre anziehende Kraft, die doch jedem Elemente ihrer Masse zukommen muß, in dem Mittelpunkte dieser Kugeln vereiniget. Dadurch wird es erlaubt, die himmlischen Körper, so groß sie auch an sich seyn mögen, in der Rechnung nur als Punkte zu betrachten und sich daher die dabei vorkommenden, sonst unübersteiglichen Schwierigkeiten ungemein abzukürzen. Da jene anziehende Kraft nicht nur der Sonne, sondern überhaupt allen Körpern zukömmt, so werden nicht bloß die Planeten von der Sonne, sondern sie werden auch von einander selbst angezogen, und daher kommt es, daß die Ellipse, welche jeder Planet, wenn er allein da wäre, um die Sonne beschreiben würde, durch die Attraction der anderen Planeten oft sehr merklich gestört, und in eine andere sehr verwickelte krumme Linie verwandelt wird. Glücklicher Weise sind diese Planeten alle so klein gegen die Sonne, und überdieß durch so große Zwischenräume von einander getrennt, daß diese Störungen nur gering sind, und daß man sich ohne merklichen Fehler erlauben kann, die Störungen jedes Planeten durch jeden andern, einzeln betrachtet, zu untersuchen. Wäre dieß nicht der Fall, so würde man alle Störungen, welche jeder Planet von allen andern zugleich erleidet, berechnen müssen, und dann würden die Schwierigkeiten so groß seyn, daß sie die Kräfte unserer gegenwärtigen, und wahrscheinlich auch die aller künftigen Analyse, weit übersteigen würde. Bei dieser Einrichtung unseres Sonnensystems aber reicht vollkommen zur Theorie der Bewegung eines Planeten hin, wenn man zuerst die reinen elliptischen Elemente (I. Kap. 10.) desselben sucht, und dann die Störungen auffindet, welche derselbe durch jeden andern Planeten, einzeln betrachtet, erleidet. Auf diese Weise ist die Untersuchung auf das sogenannte Problem der drei Körper zurückgebracht, d. h. auf die Bestimmung der Bewegung eines Planeten, der von der Sonne angezogen, und von einem anderen, gegen die Sonne viel schwächeren Planeten, in seiner Bewegung etwas gestört wird. Auch in dieser Beschränkung bleibt diese Aufgabe noch immer eine der schwierigsten der ganzen Astronomie. Newton hat sie nicht erschöpft, wie sie denn auch in unsern Tagen noch immer nicht als vollendet betrachtet werden kann, so weit man auch in derselben bereits vorgerückt ist. Aber er hat, wie beinahe in allen großen Fragen dieser Wissenschaft, die seit ihm die ersten Geometer beschäftigte, er hat die Grundzüge, die ersten und schwersten Schritte zur Auflösung derselben angegeben.

Die weitere Entwicklung desselben Naturgesetzes gab ihm auch Mittel an die Hand, die Massen der Sonne und der Planeten, die Dichtigkeiten derselben und die Größen zu bestimmen, durch welche auf der Oberfläche derselben die Körper in der ersten Secunde fallen, und so Fragen zu beantworten, welche die Alten sich, vernünftiger Weise, nicht einmal aufgeben konnten. So fand er z. B., daß die Masse der Sonne 355000mal größer, als die der Erde ist; daß die Dichte der Sonne nur der vierte Theil der Dichte der Erdmasse ist; daß die Körper auf der

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Oberfläche der Sonne in einer Secunde durch 430, auf der Oberfläche Jupiters aber durch 39 Fuß fallen u. s. w.

Die große Abplattung Jupiters, die kurz zuvor Cassini entdeckt hatte, brachte Newton auf die Untersuchung der Ursache derselben, und dadurch auf die Bestimmung der wahren Gestalt der Erde, die auch, wenn gleich viel weniger als jener Planet, an ihren Polen abgeplattet ist. Er fand, daß die aus der Rotation der Erde entstehende Centrifugalkraft an dem Aequator den 289sten Theil der Schwere beträgt, daß der Halbmesser des Aequators sich zu der halben Rotationsaxe der Erde wie 230 zu 229 verhält, und daß die Gestalt der Erde die eines Körpers ist, der durch die Rotation einer Ellipse um seine kleine Axe entsteht.

Newton zeigte ferner, daß die wunderbaren Erscheinungen der Ebbe und Fluth des Meeres eine bloße Wirkung der Attraction des Mondes, verbunden mit jener der Sonne sind, und lehrte die Größe und Zeit derselben bestimmen. Er erklärte die größeren Ungleichheiten der Mondbewegungen, vorzüglich die Evection, Variation und die jährliche Gleichung (I. §. 173) aus dem von ihm entdeckten Naturgesetze, und zeigte, daß sie eben so eine bloße Folge dieses Gesetzes sind, wie die schnelle Bewegung der Knoten und der Apsiden (I. §. 170) dieses Satelliten. Selbst die Präcession der Nachtgleichen (I. §. 190) stellt er, den Beobachtungen gemäß, aus diesem Gesetze, d. h. aus der Anziehung der Sonne und des Mondes auf die an ihren Polen abgeplattete Erde dar. Die Kometen betrachtete er als Himmelskörper, die in eben so regelmäßigen Bahnen, wie die Planeten, um die Sonne gehen, und er lehrte uns, die Elemente dieser Bahnen aus den Beobachtungen zu berechnen, wovon er selbst ein Beispiel für den merkwürdigen Kometen d. J. 1680 gegeben hatte. Ueberdieß findet man noch in demselben Werke zum ersten Male die vorzüglichsten Lehren unserer Hydrostatik und Hydrodynamik oder die Theorie des Gleichgewichts und der Bewegung der Flüssigkeiten; tiefe und schwierige Untersuchungen über die Bewegungen fester Körper in flüssigen und luftförmigen Mitteln, über den Widerstand, welchen sie von diesen Mitteln erleiden, über die Gestalt der Körper, bei welchen dieser Widerstand am kleinsten ist, über die Bewegung der Pendeln und der geworfenen Körper in widerstehenden Mitteln, über die Fortpflanzung des Schalls in der Luft, über die Bewegung des Wassers in Röhren und Kanälen, über die Wirkungen des Lichts auf die Elemente der Körper u. s. w.

Dieß ist eine kurze Uebersicht des Inhalts jenes unsterblichen Werkes. Die Größe des Gegenstandes, den er behandelt, die edle Einfachheit des darin aufgestellten Systems, der Scharfsinn, mit welchem diese schweren Untersuchungen durchgeführt werden, und die Sicherheit, auf Rechnung gegründete Sicherheit der darin aufgestellten Resultate verleihen den Principien einen für alle kommende Jahrhunderte dauernden Namen.

§. 40. (Erste Aufnahme dieses Werkes.) Dieser großen Vorzüge ungeachtet, fanden die Principien durch mehr als fünfzig Jahre nicht die allgemeine, günstige Aufnahme, die sie in so hohem Grade verdienten; sie mußten vielmehr lange mit allen den Schwierigkeiten kämpfen, die sich der Einführung jeder neuen Wahrheit entgegen zu setzen pflegen. Die Irrthümer und Vorurtheile vergangener Jahrhunderte hatten sich selbst der bessern Köpfe bemächtigt, und *diese* waren es vorzüglich, denn die andern verstanden es nicht, welche sich der Aufnahme desselben entgegen setzten. Die sonderbare, von Descartes aufgestellte Philosophie, die alle Erscheinungen der Natur durch Wirbel erklären wollte, hatte

ihren Scepter über ganz Europa verbreitet, und Alle eilten, sich für ein System zu erklären, das mehr für die Imagination, als für den Verstand gemacht war, und das die Meisten desto leichter zu verstehen glaubten, je weniger sie es in der That verstanden, oder je weniger sie sich von dem Grunde dieses Glaubens eine genügende Rechenschaft geben konnten. Newton's Theorie im Gegentheile war ganz und allein für den Verstand berechnet, und der Vortrag desselben war so kurz und dunkel und erforderte von dem Leser so viele Vorkenntnisse und Fassungskraft, daß von allen seinen Zeitgenossen kaum zwei oder drei gefunden werden konnten, von denen man sagen durfte, sie seyen im Stande gewesen, das Werk vollkommen zu verstehen. Er wählte in diesem Buche den synthetischen Vortrag der alten griechischen Geometer, für welchen er sein ganzes Leben durch eine besondere Achtung gehegt hatte. Allein es scheint, daß er die von ihm gemachten Entdeckungen nicht auf diesem, an sich sehr schwierigen, sondern daß er sie auf dem viel leichteren Wege der mathematischen Analyse gemacht, und dann nur wieder in die Sprache jener Synthese übertragen habe. Man muß es bedauern, daß er für seine Mittheilung diesen Weg gewählt, daß er bei Auseinandersetzung seiner Entdeckungen nicht die Mittel angegeben hat, welche ihn dazu führten, und daß er die Beweise mehrerer seiner Theoreme gänzlich unterdrückte, weil er, wie es scheint, das Vergnügen, sich mühsam errathen zu lassen, dem Zwecke, seine Leser aufzuklären, vorgezogen hat. Die Kenntniß der Methode, die das Talent zu seinen Entdeckungen führt, ist oft nicht weniger interessant und lehrreich zugleich, als diese Entdeckungen selbst *).

§. 41. (Einfachere Ableitung dieses allgemeinen Gesetzes.) Da dieses Gesetz die Grundlage der ganzen neueren Astronomie, und sonach von der größten Wichtigkeit ist, so wird es nicht unangemessen scheinen, die Wahrheit desselben noch auf einem anderen Wege zu zeigen.

Newton wollte seine Idee von diesem Gesetze, oder vielmehr er wollte die Richtigkeit dieser Idee durch irgend eine allgemeine Erscheinung in der Natur, durch eine eigentliche Beobachtung nachweisen, und er wählte dazu die Bewegung des Mondes, indem er durch Rechnung zeigte, daß dieser Himmelskörper, wenn er bis zur Oberfläche unserer Erde gebracht

---

*) So viel man auch von der Concinnität gesprochen hat, mit welcher dieses unsterbliche Werk verfaßt seyn soll, so scheint es für den aufmerksamen Leser doch mehrere Spuren einer den Gegenstand nicht immer vollendenden Eile zu tragen, wenigstens in Beziehung auf den äußeren Vortrag der darin aufgestellten Sätze. Oft würden nur einige Worte noch hingereicht haben, das fehlende Licht über den Gegenstand zu verbreiten, und die oft so nothwendigen Rücksichten auf Ordnung, Vollständigkeit und Klarheit des Vortrags scheinen zuweilen ganz hintangesetzt worden zu seyn. Wenn der Verf. bei einer seiner schwierigsten Untersuchungen (Buch III. Prop. 23) sich die Mühe nicht nehmen will, alle seine Ideen auseinander zu setzen, so hilft er sich mit der Redensart: ob causam, quam hic exponere non vacat, oder uti rationem ineunti facile patebit. Die Resultate seiner Untersuchung über die jährliche Gleichung des Mondes gibt er bloß mit den einleitenden Worten: per eandem theoriam inveni praeterea; eine andere Störungsgleichung des Mondes wird bloß mit der Bemerkung aufgeführt: uti ex theoria gravitatis colligo u. s. w.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

werden könnte, in der ersten Secunde eben so tief fallen würde, als hier, den Beobachtungen gemäß, jeder Stein während derselben Zeit fällt, und daß daher die Kraft, welche den Stein fallen macht, dieselbe seyn muß, welche den Mond in seiner Bahn um die Erde bewegt. Zu diesem Zwecke mußte er nicht nur die Bewegung des Mondes, sondern auch die Größe der Erde genau kennen, und da ihm die letzte Kenntniß fehlte, so wurde er, wie man gesehen hat, so lange in der Erfüllung seiner Wünsche aufgehalten. Auch blieb, selbst nachdem er endlich diese Entdeckung gemacht hatte, immer noch die Frage übrig, ob dasselbe, was er so eben für die Erde und den Mond gefunden hatte, auch für die Sonne, für die Planeten und überhaupt für alle Körper unseres Sonnensystems gelten könne, und diese letzte Frage war es auch eigentlich, die, als die bei weitem allgemeinere und wichtigere, hier vorzüglich beantwortet werden sollte. Newton schloß sie aus Induction, indem er das, was er für die Erde in Beziehung auf den Mond gefunden hatte, auch sofort, der Analogie gemäß, auf die Sonne in Beziehung auf die Planeten übertrug. Zwar ließ es der große Mann später nicht an Beweisen fehlen, daß seine Induction richtig ist, und eigentlich kann jedes Blatt seiner Principien als ein solcher Beweis dienen, so daß in dieser Rücksicht allerdings nichts mehr zu wünschen übrig ist.

Indeß darf man doch gestehen, daß er schneller zu seinem Ziele, zur gewünschten Ueberzeugung gekommen, und daß er in seiner Entdeckung nicht so lange aufgehalten worden wäre, wenn er, um die Wahrheit seiner Schlüsse in der Natur selbst nachzuweisen, nicht den Mond, sondern die Planeten selbst zum Gegenstande seiner Prüfung gewählt hätte. Dadurch würde er zugleich die Auflösung jenes allgemeinen Problems, das er eigentlich suchte, gefunden haben, von welchem das vorhergehende mit dem Monde, nur als ein Beispiel, als ein bloßer besonderer Fall erscheint.

In der That war die Bewegung der Planeten um die Sonne zu Newton's Zeiten nicht nur schon sehr genau bekannt, sondern Kepler hatte bereits ein Jahrhundert vorher das Gesetz angegeben, nach welchem diese Bewegungen vor sich gehen. Er hatte nämlich (vergl. I. §. 146) gefunden, daß die Quadrate der Umlaufszeiten dieser Himmelskörper sich wie die Würfel der Halbmesser ihrer Bahnen verhalten. Schon Kepler hatte gezeigt, daß dieses, nach ihm benannte Gesetz, besonders bei den vier Jupitersatelliten, sehr gut mit den Beobachtungen übereinstimme, und daß man daher an der Wahrheit desselben nicht weiter zweifeln kann.

Diesem gemäß hätte Newton, um die Richtigkeit seiner Schlüsse oder seiner Entdeckungen darzuthun, nur zeigen dürfen, daß die letzte unmittelbar auf das von Kepler entdeckte Gesetz führe, so daß jedes dieser beiden Gesetze nur gleichsam als ein anderer Ausdruck desselben Satzes betrachtet werden könne.

In der That, Newton nahm an, daß die Kraft jedes Centralkörpers auf die sich um ihn bewegenden Körper, daß also z. B. die Kraft der Sonne, mit welcher sie die Planeten bewegt, sich verkehrt wie das Quadrat der Entfernung verhalte, oder mit andern Worten: daß diese Kraft der Sonne gleich sey der Einheit, dividirt durch den Halbmesser der kreisförmigen Planetenbahn. Seine geometrische Betrachtung dieses Gegenstandes zeigte ihm, daß diese Kraft sich wie die Linie BM, d. h. wie dieser Halbmesser multiplicirt in das Quadrat des Bogens AM, verhalte, welchen der Planet während einer Secunde beschreibt. Wenn man aber diese beiden Ausdrücke der Attractionskraft der Sonne einan-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

der gleich setzt, so findet man sofort, daß in unserem Sonnensysteme der Würfel des Halbmessers jeder Planetenbahn sich verkehrt wie das Quadrat dieses von dem Planeten beschriebenen Bogens verhält. Allein diese Bogen verhalten sich, bei verschiedenen Planeten, verkehrt wie die Umlaufszeiten derselben, also müssen sich auch die Würfel der Halbmesser dieser Bahnen, wie die Quadrate der Umlaufszeiten der Planeten verhalten, worin eben das dritte Kepler'sche Gesetz besteht, das daher nur als eine unmittelbare Folge des von Newton entdeckten Gesetzes zu betrachten ist. Durch diese einfache Reihe von Schlüssen war demnach die Wahrheit des Gesetzes der allgemeinen Schwere für alle Körper unseres Sonnensystems als erwiesen anzunehmen, da für sie das dritte Keplersche Gesetz bereits ein Jahrhundert früher bewiesen worden ist.

Ja selbst ohne die hier zu Hülfe gerufene geometrische Betrachtung läßt sich das Gesetz der allgemeinen Schwere auf eine sehr einfache Weise aus der Theorie der kreisförmig bewegten Körper nachweisen. Schon Huygens hatte in den oben erwähnten Propositionen gezeigt, daß bei jedem in der Peripherie eines Kreises einhergehenden Körper die Centrifugalkraft wie der Halbmesser des Kreises, und verkehrt wie das Quadrat der Umlaufszeit des Körpers sich verhalte. Diese Centrifugalkraft ist senkrecht auf die Peripherie des Kreises, liegt daher in dem Halbmesser der Bahn und ist zum Mittelpunkte dieser Bahn, ist zur Sonne gerichtet, und kann daher bei den Planeten für diese Kraft der Sonne selbst angesehen werden. Allein nach dem erwähnten Gesetze Kepler's verhalten sich die Quadrate der Umlaufszeiten wie die Würfel der Halbmesser ihrer Bahnen. Verbindet man daher beide Sätze mit einander, so folgt sofort, daß sich bei den in Kreisen bewegten Planeten die Centrifugalkraft, d. h. die Attractionskraft der Sonne, wie verkehrt das Quadrat der Halbmesser ihrer Bahnen verhalte, worin eben das von Newton entdeckte Gesetz besteht.

Kapitel III.

Massen und Dichtigkeiten der Himmelskörper.

§. 42. (Abwägung der Weltkörper.) Wir haben in dem vorhergehenden Kapitel das Gesetz der allgemeinen Schwere in seinem einfachsten Ausdrucke betrachtet und bereits dort die Bemerkung aufgestellt, daß beinahe unsere ganze neuere Astronomie nur eine weitere Entwicklung dieses Gesetzes ist. In der That, wie jede neue, selbst scheinbar die geringfügigste Wahrheit nur selten allein steht, sondern immer eine Reihe von andern oft viel wichtigeren Wahrheiten in ihrem Gefolge nach sich zieht, so mußte dasselbe in einem noch viel höheren Grade von dieser

Entdeckung erwartet werden, die ihrer Natur nach sich über das ganze Sonnensystem, über den ganzen uns bekannten Theil des Himmels verbreitet. Nachdem dieses große Gesetz einmal bekannt geworden war, sah man aus ihm, wie aus einer reichen Quelle, eine große Menge anderer Entdeckungen entspringen, wichtiger und wunderbarer Entdeckungen, deren Daseyn die Alten nicht einmal ahnden konnten, da ihnen alle Wege, die zu denselben führten, fest verschlossen bleiben mußten, so lange ihnen jenes Gesetz selbst, dessen unmittelbare Folge sie sind, unbekannt war.

Wenn die mit der Astronomie Unbekannten hören, daß man in dieser Wissenschaft die Größe und Entfernung der Sonne und des Monds, zu denen doch Niemand von uns gelangen kann, mit einer Genauigkeit *) anzugeben vermag, wie sie dieß von der Größe ihrer Berge, und von den Entfernungen ihrer Städte auf der Erde nicht im Stande sind, so bemächtiget sich ihrer eine Art von Ungläubigkeit, die nur durch Thatsachen von ihrem Ausbruche zurückgehalten werden kann. So würden gewiß die meisten auch unsere Voraussage der künftigen Finsternisse des Mondes und der Sonne eben so vornehm-ungläubig belächeln, wenn sie nicht bereits selbst so oft schon mit ihren eigenen Augen die Wahrheit dieser Prophezeihungen, wie sie dieselben in ihren Kalendern lesen, bestätiget gefunden hätten.

Aber welche ganz andere Gefühle werden sich in diesen heimlichen Gegnern der Wissenschaft regen, wenn sie nun hören, daß die Astronomen sich sogar unterfangen haben, den Mond und die Sonne und alle Planeten auf einer Wage abzuwägen, und nicht nur die Gewichte derselben, sondern auch die größere oder kleinere Dichtigkeit des Stoffes zu bestimmen, aus dem jeder dieser Himmelskörper gewebt ist. Wenn sie hören, daß man, wenn die Sonne in einer Schaale dieser Wage liegt, in der anderen aber 350000 solcher Kugeln, wie unsere Erde ist, legen müsse, um die Wage im Gleichgewichte zu erhalten; daß diese Sonne groß genug ist, um aus ihr eine und eine halbe Million solcher Kugeln, wie unsere Erde ist, formen zu können; daß der ganze Sonnenkörper nur die Dichtigkeit unseres Bernsteins, Venus die des Glases, Saturn die des Cedernholzes habe; daß die Steine, die auf der Oberfläche unserer Erde in der ersten Secunde durch 15 Fuß fallen, auf dem Mars nur durch 6 Fuß, auf der Sonne aber durch 430 Fuß fallen u. s. w., wenn sie so ungewöhnliche und für sie wenigstens so ganz unglaubliche Behauptungen hören, wer mag es ihnen verargen, daß sie die vermeinten Großsprecher entweder gar nicht, oder doch nur in der Absicht anhören, zu erfahren, wie geschickt sich der Sophist aus der sich selbst gelegten Schlinge ziehen und wie fein er es anfangen werde, seinen gläubigen Zuhörern Staub in die Augen zu streuen, um sie am Ende seiner Produktion, von einem Gallimathias hochtrabender und nichtssagender Worte betäubt, unverrichteter Dinge wieder nach Hause gehen zu lassen.

Und doch sind eben diese Fragen, deren Beantwortung auf den ersten Blick so schwer, ja ganz unmöglich erscheint, die leichtesten der ganzen Astronomie und der Art, daß jeder Anfänger in der Kunst nicht nur ihre Beantwortung, wenn sie ihm gegeben wird, verstehen, sondern

---

*) Verhältnißmäßig wenigstens. So kennen wir die Entfernung des Mondes und der meisten Planeten von der Erde bis auf den hundertsten Theil ihrer Größe genau. Von wie vielen Hauptstädten unserer Erde, besonders der außereuropäischen, kann man dasselbe sagen?

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mit einigem Nachdenken auch wohl diese Antwort ohne Mühe selbst finden kann. Die Leser werden sich davon sogleich, wenn ich es anders nicht gar zu sehr an mir selbst fehlen lasse, durch eigene Erfahrung überzeugen.

§. 43. (Nähere Bestimmung des Gesetzes der allgemeinen Schwere.) Wir haben oben (Kap. II.) dies Gesetz der allgemeinen Schwere, der bessern Verständlichkeit wegen, in seiner einfachsten Gestalt gegeben. Wir wollen daher hier, ehe wir an die Beantwortung jener Fragen gehen, eine kleine, aber wichtige Berichtigung, die wir früher übergehen konnten, nachtragen.

Nach jenem Gesetze ziehen sich alle Körper gegenseitig im verkehrten Quadrate ihrer Entfernungen an. Wenn also z. B. ein Satellit Jupiters oder Saturns einen Stein in der Entfernung von 100 Meilen in der ersten Secunde um einen Fuß gegen sich anzieht, so wird er diesen Stein in der doppelten Entfernung, von 200 Meilen, nur mehr um $^1/_4$, in der Entfernung von 300, 400, 500 Meilen, nur um $^1/_9$, $^1/_{16}$, $^1/_{25}$ Fuß in der ersten Secunde anziehen, und so fort für jeden andern Körper, nur mit dem Unterschiede, daß z. B. ein zweiter Satellit jenen Stein in der Entfernung von 100 Meilen nicht mehr um einen ganzen, sondern vielleicht nur mehr um einen halben Fuß in der Secunde anziehen wird. Bei beiden wird sich also, jenem allgemeinen Gesetze gemäß, die Anziehung des Steines wie verkehrt das Quadrat seiner Entfernung verhalten, aber diese Anziehung selbst wird bei dem zweiten Satelliten nur die Hälfte des ersten seyn, oder sie wird für 100 Meilen $^1/_2$ Fuß, für 200 Meilen $^1/_8$, für 300 Meilen $^1/_{18}$, für 400 Meilen $^1/_{32}$ Fuß u. f. betragen.

Man sieht daraus, daß die Art, nach welcher die Anziehung der Körper wirkt, bei allen dieselbe, daß aber die Größe dieser Anziehung bei verschiedenen Körpern auch sehr verschieden seyn kann, etwa so, wie z. B. alle Pferde den Wagen, vor den sie gespannt werden, auf dieselbe Weise ziehen, während doch das eine derselben ihn viel stärker oder schwächer ziehen kann, als das andere, je nachdem es mit einer größern oder geringern Muskelkraft begabt ist. Was ist es nun, das diese Stelle der Muskelkraft bei den Körpern des Himmels vertritt?

Wir werden uns nicht bei der Untersuchung aufhalten, was diese Kraft der Himmelskörper, mit welcher sie alle anderen Körper anziehen, eigentlich sey oder woher sie komme. Die Metaphysiker, die sich so gern mit Fragen dieser Art beschäftigen, mögen sie beantworten, wenn sie können. Uns genügt es, das Daseyn einer solchen Kraft aus ihren unbestreitbaren Wirkungen zu erkennen. Diese sehen wir täglich und immerwährend in unendlichen Abwechslungen sowohl um uns, als auch selbst in uns. Ueberall in der Natur bemerken wir diesen Hang der Körper, sich anzuziehen, sich zu vereinigen, sich zur Kugelgestalt abzurunden. Der Thautropfen auf dem Kohlblatte, und die Gestirne des Himmels sind gleich gute Beispiele für den Beweis dieses Satzes. Aber die Ursache dieser Erscheinung? —

Wir empfinden den Duft, den die Blume aushaucht; wir ergötzen unser Auge an dem Lichte und an den Farben der Körper; wir erfreuen unser Ohr mit den harmonischen Tönen der Musik; wir sehen die ganze Erde mit allen ihren Reizen unter, und den endlosen Himmel mit allen seinen Wundern über uns — aber was wissen wir davon? Daß sie da sind, und nichts weiter. Woher sie kommen, und wohin sie gehen, ist uns unbekannt. Wir können eben so wenig den Hauch der Blumen, als die Feinheit des Lichtes berechnen, und der innere Zusammenhang der Dinge auf der Erde ist uns eben so ein Räthsel, als jene Zauber-

kraft, die den Himmel zusammenhält oder als jenes magische Band, das unsere Erde an die Sonne, und uns selbst an diese Erde fesselt. Wir wissen nur, oder glauben doch zu wissen, was von der Außenwelt durch jene fünf Kanäle, die wir unsere Sinne nennen, unserem Innern zugeführt wird. Für alle andere Dinge aber fehlt uns das Mittel, sie aufzufassen, daher wir auch nicht weiter nach ihnen fragen sollten, weil eine Antwort auf solche Fragen doch unmöglich ist, und wenn sie möglich wäre, uns unverständlich bleiben muß. Wie viel mag uns noch, selbst in unserer Nähe entgehen, das wir nicht einmal zu vermissen im Stande sind, von dem uns unsere feinsten Fibern keine Vorstellung mehr geben. Ja es ist sogar sehr möglich, daß wir selbst von dem, was wir noch für das Begreiflichste halten, so viel als gar nichts wissen. Wie ganz anders würde uns wohl die Welt vorkommen, wenn wir ohne Augen geboren würden, oder auch, wenn es der Natur gefallen hätte, noch ein Paar solcher Klappen mehr in uns aufzuschließen, um uns dadurch mit der Außenwelt in einen neuen Rapport zu setzen.

Wie es also auch mit dieser Attractionskraft der Körper, deren Wirkung wir sehen, ohne die Ursache erforschen zu können, beschaffen seyn mag, so können wir doch nicht gut anders, als diese Kraft einem jeden einzelnen Theile, einem jeden Elemente dieser Körper zuzuschreiben, aus welchen sie, als aus den kleinsten Körpern ihrer Art, zusammengesetzt seyn müssen. Dieser nothwendigen Voraussetzung gemäß wird also die ganze Kraft, mit welcher ein Körper den andern anzieht, nichts anders, als die Summe aller jener Kräfte seyn, die den einzelnen Elementen, aus welchen der Körper besteht, zukommen, und diese Totalkraft des Körpers wird offenbar desto größer seyn müssen, je größer die Anzahl dieser Elemente, d. h. mit andern Worten, je größer die Masse des ganzen anziehenden Körpers ist, indem wir unter diesem Worte nur eben die Summe aller den Körper constituirenden Atome zu verstehen pflegen.

So fallen, um dieß auf unsere Erde anzuwenden, die Körper auf der Oberfläche derselben in der ersten Secunde durch 15 Fuß, und diese Erscheinung kann als die Wirkung der Attractionskraft, als das eigentliche Maß der Kraft der Erde, so wie diese jetzt ist, angesehen werden. Wenn aber diese Erde, welche bekanntlich im Mittel die Dichtigkeit des Flußspaths oder des sogenannten Spießglases hat, wenn sie, ohne ihren Umfang zu ändern, fünfmal mehr Masse in sich enthielte, oder die Dichtigkeit unseres Goldes hätte, so würde auch die Kraft ihrer Attraction für dieselbe Entfernung, fünfmal größer werden, oder die Körper würden dann, an ihrer Oberfläche, nicht mehr 15, sondern fünfmal so viel, also 75 Fuß in der ersten Secunde fallen.

Dasselbe würde von zwei andern Kugeln gelten, deren Massen unter sich verschieden sind. Unser Mond z. B. hat nur den 70sten Theil der Masse der Erde. Er wird also auch einen Körper 70mal schwächer anziehen, als die Erde, vorausgesetzt, daß derselbe in beiden Fällen gleich weit von dem Mittelpunkte der Erde oder des Mondes entfernt ist.

So lange man daher nur von einem einzigen Körper spricht, wird man noch immer, wie zuvor, sagen können, daß sich seine Anziehung wie verkehrt das Quadrat seiner Entfernung verhält. Aber wenn man die Anziehung von zwei oder mehreren Körpern unter einander vergleichen, oder wenn man allgemein sprechen will, so wird man sagen müssen: „Die Anziehung jedes Körpers verhält sich direct wie seine Masse, und indirect wie das Quadrat seiner Entfernung, oder mit andern Worten,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

die Anziehung eines jeden Körpers ist gleich seiner Masse, dividirt durch das Quadrat seiner Entfernung.„

Nimmt man diese Entfernung der angezogenen Körper, wie es unter den Astronomen gewöhnlich ist, in Halbmessern der Erde, so hat man für die Anziehung der Erde, d. h. für den Fall der um a Erdhalbmesser von ihrem Mittelpunkte entfernten Körper, während der ersten Secunde, den Ausdruck 15 dividirt durch das Quadrat von a. So erhält man also für die Anziehung der Erde in der Entfernung von 1, 2, 3 . . Erdhalbmessern die Größen 15, $3^{3}/_{4}$, $1^{6}/_{9}$ . . Fuß, und für die Entfernung von 10, 20, 30 . . Erdhalbmessern 0.15, 0.04, 0.02 . . Fuß u. s. w. Für Saturn aber, dessen Masse nahe 100mal größer ist, als die der Erde, wird man die Anziehung desselben auf alle Körper außer ihm erhalten, wenn man seine Masse, d. h. wenn man die Zahl 1500 durch das Quadrat von a dividirt, wo wieder a die Entfernung dieser Körper von dem Mittelpunkte Saturns, in Theilen des Erdhalbmessers ausgedrückt, bezeichnet. Demnach wird also die Anziehung Saturns auf einen Körper, der von seinem Mittelpunkte 10, 20, 30 . . Erdhalbmesser entfernt ist, gleich 16, $3^{7}/_{10}$, $1^{7}/_{10}$ . . Fuß betragen, und so fort für alle anderen Planeten, deren Masse man kennt.

§. 44. (Anwendung dieses Satzes auf den Fall der Körper im Monde.) Wir wollen von diesem einfachen Satze sogleich eine Anwendung geben, und die Frage zu beantworten suchen, wie tief die Körper in der ersten Secunde auf der Oberfläche des Mondes fallen mögen. — Auf den ersten Blick sollte man glauben, daß sich so etwas nicht ohne unmittelbare Experimente, auf dem Monde selbst angestellt, ausmachen ließe. Da nun, so viel wir wissen, noch Niemand von uns bis dahin gekommen ist, so müßte auch die Sache unausgemacht bleiben. — Aber wir werden sogleich sehen, daß dieß keineswegs der Fall ist, und daß man vielmehr, ohne die Erde auch nur einen Augenblick zu verlassen, jene Frage, und zwar ohne alle Mühe, beantworten kann.

Auf der Oberfläche der Erde fällt der Stein in der ersten Secunde durch 15 Fuß. Die Masse des Mondes aber beträgt, wie man aus der Theorie der Ebbe und Fluth des Meeres gefunden hat, nur den 70sten Theil der Erdmasse, oder die Masse des Mondes ist 0.2143, wenn die Masse der Erde für die Einheit angenommen wird. Der ebenfalls bekannte Halbmesser des Mondes aber beträgt 230 deutsche Meilen, während der der Erde 860 Meilen hat, so daß jener gleich 0.2674 ist, wenn der Halbmesser der Erde für die Einheit angenommen wird.

Die Kraft der Erde, oder der Fall der Körper in der Entfernung von a Erdhalbmessern von dem Mittelpunkte der Erde ist also, wie zuvor, gleich der Zahl 15, dividirt durch das Quadrat von a. Die Kraft des Mondes aber auf dieselben Körper in derselben Entfernung ist gleich dem 70sten Theil von 15, oder gleich der Zahl 0.2143 dividirt durch das Quadrat von a. Diese Kraft des Mondes ist also für Körper, die nur $^{1}/_{10}$ Erdhalbmesser von dem Mittelpunkte des Mondes entfernt sind, gleich 21.43 Fuß; für die Entfernung von $^{2}/_{10}$ Erdhalbmesser wird sie 5.36, für die Entfernung von $^{3}/_{10}$ Erdhalbmesser 2.39 Fuß, und also auch für die Entfernung von 0.2674 Erdhalbmesser, d. h. für die Körper auf der Oberfläche des Mondes gleich 3 Fuß seyn, oder mit andern Worten: „Auf der Oberfläche des Mondes fallen die Körper in der ersten Secunde durch 3 Fuß, also nur durch den fünften Theil des Weges, durch welchen sie auf der Oberfläche der Erde fallen.“

Ganz eben so leicht wird man nun auch den Fall der Körper auf der Oberfläche jedes andern Planeten unseres Sonnensystems finden,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

wenn man die Masse und den Halbmesser desselben gegen die Masse und den Halbmesser unserer Erde kennt. So haben wir bereits oben die Masse Saturns nahe gleich 100mal größer als die der Erde gefunden. Allein der Halbmesser dieses Planeten beträgt nahe 10 Halbmesser der Erde. Die Anziehung dieses Planeten wird also gleich der Zahl 1500 dividirt durch das Quadrat von a seyn, und wenn man a gleich 10 nimmt, so wird man, wie bereits oben gefunden wurde, für die Anziehung Saturns in der Entfernung von 10 Erdhalbmessern, d. h. für die Oberfläche dieses Planeten selbst, 15 Fuß erhalten, d. h. auf der Oberfläche Saturns fallen die Körper in der ersten Secunde durch 15 Fuß, also nahe eben so tief, wie auf der Erde.

Eben so findet man, daß die Masse Jupiters 316, und die des Mars nur $^1/_{10}$ von jener der Erde beträgt, während der Halbmesser Jupiters 11, und der des Mars nur $^6/_{10}$ Erdhalbmesser hat, woraus folgt, daß die Körper auf der Oberfläche Jupiters in einer Secunde durch $38^1/_{10}$, und auf der Oberfläche des Mars nur durch $6^8/_{10}$ Fuß fallen. Die Masse der Sonne endlich ist 355000mal größer, als die der Erde, und ihr Halbmesser beträgt 110 Erdhalbmesser, also fallen auch die Körper auf der Oberfläche der Sonne in einer Secunde durch 430 Fuß.

Da aber dieser Fall der Körper oder, was dasselbe ist, da diese Attraction der Planeten eigentlich das, was wir das Gewicht dieser Körper nennen, bestimmt, so wird auch aus dem Vorhergehenden unmittelbar folgen, daß ein Körper, der z. B. bei uns ein Pfund wiegt, auf der Oberfläche des Mondes viel leichter seyn, und nur mehr den fünften Theil eines Pfundes oder nur $6^2/_5$ Loth wiegen wird, während er im Gegentheile auf der Sonne 430 Pfund wiegen muß. Es versteht sich aber wohl von selbst, daß sich diese Verschiedenheit in dem Gewichte der Körper nicht durch unsere Wagen nachweisen lassen wird, weil das eigentliche Gewicht, was wir in die andere Wagschaale zu legen pflegen, um dadurch das Gewicht des Körpers zu finden, doch auch wieder ein Körper ist, der auch, und zwar auf dieselbe Weise, von der Schwere seines Planeten afficirt wird, und daher z. B. auf dem Monde auch nur den fünften Theil seines irdischen Gewichtes haben kann. Statt dieses Wortes Gewicht werden wir daher, der bessern Verständlichkeit wegen, das Wort Druck gebrauchen und sagen, daß ein Körper, der auf der Erde mit der Kraft von einem Pfunde auf seine Unterlage drückt, auf dem Monde nur mit $^1/_5$ dieser Kraft, auf Jupiter mit $2^3/_5$, und auf der Sonne mit $28^7/_{10}$ Pfunden auf seine Unterlage drücken wird.

§. 45. (Anwendung des Vorhergehenden auf künstliche Monde.) Wir alle wissen, daß, wenn ein Stein aufwärts geworfen, oder eine Kugel schief gegen den Horizont abgeschossen wird, diese Kugel eine krumme Linie beschreibt, an deren Ende sie wieder zur Erde zurückfällt. Je größer die Kraft ist, mit welcher die Kugel aus der Mündung des Geschützes getrieben wird, desto größer ist auch der Bogen, den sie über der Erde beschreibt, und es ist klar, daß diese Kraft, die Ladung der Kanone, endlich so groß werden könnte, daß die Kugel gar nicht mehr zur Erde zurückfallen, sondern daß sie eine krumme Linie um die ganze Erde herum beschreiben müßte. Dann würde sie aber dasselbe thun, was der Mond schon lange thut, und wir würden auch in der That auf diese Weise einen kleinen Mond mehr erhalten, so daß wir am Ende diese Monde in beliebiger Menge, etwa wie jetzt unsere Luftballone oder unsere Seifenblasen, steigen lassen könnten, wenn wir nur unsern Geschützen die dazu nöthige Kraft zu ertheilen wüßten. Und wie groß müßte diese

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Kraft, wie groß müßte die anfängliche Geschwindigkeit seyn, um zu diesem Zwecke zu gelangen?

Die Antwort auf diese Frage ist für die, welche nur mit den ersten Elementen der Mechanik bekannt sind, sehr leicht. — Wenn man die Fallhöhe der Körper in der ersten Secunde mit dem Durchmesser des Planeten multiplicirt, und aus der so erhaltenen Zahl die Quadratwurzel nimmt, so hat man die gesuchte anfängliche Geschwindigkeit der in Frage stehenden Kugel.

Für die Erde z. B. ist jene Fallhöhe 15 Fuß. Der Halbmesser derselben aber ist 19642400 Fuß. Wird also die letzte Zahl zweimal genommen, und durch 15 multiplicirt, so erhält man 589272000, und von dieser Zahl ist die Quadratwurzel 24275.

Unsere Kanone müßte also eine Ladung erhalten, nach welcher die Kugel in der ersten Secunde ihres Laufes einen Weg von 24275 Par. Fuß zurücklegte. Davon sind aber unsere Kanonenkugeln, die höchstens 700 Fuß in der ersten Secunde zurücklegen, noch sehr weit entfernt.

Die Mondsbewohner aber, vorausgesetzt, daß sie mit bessern Geschützen versehen sind, könnten einen solchen Versuch, der für uns noch unmöglich ist, schon viel leichter ausführen; denn da bei ihnen die Schwere der Körper nur den fünften Theil unserer Schwere beträgt, so wird auch schon der fünfte Theil jener Ladung hinreichen, die Kugel zu einem Satelliten des Mondes, zu einem Monde des zweiten Ranges zu machen. Eine anfängliche Geschwindigkeit von 5000 Fuß würde diese Kugel bereits um den Mond herum treiben. Da aber auch diese Geschwindigkeit über siebenmale größer ist, als die von unsern Kanonen erzeugte, so werden auch sie noch einige Schwierigkeiten bei der Ausführung dieses Experiments zu überwinden haben, besonders wenn sie, wie man vermuthen darf, noch nicht so weit, wie wir, in der Ballistik vorgerückt seyn, oder wenn sie vielleicht am Ende noch ganz und gar keine Kanonen haben sollten.

§. 46. (Vortheile der Mondsbewohner.) Immer aber werden sich die Seleniten in allen den Fällen eines großen Vortheiles über uns zu erfreuen haben, wo es sich darum handelt, der Kraft der Schwere entgegen zu arbeiten. Wenn sie z. B. ihre Wagen, ihre Hebel, ihr Rad an der Welle u. dgl., durch elastische Federn, durch entwickelte Dämpfe, durch ihre eigene oder durch die Muskelkraft ihrer Thiere in Bewegung setzen wollen, so werden sie mit einem fünfmal geringeren Kraftaufwande schon ihr Ziel erreichen. So würden unsere Pferde auf dem Monde, unter übrigens gleichen Umständen, viel größere Lasten zu ziehen und ohne zu ermüden viel schneller laufen können, als auf der Erde, und die Grotesque-Tänzer des Mondes, wenn es solche gibt, und wenn sie dieselbe Muskelkraft, wie die unsern, besitzen, werden mit derselben Anstrengung schon fünfmal höhere Sprünge machen können, weil sie auch nur durch eine fünfmal geringere Kraft zu ihrer Erde zurückgezogen werden.

§. 47. (Meteorsteine.) Man hat in den neuern Zeiten die Vermuthung aufgestellt, daß die Steine, welche öfter unter heftigen Detonationen aus der Luft zur Erde fallen, und die unter der Benennung von Aerolithen oder Meteorsteinen bekannt sind, Produkte der Vulkane des Mondes seyn mögen.

Wenn man, um die Sache ganz einfach darzustellen, von der Bewegung des Mondes sowohl, als auch von jener der Erde abstrahirt und annimmt, daß der Wurf eines solchen Steines gerade gegen die Erde hin gerichtet sey, so ist es leicht, denjenigen Punkt zwischen Mond und Erde zu finden, wo dieser Stein von dem Monde ganz eben so stark,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

wie von der Erde angezogen wird. Setzt man nämlich voraus, daß die Kräfte dieser beiden Weltkörper sich wie ihre Massen dividirt durch die Entfernung des Steines von ihrem Mittelpunkte verhalten, so findet man, daß dieser Punkt nahe 7 Erdhalbmesser von dem Monde, also auch nahe 53 Erdhalbmesser von dem Mittelpunkte der Erde entfernt ist. Eine einfache Rechnung zeigt, daß die anfängliche Geschwindigkeit, die der Stein bei seinem Auswurfe durch den Vulkan erhalten, oder daß der Weg, welchen der Stein in der ersten Secunde zurücklegen muß, um jenen Punkt der gleichen Anziehung zu erreichen, 8290 Par. Fuß beträgt, also nahe 12mal größer ist, als die Geschwindigkeit einer Kanonenkugel. Wir kennen aber die Kräfte, welche unsere, und noch weniger jene, welche die Vulkane des Mondes entwickeln, noch zu wenig, als daß wir dadurch über die Wahrscheinlichkeit jenes Ursprungs der Aerolithen uns eine Entscheidung erlauben dürften. Gewiß ist, daß ein Körper, der mit dieser Geschwindigkeit die Oberfläche des Mondes verläßt und in gerader Richtung auf die ruhende Erde fortgeht, jenen Punkt der gleichen Anziehung erreichen, und daß er ihn daher auch, wenn jene anfängliche Geschwindigkeit nur etwas größer ist, auch überholen wird. Dann tritt er aber in die Attractionssphäre der Erde ein und gehört fortan nicht mehr dem Monde, sondern uns an. Da ohne Zweifel die meisten dieser Steine, wenn sie anders diesen Ursprung haben, in einer gegen die Erde schiefen Richtung von dem Monde ausgeworfen werden, so werden sie auch ihren Weg nicht in gerader Richtung auf die Erde hinnehmen, sondern vielmehr, wenn sie einmal die Attractionsgränze des Mondes überschritten haben, in krummen Linien, gleich andern, kleineren Monden, die Erde umkreisen, wo sie dann, besonders wenn ihre Anzahl, wie es scheint, sehr groß ist, oft in den Fall kommen könnten, daß sie die Bahn der Erde durchschneiden, oder so nahe zu derselben gelangen müßten, um von ihr mit Heftigkeit angezogen und zum Herabstürzen auf die Erde gebracht zu werden.

Man könnte fragen, wie viele Zeit ein solcher Stein brauchte, um von jenem Punkte der gleichen Anziehung bis zur Erde zu kommen, oder um seinen Weg von 53 Erdhalbmessern zurückzulegen. — Wenn er bloß von der Erde angezogen und durch die Atmosphäre derselben in seinem Laufe nicht gehindert wäre, so würde er diesen Weg in 2 Stunden 18 Minuten zurücklegen, und am Ende dieser Zeit die Erde mit einer Geschwindigkeit erreichen, vermöge welcher er in einer Secunde 25102 8 Fuß zurücklegte. Da diese die Geschwindigkeit unserer Kanonenkugeln gegen 360mal übertrifft, so könnte man daraus das tiefe Einschlagen der Aerolithen in die Erde, und die Erscheinung erklären, daß man selbst nach heftigen Steinregen, so wenige derselben auf der Oberfläche des Bodens, wo sie gefallen sind, finden kann. Allein da ein solcher Stein, in dem Punkte der gleichen Attraction, auch noch, obgleich nur schwach, von dem Monde angezogen wird, so muß dadurch seine Endgeschwindigkeit verkleinert, und dafür die Zeit, während welcher er jene 53 Erdhalbmesser zurücklegt, beträchtlich vergrößert werden. In der That findet man, daß er unter dieser Voraussetzung jenen Weg erst in nahe 64 Stunden oder in $2^2/_5$ Tagen zurücklegen würde.

Uebrigens muß man gestehen, daß sich die Erde, ihrem Diener und Fackelträger gegenüber, in einer etwas sonderbaren Lage befindet, wenn anders diese Hypothese von dem Ursprunge der Aerolithen gegründet seyn soll. Sie muß sich von ihm mit Steinen werfen lassen, ohne es verhindern, selbst ohne es, nach dem Rechte der Repressalien, auch nur erwidern zu können, da uns unsere fünfmal größere Schwere hindert,

auch unsere Steine dem Monde wieder an den Kopf zu werfen, um wenigstens dadurch den unartigen Diener vielleicht bessere Sitte zu lehren. Da man indeß, wie unsere scharfsinnigen Philosophen sagen, am besten geduldig leidet, was man nicht ändern kann, so wird es wohl auch hier am klügsten seyn, ruhig zuzusehen und abzuwarten, was etwa noch kommen soll, und einstweilen, in Hoffnung besserer Zeiten, die verschossenen Kugeln des Feindes aufzulesen, um sie in unseren Mineralienkabinetten aufzustellen, und dadurch unseren allzeitfertigen Hypothesenkrämern Gelegenheit zu geben, ihr Talent an ihnen nach Lust und Liebe auszuüben.

Indeß mag es an der Zeit seyn, noch auf einen anderen Ursprung dieser sogenannten Meteorsteine aufmerksam zu machen. Es ist nämlich möglich und vielleicht selbst sehr wahrscheinlich, daß sie, ganz wie die übrigen Planeten, obgleich viel kleiner, kosmische Körper sind, die sich nach denselben Gesetzen, wie die Planeten, um die Sonne bewegen, und die, wenn sie auf ihrem Laufe der Erde zufällig nahe kommen, von derselben angezogen werden, sich in unserer Atmosphäre durch die heftige Reibung, welche diese Körper daselbst erleiden, entzünden und dann als Sternschnuppen, Feuerkugeln u. dgl. zur Erde stürzen. Da man ihrer in mancher Nacht schon so viele gesehen hat, so ist ihre Anzahl wahrscheinlich sehr groß, und es scheint sogar, daß mehrere von ihnen sich gruppenweise, in Heerden von vielen Tausenden um die Sonne wälzen. In der Nacht vom 11ten zum 12ten November 1799 wurde eine ganz ungewöhnlich große Menge solcher Sternschnuppen zu gleicher Zeit in Europa und in Amerika sichtbar. Humboldt und Bonpland beobachteten sie auf der Landenge von Panama, während sie von andern in Nordamerika, in Grönland und auch an mehreren Orten in der Mitte Deutschlands gesehen wurden. Nach Humboldt's Erzählung, die mit jener der anderen Beobachter sehr gut übereinstimmt, folgten während nahe vier vollen Stunden viele Tausende solcher Sternschnuppen auf einander. Sie stiegen sämmtlich in Ost und Nordost über den Horizont und fielen in Süden wieder zur Erde herab. Die Meisten zogen einen leuchtenden Schweif von 5 bis 10 Graden Länge hinter sich, und manche übertrafen selbst Jupiter und Venus an Größe und Helligkeit ihres Lichts.

Es ist sehr sonderbar, daß seitdem noch mehrere solcher Erscheinungen und zwar immer nahe an demselben Monatstag gesehen wurden. Am 13ten Nov. 1831 sah man auf der See, südlich von Spanien, während einer Zeit von nahe drei Stunden eine sehr große Menge von Sternschnuppen von verschiedener und sehr bedeutender Größe. Am 12ten Nov. 1832 wurde eine ähnliche Erscheinung zu gleicher Zeit in England, Frankreich, Deutschland und dem südlichen Rußland beobachtet. Die Menge der Sternschnuppen soll wahrhaft zahllos gewesen seyn und an mehreren Orten einem Feuerregen geglichen haben. Am 13. Nov. 1833 wurde dasselbe Schauspiel in den vereinigten Staaten von Nordamerika, in Mexico, Jamaika und Cuba zu gleicher Zeit beinahe die ganze Nacht durch gesehen. Alle die Tausende von Sternschnuppen, die öfter den ganzen Himmel, gleich dem Vollmonde, beleuchteten, schienen aus dem Sternbilde des großen Löwen auszugehen. Auch am 13ten Nov. 1835 sah man im südöstlichen Frankreich (Departement de l'Ain) eine ähnliche, doch nicht so auffallende Erscheinung.

Das merkwürdigste bei denselben ist, nebst der großen Anzahl und der regelmäßigen Wiederkehr dieser Sternschnuppen, noch die Richtung ihrer Bewegung, die der Bewegung der Erde entgegengesetzt seyn soll. Wenn sich dieß durch fernere Beobachtungen bestätiget, so ist man bei-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

nahe gezwungen, anzunehmen, daß außer den großen Kugeln, die wir Planeten nennen, auch noch ganze Aggregate oder Systeme von kleineren Körpern sich in dem Weltraume um die Sonne bewegen, und daß diese Körper, gleich einer Wolke von Sand oder Steinen, ihre Bahnen um die Sonne nach denselben Gesetzen zurücklegen, wie die Erde und die übrigen Planeten. Diese Sandwolken, oder wie man solche Sammlungen von kleinen Planeten nennen mag, und deren es vielleicht unzählige gibt, die sich in den großen Zwischenräumen der anderen, eigentlich sogenannten Planeten herumtreiben, würden daher eine eigene, uns bisher ganz unbekannte Art von Weltkörpern bilden, die wegen dem äußerst lockern Gewebe, aus dem sie bestehen, wegen der getrennten Textur ihrer einzelnen Theile einen sehr großen Raum einnehmen. Nimmt man an, daß die uns nächste Planetenwolke dieser Art mit ihrem Schwerpunkte eine Bahn um die Sonne beschreibt, die nur wenig von der unserer Erde verschieden ist, und daß beide von West nach Ost, also auch nahe in derselben Zeit um die Sonne gehen, so würden wir jährlich einmal, nahe um dieselbe Zeit, dieser Wolke begegnen und vielleicht sogar durch den Rand derselben mit unserem großen Erdenschiffe durchfahren, ohne eben mehr davon zu merken, als daß um dieselbe Zeit die Sternschnuppen immer sehr häufig erscheinen und zugleich alle nahe dieselbe Richtung von West gen Ost haben, indem nämlich diejenigen jener kleinen Planeten, die unserer Erde nahe kommen, von ihr weggezogen, in unserer Atmosphäre entzündet und endlich auf die Erde selbst herabgeschleudert werden. Da nun die Aufmerksamkeit der Astronomen auf dieses sonderbare Phänomen gerichtet ist, so wird der Grund desselben wahrscheinlich schon in den nächsten Jahren mit Bestimmtheit nachgewiesen werden können.

Einstweilen wollen wir wieder zu unserem Gegenstand zurückkehren und zusehen, welche weitere Folgen sich aus dem bisher betrachteten Gesetze der allgemeinen Schwere ableiten lassen.

§. 48. (Bestimmung der Masse der Sonne.) Nach diesem Gesetze ist die Attractionskraft eines jeden Körpers auf einen außer ihm gelegenen Punkt gleich der Masse dieses Körpers, dividirt durch das Quadrat seiner Entfernung von dem angezogenen Punkte. Also ist auch sofort umgekehrt: die Masse des anziehenden Körpers gleich der Anziehungskraft desselben, multiplicirt in das Quadrat der Entfernung.

So gestellt, sieht man sogleich, daß dieses Gesetz uns auch die Massen der Himmelskörper kennen lehrt, wenn man ihre Anziehung auf einen gegebenen äußern Körper kennt.

Diese Anziehung aber wird, (nach §. 33) durch die kleine Linie BM (Fig. 87) ausgedrückt, um welche der angezogene Punkt während einer Secunde zu dem anziehenden Körper hinfällt. Diese kleine Linie ist ferner gleich der Entfernung CA des angezogenen Punktes A von dem anziehenden Körper C, multiplicirt in das halbe Quadrat des kleinen Bogens AM, welchen der angezogene Punkt während einer Secunde um den anziehenden Körper beschreibt. Dieser Bogen endlich, in Theilen des Halbmessers CA seines Kreises ausgedrückt, wird erhalten, wenn man die Zahl 360 durch die in Tagen ausgedrückte Umlaufszeit des angezogenen Punktes dividirt, und die so erhaltene Zahl durch 0.000048481 multiplicirt, wie dieß alles bereits oben (§. 27) umständlich erörtert wurde.

Wenden wir dieß sogleich auf die Bestimmung der Masse unserer Sonne an. — Die Umlaufszeit der Erde beträgt 365.25638 Tage. Dar-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

aus folgt, daß der Winkel ACM, den die Erde in einer Secunde um die Sonne beschreibt, 0.0411 Secunden, und daß daher der Bogen AM nur den 0.0000001993ste Theil des Halbmessers der Erdbahn beträgt.

Um nun alles in Halbmessern der Mondsbahn auszudrücken, bemerken wir zuerst, daß die Entfernung der Erde von der Sonne 392mal größer ist, als die Entfernung des Mondes von der Erde. Wir werden also den Halbmesser CA der Erdbahn gleich 392 setzen, und die Hälfte dieser Zahl oder 196 in das Quadrat des vorhergehenden Bogens AM multipliciren, wodurch man für die Größe BM erhält 0.000000000000778 Halbmesser der Mondsbahn. So viele Halbmesser der Mondsbahn fällt also die Erde während jeder Secunde gegen die Sonne, oder dieß ist das eigentliche Maß der Attraction, welche die Sonne in derjenigen Entfernung ausübt, in welcher die Erde sich um sie bewegt. Wollte man diesen Fall in Par. Fuß ausdrücken, so würde man nur die letzte Zahl durch 1173051000 multipliciren, welches die Entfernung des Mondes von der Erde (51355 Meilen) in Par. Fuß ausgedrückt ist, wodurch man für jenen Fall 0.009129 Fuß erhält.

Mit welcher Kraft würde aber die Sonne auf die Erde wirken, wenn die Erde nur so weit von ihr entfernt wäre, als der Mond von der Erde entfernt ist? — Die Antwort auf diese Frage folgt ebenfalls unmittelbar aus unserm Gesetze. Da nämlich diese beiden Kräfte der Sonne, indem die Masse des anziehenden Körpers dieselbe bleibt, sich wie verkehrt die Quadrate der beiden Entfernungen verhalten müssen, so wird man die neue Kraft erhalten, wenn man die vorhergehende, oder wenn man die letztgegebene Zahl durch das Quadrat von 392 multiplicirt, wodurch man die Zahl 0.0000119581 erhält. Das heißt also: Wenn die Erde so nahe bei dem Mittelpunkte der Sonne stehen könnte, als der Mond in der That bei der Erde steht, so würde die Attractionskraft der Sonne auf die Erde BM = 0.0000119581 Halbmesser der Mondsbahn betragen, oder so würde die Erde in jeder Secunde durch diesen Raum BM gegen die Sonne fallen.

Es ist also nur noch übrig, zuzusehen, durch welchen Raum der Mond während derselben Zeit in seiner Bahn gegen die Erde fällt, um sofort die zwei Attractionskräfte, die der Sonne und die des Mondes, für dieselbe Entfernung, nämlich für die Entfernung des Halbmessers der Mondsbahn, zu erhalten. Denn da diese Attraction für dieselben Entfernungen nur mehr durch die Massen der beiden anziehenden Körper, der Sonne und des Mondes, verschieden seyn können, so werden sie sich auch wie diese Massen verhalten müssen.

Was nun den Mond betrifft, so haben wir schon oben gefunden (§. 27), daß er in jeder Secunde den Winkel von 0.5479 Secunden, also den Bogen AM von 0.0000026562 Halbmesser der Mondsbahn beschreibt. Da aber in unsern gegenwärtigen Rechnungen dieser Halbmesser der Mondsbahn für die Einheit aller Distanzen angenommen worden ist, so wird die Anziehungskraft der Erde auf den Mond gleich seyn der Hälfte des Quadrats der letzten Zahl, d. h. gleich 0.00000000035278, und diese Zahl drückt also die Anziehung der Erde auf den Mond aus.

Da ferner, wie gesagt, diese Anziehungen der Sonne und der Erde, wegen der gleichen Distanzen der angezogenen Körper, sich wie die Massen der anziehenden Körper verhalten, so verhält sich auch die Masse der Sonne zur Masse der Erde, wie jene beiden Zahlen, d. h. wie 0.0000119581 zu 0.00000000035278 oder endlich wie 338980 zu 1, oder die Masse der Sonne ist 338980 größer, als die Masse der Erde.

§. 49. (Vereinfachung der vorhergehenden Rechnungen.) Wem vielleicht die vorhergehenden Rechnungen mit den großen, oder eigentlich mit den sehr kleinen Zahlen, nicht bequem genug dünken, der kann sich, mit einer geringen Aenderung, das ganze Geschäft sehr abkürzen. In der That, es wurde oben gesagt, die Masse sey das Produkt der kleinen Linie BM in das Quadrat der Entfernung AC des angezogenen Körpers von dem anziehenden. Allein diese Linie BM ist gleich dem halben Produkte derselben Entfernung AC in das Quadrat des Bogens AM, oder was hier, wo es sich nur um Verhältnisse handelt, dasselbe ist, die Linie BM ist gleich dem Produkte der Entfernung in das Quadrat des Winkels ACM, welchen der angezogene Punkt in einer Secunde beschreibt. Also ist auch „die Masse des anziehenden Körpers gleich dem Quadrate dieses Winkels multiplicirt mit dem Würfel der Entfernung des angezogenen Punktes.“

In dieser Gestalt unseres Satzes wird die vorhergehendeBerechnung viel einfacher. In der That, für die Sonne wird der erwähnte Winkel gleich 0.″0411 und die Entfernung gleich 392, also ist auch das Produkt des Quadrats der ersten Zahl in den Würfel der zweiten, oder die Masse der Sonne gleich 101752. — Für den Mond aber ist jener Winkel 0.″54788, und die Entfernung 1, also auch das erwähnte Produkt oder die Masse der Erde gleich 0.300172; woraus sofort folgt, daß die Masse der Sonne zur Masse der Erde sich verhält, wie 101752 zu 0.300172 oder wie 338980 zu 1, wie zuvor.

§. 50. (Analoge Bestimmung der Masse der Planeten.) Ganz eben so wird man auch die Masse aller derjenigen Planeten bestimmen können die mit Satelliten versehen sind. Der vierte Satellit Jupiters z. B. vollendet den Umlauf um seinen Hauptplaneten in 16.68877 Tagen, woraus folgt, daß er in einer Zeitsecunde den Winkel von 0.8988 Secunden beschreibt, während seine Entfernung von dem Mittelpunkte Jupiters 252300 Meilen beträgt. Die Entfernung der Erde von der Sonne aber ist 20658000 Meilen, also nahe 81.9mal größer, als jene, und der Winkel, den die Erde während einer Secunde um die Sonne zurücklegt, ist nach dem Vorhergehenden 0.0411 Secunden. Multiplicirt man also das Quadrat von 0.0411 mit dem Würfel von 81.9, so erhält man für die Masse der Sonne die Zahl 927.98. Multiplicirt man aber das Quadrat von 0.8988 mit dem Würfel von 1, so erhält man für die Masse Jupiters die Zahl 0.80786. Die Masse der Sonne verhält sich daher zur Masse Jupiters, wie 927.98 zu 0.80786 oder wie 1149 zu 1. Oben haben wir aber die Masse der Sonne 338980mal größer als die Masse der Erde gefunden, also ist auch die Masse Jupiters 295mal größer, als die der Erde. Eben so findet man, daß die Masse Saturns 95, und die des Uranus 17mal größer ist, als die der Erde u. s. w.

(Andere Bestimmung der Masse der Sonne gegen die der Erde.) Man sieht, daß die vorhergehende Bestimmung der Massen sich eigentlich darauf reducirt, daß man für zwei Centralkörper die Größe des Falles bestimmt, den die von ihnen angezogenen Punkte während einer Secunde erleiden, und daß man nur diesen Fall beider Körper auf dieselbe Entfernung bringen darf, um sofort auch das Verhältniß der Massen beider Centralkörper zu erhalten. So ist die Sonne der Centralkörper für die Erde, und diese ist wieder der Centralkörper für den Mond, so wie Jupiter ebenfalls der Centralkörper für seine vier Satelliten ist. Ganz eben so kann man aber auch den Mittelpunkt der Erde als den Centralkörper für die auf der Oberfläche der Erde frei fallenden Körper betrachten, und da die Größe dieses Falles aus den Beobachtungen

bekannt ist, so läßt sich auch daraus die Masse der Sonne ohne Beihülfe des Mondes unmittelbar ableiten. In der That, dieser Fall auf der Oberfläche der Erde beträgt, wie wir schon öfter erwähnt haben, 15 Fuß während einer Secunde, und die Entfernung dieser fallenden Körper von dem Mittelpunkte der Erde ist dem Halbmesser der Erde gleich. Wenn aber diese Körper 23600mal weiter, d. h. wenn sie so weit, als die Erde von der Sonne, von dem Mittelpunkte der Erde entfernt wären, so würden sie, unserem allgemeinen Gesetze gemäß, in der ersten Secunde nur nahe durch 15, dividirt durch das Quadrat von 23600, das heißt, nur nahe durch den Raum von 0.00000026932 Fuß gegen diesen Mittelpunkt der Erde, gegen *ihren* Centralpunkt fallen. Allein die Erde selbst fällt gegen ihren eigenen Centralpunkt, d. h. gegen die Sonne, wie wir oben gesehen haben, in derselben Zeit durch 0.009129 Fuß. Da nun diese beiden Fallhöhen sich wie die beiden anziehenden Kräfte d. h. wie die Massen der beiden anziehenden Körper verhalten müssen, so ist die Masse der Sonne zu jener der Erde, wie die beiden letztgenannten Zahlen, d. h. wie 339000 zu 1, sehr nahe, wie schon oben gefunden wurde.

§. 51. (Ausdehnung dieses Gesetzes.) Bisher haben wir dieses Gesetz nur auf die Körper unseres Sonnensystems angewendet, und wir könnten uns begnügen, zu wissen, daß es bis an die äußerste Gränze desselben befolgt wird, da ohnehin alles, was jenseits dieser Gränze liegt, für uns größtentheils noch ganz unbekanntes Land ist, und wahrscheinlich auch immer bleiben wird.

Diese Gränze ist übrigens so weit von uns entfernt, oder das Reich der Sonne ist, in Vergleich mit allen Reichen der Erde, so gewaltig groß, daß wir Ursache haben, uns Glück zu wünschen, daß es einem von uns gelungen ist, das zwar kurze, aber mit der größten Genauigkeit befolgte Gesetzbuch dieser wahrhaft unermeßlichen Monarchie, des eigentlichen Sonnenstaates, aufgefunden zu haben. Von den Planeten, die wir in diesem Sonnensysteme kennen, ist Uranus der weiteste von der Sonne. Er ist über 19mal weiter als die Erde, oder nahe 400 Millionen deutsche Meilen von der Sonne entfernt.

Eine Kanonenkugel, die in jeder Secunde, ohne zu ermatten, 600 Par. Fuß zurücklegte, würde diesen Weg erst in 480 Jahren vollenden. Allein dieser Planet ist noch weit von der uns bekannten Gränze jenes Reiches entfernt. Derjenige Himmelskörper, der sich unter den bisher berechneten am meisten von der Sonne entfernt, ist der große Komet, der im Jahre 1680 erschienen ist. Er steht in seiner Sonnenferne über 880mal weiter als die Erde, oder nahe 17600 Millionen Meilen von der Sonne ab, und jene Kugel würde ihn erst in 21400 Jahren erreichen. Aber auch er gehorcht, wie die Rechnungen der Astronomen zeigen, dem oben (I. §. 146) erwähnten dritten Gesetze Kepler's, also auch diesem allgemeinen Gesetze der Schwere: von welchem jenes, wie wir gesehen haben, nur eine Folge ist.

Aber außer diesem Reiche? Jenseits der Gränzen des Sonnengebietes? — Wir haben bereits gesagt, daß dort nur unbekanntes Land für uns ist, und daß wir sonach nicht bestimmen können, welche Gesetze in jenen ungemessenen Entfernungen gelten mögen. Wir haben oben (I. §. 70) gesehen, daß unsere Kenntnisse dieser Gränze durchaus nur negativer Art sind, und daß wir bloß wissen, daß der nächste Fixstern nicht unter vier Billionen deutsche Meilen von uns entfernt seyn kann. Ob er aber noch zwei- oder zehn- oder hundertmal weiter von uns absteht, ist uns gänzlich unbekannt. Demnach sind die andern Sonnen, die Fixsterne, welche wir in so großer Zahl über uns glänzen sehen,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

wenigstens so weit von uns entfernt, daß zwischen den nächsten derselben und zwischen der Sonnenferne jenes äußersten Kometen noch immer ein Zwischenraum von 3980000 Millionen Meilen, eine ungeheure Wüste liegt, die unsern Staat ringsum von allen andern Sonnengebieten trennt, und deren Oberfläche über 50 Quadrillionen Quadratmeilen beträgt.

Es scheint verwegen, um die Ereignisse, welche dort vorgehen, und um die Gesetze zu fragen, nach welchen sie vorgehen.

Und doch — auch die Auflösung dieses Räthsels, so schwer es auch scheint, ist dem menschlichen Geiste bereits gelungen.

Wir haben oben (II. §. 210) von einer eigenen Gattung von Fixsternen gesprochen, die man immer Paarweise, sehr nahe neben einander stehend, antrifft.

Wir erwähnten, daß bei mehreren dieser Doppelsterne der eine sich um den andern bewegt, daß man sogar bei einigen derselben schon die Gestalt der Bahn bestimmt hat, in welcher diese Bewegung vor sich geht, und daß man dabei das überraschende Resultat fand, daß die Bahn des einen dieser Sterne eine Ellipse ist, in deren einem Brennpunkt der andere Stern liegt, ganz so wie bei den Planeten und Satelliten unseres Systems, von deren elliptischen Bahnen auch der eine Brennpunkt von der Sonne oder von dem Hauptplaneten eingenommen wird. Allein schon Newton hat gezeigt, daß solche Bewegungen eine nothwendige Folge des Gesetzes der allgemeinen Schwere sind. Daraus würde also folgen, daß auch in jenen ungemessenen Fernen das Gesetz unseres Sonnensystems anerkannt wird, und daß es daher höchst wahrscheinlich das allgemeine Gesetz der ganzen, endlosen Natur ist. — Welches Entzücken würde Newton zu Theil geworden seyn, ihm, der schon vor Freude über die Entdeckung des Gesetzes unseres Systems in ein krankhaftes Entzücken verfiel, wenn er diese Ausdehnung seiner Entdeckung über den ganzen Weltenraum auch nur hätte ahnen können.

§. 52. (Bestimmung der Massen dieser Doppelsterne.) Wir haben oben bereits von mehreren dieser Sternenpaare die Umlaufszeit des einen um den anderen mitgetheilt. So beträgt sie bei dem schönen Doppelstern Castor in den Zwillingen 253, bei ξ im großen Bären 61, bei η in der nördlichen Krone 43 Jahre u. s. w. Wenn wir nun auch durch künftige Beobachtungen dahin gelangen sollten, die Halbmesser der Bahnen dieser Sterne in einem uns bekannten Maaße, z. B. in Meilen, anzugeben, so würden wir daraus, ganz so wie oben bei den Planeten, auch den Fall dieser Gestirne gegen ihren Centralkörper finden können, und daraus mittelst des allgemeinen Gesetzes der Schwere, auch denjenigen Fall bestimmen, den das Gestirn haben würde, wenn es von seinem Centralkörper eben so weit, als die Erde von der Sonne, entfernt wäre. Diesen Fall mit demjenigen verglichen, welchen unsere Erde in der That hat, würde uns dann sofort die Masse jenes Centralkörpers in Beziehung auf die Masse unserer Sonne kennen lehren.

Nehmen wir an, der Halbmesser der Bahn eines solchen Doppelgestirns sey zwanzigmal größer, als der Halbmesser der Erdbahn, und sein Fall gegen den Centralkörper betrage $^1/_{10}$ Fuß während einer Secunde. Da unsere Erde in dieser Zeit um 0.009129 Fuß gegen die Sonne fällt, so würde sie, jenem allgemeinen Gesetze gemäß, wenn sie, so wie jene Sterne, zwanzigmal weiter von der Sonne entfernt wäre, in jeder Secunde nur durch 0.009129, dividirt durch 400, das heißt, nur durch 0.0000228 Fuß fallen, während doch jener Stern in der That durch $^1/_{10}$ Fuß fällt. Daraus folgt, daß sich die Masse jenes Centralsterns zur Masse unserer Sonne verhält, wie 0.1 zu 0.0000228 oder wie 4380

zu 1. — Oder auch umgekehrt: Der Stern fällt in seiner Entfernung von 20 Erdweiten in einer Secunde durch 0.1 Fuß. Er würde daher, wenn er seinem Centralstern zwanzigmal näher, d. h. so nahe, als die Erde der Sonne wäre, in derselben Zeit durch 400mal 0.1, das heißt durch 40 Fuß fallen, woraus wieder folgt, daß die Masse des Centralkörpers sich zu der Sonnenmasse verhält, wie 40 zu 0.009129 oder wie 4380 zu 1, wie zuvor.

§. 53. (Größe der Himmelskörper.) Wir haben bereits oben (I. Kap. 5.) die Mittel angezeigt, deren sich die Astronomen bedienen, die Entfernungen der himmlischen Körper von der Erde zu finden. Wenn aber einmal diese Entfernung, z. B. in Meilen, bekannt ist, so braucht man nur noch den Winkel zu beobachten, unter welchen uns der Halbmesser dieser Körper erscheint, um sofort auch die wahre Größe dieses Halbmessers in Meilen zu erhalten. Man multiplicirt nämlich diesen Winkel durch die gegebene Entfernung, und durch die bekannte Zahl 0.00004848 (§. 48), und das Produkt ist der Halbmesser des Gestirns in Meilen. So erscheint uns der Halbmesser der Sonne unter dem Winkel von 996 Secunden, und ihre Entfernung von der Erde beträgt 20658000 Meilen, also beträgt auch der wahre Halbmesser derselben 99750 Meilen. Da nun der Halbmesser der Erde bekanntlich 859 Meilen hat, so ist der Halbmesser, also auch der Durchmesser der Sonne, nahe 116mal größer, als jener der Erde. Da ferner die Oberfläche der Kugeln sich wie die Quadrate, und die Inhalte oder Volumina derselben, wie die Würfel ihrer Halbmesser verhalten, so ist die Oberfläche der Sonne 13456mal größer, als die der Erde, und ihr Volum ist 1560000mal größer, als das der Erde. Eben so findet man das Volum Saturns 928, und das Jupiters 1330mal größer, als das Volum der Erde.

§. 54. (Dichtigkeit der Himmelskörper.) Nachdem wir nun das Volum sowohl, als auch die Masse der Himmelskörper kennen gelernt haben, wird es keine weitere Schwierigkeit mehr haben, auch die Dichtigkeit derselben oder das Verhalten des Stoffes, aus dem sie bestehen, zu dem unserer Erde zu bestimmen. Die Dichtigkeit eines jeden Körpers ist nämlich nichts anders, als das Verhältniß seiner Masse zu seinem Volum, indem die Dichte derselben offenbar in demselben Verhältnisse größer werden muß, in welchem die Masse bei demselben Volum größer, oder in welchem das Volum bei derselben Masse kleiner wird. Man darf daher nur die Masse eines Körpers durch sein Volum dividiren, um die Dichtigkeit desselben zu erhalten.

So fanden wir oben für unsere Sonne die Masse 338980, und das Volum 1560000, wenn Masse und Volum der Erde als Einheit vorausgesetzt wird. Also ist auch die Dichte der Sonne 0.22, oder nahe $^1/_4$ von der Dichte der Erde. Die Masse Saturns wurde oben gleich 100 oder genauer 95, und das Volum dieses Planeten gleich 928 von dem der Erde gefunden, also ist auch die Dichte Saturns 0.12 oder nur der zehnte Theil von der Dichte der Erde. Die Dichte unserer Erde aber, dieselbe im Ganzen betrachtet, ist nach Maskelyne's Versuchen 4.5, und nach Cavendish sinnreichem Experimente 5.2 der Dichtigkeit des reinen Wassers, welche beide Zahlen man im Mittel zu 4.85 oder nahe 5 nehmen kann.

Nimmt man die Dichtigkeit der Erde als Einheit an, so findet man für die Dichtigkeiten der Himmelskörper unseres Systemes folgende Zahlen:

Sonne	0.22	Saturn	0.12
Uranus	0.20	Jupiter	0.22

Mars	0.69	Jupiters Satellit	I.		0.2
Erde	1.00	»	»	II.	0.4
Venus	1.07	»	»	III.	0.3
Merkur	3.61	»	»	IV.	0.4
Mond	0.70				

Um diese Dichtigkeiten mit denen unserer bekanntesten irdischen Körper zu vergleichen, wollen wir dieses Kapitel mit einem kleinen Verzeichnisse derselben beschließen, das uns bei anderen Gelegenheiten wieder nützlich seyn kann. Die in demselben angegebenen Dichtigkeiten setzen die des reinen oder destillirten Wassers gleich der Einheit voraus.

Schwefeläther	0.71	Schwefel	2.03
Reinster Alcohol	0.79	Porcellan	2.14
Terpentinöl	0.87	Feldspath	2.56
Olivenöl	0.91	Bergkrystall	2.65
Wein, Bordeaux	0.99	Korallen	2.69
Milch	1.03	Perlen	2.75
Meerwasser	1.02	Smaragd, grün	2.77
Salpetersäure	1.22	Onyx	2.81
Schwefelsäure	1.84	Marmor	2.84
Korkholz	0.24	Asbest	2.99
Pappelholz	0.38	Turmalin	3.15
Cedernholz	0.56	Flintglas	3.33
Tannenholz	0.66	Diamant	3.53
Apfelholz	0.73	Topas, orient.	4.01
Eschenholz	0.84	Saphir, orient.	3.99
Pottasche	0.86	Spath	4.43
Eis	0.97	Jode	4.95
Alaun	1.80	Chrome	5.90
Elfenbein	1.92	Zink	6.86
Eisen, Guß-	7.21	Silber	10.47
Eisen, geschmiedet	7.79	Rhodium	11.00
Stahl	7.81	Palladium	11.30
Nickel	8.28	Blei	11.35
Arsenik	8.31	Queckſilber	13.60
Kupfer	8.79	Gold, geschmiedet	19.36
Wismuth	9.82	Platin, geschmiedet	20.34

Kapitel IV.

Elliptische Bewegung der Himmelskörper.

§. 55. (Bewegungen in krummen Linien überhaupt.) Wir haben oben (II. §. 15) gesehen, daß, wenn ein Körper sich in einer geraden Linie, und mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegt, diese Bewegung nur die

Folge eines ersten Impulses, eines Stoßes seyn kann, der bloß einen Augenblick thätig ist, dessen Wirkung aber, nach dem Gesetze der Trägheit (II. §. 20) ohne Ende fortdauert, wenn keine anderen, äußeren Einwirkungen diese Bewegung stören. Wenn daher ein Körper sich entweder in einer krummen Linie mit gleichförmiger Geschwindigkeit, oder in einer geraden Linie mit ungleichförmiger Geschwindigkeit, oder endlich, wenn er sich in einer krummen Linie mit veränderlicher Geschwindigkeit bewegt, so werden wir in allen diesen Fällen annehmen müssen, daß wenigstens zwei Kräfte auf ihn wirken. Die eine derselben kann ebenfalls ein bloßer Impuls, ein anfänglicher, augenblicklicher Stoß oder Zug seyn, in dessen Folge der Körper, wie zuvor, eine gerade Linie, deren Richtung die dieses Stoßes ist, mit gleichförmiger Geschwindigkeit durchlaufen würde. Wenn aber die wahre Bahn, die wir den Körper beschreiben sehen, eine krumme Linie, d. h. eine solche ist, deren Richtung sich immerwährend und in jedem Augenblicke ändert, so kann die andere der beiden auf ihn wirkenden Kräfte nicht mehr von der Art eines augenblicklichen Stoßes, sondern sie muß, wie die oben betrachtete Attraction der Erde, eine ebenfalls immerwährend und in jedem Augenblicke fortwirkende Kraft seyn, weil nur durch eine solche Kraft die immerwährende Aenderung der Richtung der Bahn, so wie die stetige Aenderung der Geschwindigkeit des Körpers sich erklären läßt.

§. 56. (Zerlegung der Kräfte.) Es scheint auf den ersten Blick keine leichte Aufgabe zu seyn, die Bahn eines solchen, von zwei Kräften nach verschiedenen Richtungen getriebenen Körpers zu bestimmen. Allein wir haben bereits oben eines allgemeinen Grundsatzes der Mechanik erwähnt, der uns hier ganz besonders zu statten kommen wird. Nach diesem Grundsatze, der mit der Erfahrung vollkommen übereinstimmt, bringt jede der beiden Kräfte auf die Körper ganz dieselbe Wirkung hervor, die sie hervorgebracht haben würde, wenn sie ganz allein auf ihn gewirkt hätte, oder wenn die andere gar nicht da gewesen wäre. Diesem Grundsatze, den man das Princip der Zerlegung der Kräfte nennt, gemäß, wird man also die Wirkungen der beiden Kräfte abgesondert betrachten können, wodurch das Geschäft der Bahnbestimmung ungemein erleichtert wird. Einige Beispiele werden dieß sogleich näher erklären.

Wenn ein Körper A (Fig. 88) durch irgend eine Kraft M während einer bestimmten Zeit, und in gleichförmiger Bewegung von A nach B, und zugleich von irgend einer andern Kraft N in derselben Zeit von A nach C getrieben wird, so findet man den Weg, welchen er in Folge der vereinten Wirkung beider Kräfte beschreibt, auf folgende Art: Man ziehe die Linie BD mit AC und CD mit AB parallel, so entsteht das Parallelogramm ABCD, und der gesuchte Weg des von beiden Kräften getriebenen Körpers wird die Diagonale AD dieses Parallelogramms seyn. Denn da die Kraft N nach der Richtung von AC, die mit BD parallel ist, wirkt, so wird diese Kraft, vermöge des erwähnten Principes, diejenige Bewegung des Körpers, mit welcher er sich der Linie BD zu nähern sucht, nicht ändern, und er wird daher diese Linie BD in derselben oben erwähnten Zeit erreichen, die Kraft N mag auf ihn wirken oder nicht. Dieser Körper wird also am Ende dieser Zeit irgendwo in dieser Linie BD seyn müssen. Ganz eben so wird man auch zeigen, daß er bloß vermöge der Kraft N am Ende derselben Zeit irgendwo in der Linie CD seyn müsse, die Kraft M mag auf ihn wirken oder nicht. Der Körper wird daher am Ende dieser Zeit sowohl in der Linie BD, als auch irgendwo in der Linie CD, das heißt, er wird in dem gemeinschaftlichen Durchschnittspunkte D dieser beiden Linien seyn, und daher die Diago-

nale AD des Parallelogramms beschrieben haben, von welchen die Seitenlinien AB und AC die beiden auf ihn wirkenden Kräfte, ihrer Größe und Richtung nach, vorstellen.

Auf diese Weise und mit denselben Worten hat Newton im ersten Buche seiner Principien dieses Theorem von der Zerlegung der Kräfte erklärt, dessen wir schon oben (I. §. 80) Erwähnung gethan haben. Seine Nachfolger haben sich bemüht, es strenge zu beweisen. Es wäre aber zu wünschen, daß diese einfache und gemeinverständliche Darstellung wenigstens in unseren populären Lehrbüchern beibehalten worden wäre, und daß man, aus zu weit getriebener Vorliebe für die Rigorosität der Beweise, eine Erklärung, die Newton in sein unsterbliches Werk aufgenommen hat, nicht unter der scholastischen Würde gehalten hätte, mit welcher unsere Dogmatiker sich noch immer so gerne brüsten.

Das Vorhergehende bezieht sich übrigens nur auf geradlinige und gleichförmige Bewegungen. Allein man sieht, daß es unmittelbar auch auf jede andere Bewegung angewendet werden kann, wenn man die krumme Linie der Bahn, wie dieß in der Geometrie und Mechanik geschieht, in so kleine Theile zerlegt, daß man sie, ohne merklichen Fehler, als gerade Linien, deren jede mit gleichförmiger Bewegung zurückgelegt wird,. betrachten kann.

§. 57. (Bahn der geworfenen Körper auf der Erde.) Es werde nun ein Körper A (Fig. 89) auf der Oberfläche der Erde in einer horizontalen Richtung Aδ geworfen und zugleich in jedem Augenblicke von der Kraft der Erde angezogen. Wenn bloß der erste augenblickliche Impuls des Wurfes auf ihn wirkt, so würde er in jeder Secunde die gleich großen Theile Aα, αβ, βγ.. der horizontalen Linie Aαβγ.. beschreiben, von welchen z. B. jeder dieser Theile hundert Fuß betragen soll. — Wenn aber bloß die Anziehung der Erde auf ihn wirkte, welche Wirkung man hier, aus der bereits oben (§. 19) angeführten Ursache als constant, und in unter sich parallelen oder senkrechten Richtungen annehmen kann, so würde dieser Körper in der ersten Secunde (nach §. 19) um 15.098 Fuß senkrecht zur Erde fallen. Wir wollen diese Größe, der Kürze wegen, ein Maaß nennen. Wenn er also während der ersten Secunde durch ein Maaß fällt, so wird er, nach der Tafel des §. 18, während der zweiten durch 4, während der dritten durch 9, während der vierten Secunde durch 16 Maaß fallen u. s. w.

Dieß vorausgesetzt, ziehe man also durch die Endpunkte α, β, γ.. jener gleichen Theile der horizontalen Linie Aδ die darauf senkrechten, oder die vertikalen Linien αb, βc, γd.. und nehme auf ihnen die Stücke

αB gleich 1 Maaß
βC „ 4 „
γD „ 9 „
δE „ 16 „ u. s. f.

so werden A, B, C, D.. die Punkte seyn, in welchen sich der geworfene Körper im Anfange der 1sten, 2ten, 3ten, 4ten Secunde befindet. Vereinigt man dann diese Punkte durch eine etwa mit freier Hand gezogene krumme Linie ABCD.., so erhält man die gesuchte Bahn des geworfenen Körpers. Je kleiner man die anfänglichen gleichen Theile der horizontalen Linie Aδ genommen hat, desto genauer wird man auch diese krumme Linie selbst erhalten. Dieselbe Zeichnung zeigt auch, daß man diese krumme Linie als eine Folge der Diagonalen von den Parallelogrammen jener beiden Kräfte ansehen kann. In der ersten Secunde sind diese beiden Kräfte Aα und αB, und AB die Diagonale ihres Parallelogramms. Wenn am Ende dieser ersten Secunde die Schwere der

Erde nicht auf den Körper wirkte, so würde er in der Verlängerung Bb' dieser Diagonale, in der einmal erhaltenen Richtung fortgehen. Allein durch diese Schwere wird er, während der ersten Secunde, um die Linie Bb fallen, also wird er die Diagonale BC der beiden Kräfte Bb und Bb' beschreiben. In der dritten Secunde würde er, vermöge der in C erhaltenen Geschwindigkeit in der Richtung Cc' der Verlängerung von BC fortgehen, aber von der Schwere um Cc senkrecht herabgezogen werden, so daß er die Diagonale CD der beiden Kräfte Cc und Cc' beschreibt u. s. w.

Da für die gleichen Abstände $A\alpha$, $\alpha\beta$, $\beta\gamma$.. der horizontalen Linie die darauf senkrechten Linien αB, βC, γD.. sich wie 1, 4, 9.., das heißt, wie die Quadrate der natürlichen Zahlen verhalten, und da dieß eine bekannte Eigenschaft der Parabel (§. 61) ist, so ist dadurch auch die Bahn der über der Erde geworfenen Körper geometrisch bestimmt. Uebrigens sieht man, daß ein solcher Körper einen desto größern parabolischen Bogen über der Erde beschreiben, oder daß er die Oberfläche derselben desto später erreichen wird, je größer die anfängliche Wurfkraft, d. h. je größer die Linie $A\alpha$ ist, so wie, daß diese Linie endlich auch so groß werden kann, daß der geworfene Körper die Erde gar nicht mehr erreicht, sondern eine krumme Linie um sie beschreibt, wo wir dann wieder auf denjenigen Fall zurückkommen, von welchem wir bereits oben (§. 45) gesprochen haben, nämlich auf einen künstlichen Satelliten der Erde, der gleich unserem Monde, seine Bahn um diese Erde zurücklegt.

§. 58. (Princip der Erhaltung der Flächen bei Bewegungen durch Centralkräfte.) Dieß leitet uns gleichsam von selbst auf die Bewegung der Satelliten um ihren Hauptplaneten, und auf die dieser Planeten um die Sonne, als um den Centralpunkt ihrer Bahnen. — Nehmen wir also an, ein Planet A (Fig. 90) habe im Anfange seiner Bewegung durch irgend eine äußere Veranlassung einen Stoß erhalten, in dessen Folge er während der ersten Secunde die gerade Linie AB zurücklegt. Wenn weiter keine Kraft auf den Planeten wirkte, so würde er in der zweiten Secunde, in derselben Richtung, die eben so große Linie Bc = AB zurücklegen. Wenn aber auch die immer thätige Kraft der Sonne, deren unveränderlichen Ort wir in S annehmen wollen, auf ihn wirkt, so wird sie den Planeten während der zweiten Secunde in der Richtung BS, etwa um die Linie Bm, an sich ziehen. Demnach hat der Planet, wenn er in dem Punkte B ankommt, zwei Geschwindigkeiten: die eine Bc, nach dem Gesetze der Trägheit, in der Tangente seiner Bahn, und die andere Bm nach der Richtung gegen die Sonne S. Zieht man daher durch c die gerade Linie cC gleich und parallel mit Bm, und ergänzt das Parallelogramm BCcm, so wird die Diagonale BC dieses Parallelograms den eigentlichen Weg des Planeten während der zweiten Secunde vorstellen, und derselbe wird, am Ende dieser Secunde, in dem Punkte C seyn. Allein die beiden Dreiecke ASB und BSc haben gleiche Flächen, weil ihre Grundlinien AB und Bc gleich groß, und ihre Scheitel in demselben Punkte S, also in derselben Höhe über ihrer Grundlinie sind. Aber auch die beiden Dreiecke BSc und BSC haben gleiche Flächen, weil sie eine gemeinschaftliche Grundlinie SB, und ihre Scheitel C und c in einer Linie Cc haben, die zu jener Grundlinie parallel ist, so daß also auch dieses zweite Dreieckspaar, wie das erste, gleiche Basis und Höhe hat. Daraus folgt demnach, daß auch die beiden äußersten dieser Dreiecke, nämlich das Dreieck ASB und BSC gleiche Flächen haben, und eben dasselbe wird auch von den beiden Dreiecken

BSC und CSD gelten, wenn der Planet am Ende der dritten Secunde in dem Punkte D ist, und so fort für jeden folgenden Punkt.

Man sieht daraus, daß, wenn die anziehende Kraft einen festen Punkt S einnimmt, oder wenn sie eine sogenannte Centralkraft ist, die Bewegung der von ihr angezogenen Körper immer so beschaffen seyn muß, daß die Flächen ASB, BSC, CSD.., welche die Radien SA, SB, SC.. um den Sitz S der Kraft beschreiben, der Zeit proportional sind, oder daß diese Flächen immer in 2, 3, 4.. Secunden auch 2, 3, 4..mal so groß sind, als in einer Secunde. Dieß ist das erste Gesetz Kepler's, welches wir schon oben (I. §. 132) betrachtet haben. Kepler hatte dasselbe durch unmittelbare Beobachtungen auf bloß praktischem Wege, und nur für die elliptischen Bahnen der Planeten gefunden. Man sieht aber aus der vorhergehenden einfachen Deduction, daß dasselbe überhaupt für alle Bahnen gilt, die durch eine Centralkraft erzeugt werden, und es ist leicht zu zeigen, daß derselbe Satz auch umgekehrt Statt hat, daß nämlich, so oft die von den Radien eines Körpers um einen festen Punkt beschriebenen Flächen der Zeit proportional sind, die sie bewegende Kraft eine Centralkraft, oder eine solche Kraft seyn müsse, die in diesem festen Punkte ihren Sitz hat.

§. 59. (Allgemeine Betrachtung der Kegelschnitte.) In der That ist es auch nicht nothwendig, daß die von den Planeten um die Sonne beschriebenen Bahnen immer die Gestalt einer Ellipse haben, selbst dann nicht, wenn die Kraft der Sonne, wie wir oben gezeigt haben, sich wie verkehrt das Quadrat der Entfernung verhält.

Man kann nämlich durch Rechnung zeigen, daß bei einer so gestalteten Kraft der Sonne die Bahnen der um sie gehenden Körper überhaupt sogenannte Linien der zweiten Ordnung, oder daß sie Kegelschnitte seyn werden, deren es im Allgemeinen drei Gattungen gibt, die wir hier etwas näher betrachten wollen.

Wenn man durch den Mittelpunkt eines horizontalen Kreises eine verticale gerade Linie errichtet, und dann eine zweite gerade Linie um den höchsten Punkt dieser Verticalen so herumführt, daß sie immer durch diesen Punkt und durch die Peripherie jenes Kreises geht, so beschreibt diese zweite, bewegliche Gerade eine krumme Oberfläche, die man einen Kegel nennt, von welchem jener oberste Punkt der Scheitel ist. Man kann sich die bewegliche gerade Linie auch über diesen Punkt unbestimmt verlängert denken, wo sie dann durch ihre oben angegebene Bewegung einen Doppelkegel beschreiben wird, von welchem jener feste Punkt als Mittelpunkt betrachtet werden kann. In Fig. 91 ist der untere Theil eines solchen Kegels vorgestellt, wo C der Mittelpunkt des Kreises BD, und CA die darauf senkrechte Gerade, wo AB oder AD die bewegliche Gerade, und A der Scheitel des Kegels ist.

Denken wir uns die Oberfläche dieses Kegels in irgend einem Punkte M derselben durch eine auf der Ebene der Zeichnung senkrecht stehende Ebene MN geschnitten, so wird der Durchschnitt der Kegelfläche mit der schneidenden Ebene MN eine sogenannte Linie der zweiten Ordnung seyn. Diese Linie wird aber ganz andere Gestalten und Eigenschaften erhalten, wenn die schneidende Linie MN selbst von verschiedener Lage ist. — Man bemerkt hier vorzüglich drei Fälle. Um sie leichter zu unterscheiden, wollen wir zuerst die fixe schneidende Linie MO parallel mit der gegenüberstehenden Seite AB des Kegels ziehen und von ihr ausgehen, um auch die anderen Schnitte, die über und unter diesem fixen Schnitte liegen, zu betrachten.

§. 60. (Ellipsen.) Hier bemerken wir zuerst, daß, so lange die

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

schneidende Linie MN über der fixen Linie MO, oder irgendwo in dem Winkel AMO liegt, der Schnitt der Ebene mit dem Kegel immer auch die dem Einschnittpunkte M gegenüber liegende Seite AB des Kegels trifft, und daß daher die durch diesen Schnitt erzeugte krumme Linie eine ringsum geschlossene Curve bilden wird. Diese Curven sind es, die in der Geometrie Ellipsen genannt werden. Wir haben ihre vorzüglichsten Eigenschaften bereits oben (I. §. 136) betrachtet. Wenn die schneidende Linie sehr nahe an MA liegt, so wird die so entstehende Ellipse sehr länglich oder sehr excentrisch seyn. Wie diese Linie MN von MA weiter gegen MO herabrückt, wird die Excentricität der Ellipse kleiner, und wenn MN in eine solche Lage gekommen ist, daß sie mit der Ebene des Kreises parallel, oder daß sie senkrecht auf die Axe AC des Kegels steht, so verschwindet diese Excentricität völlig, und der Kegelschnitt wird zu einem Kreise, der als eine Ellipse mit verschwindender Excentricität betrachtet werden kann. Wenn aber die schneidende Linie MN noch weiter gegen die fixe Linie MO herabsinkt, so entstehen wieder Ellipsen, deren Größe und deren Excentricität immer bedeutender wird, je tiefer die schneidende Linie MN herabsinkt. Da man die Seitenlinien AB und AD des Kegels auch unter den Kreis BD unbestimmt verlängert sich vorstellen kann, so sieht man, daß der Schnitt, so lange er nur innerhalb des Winkels AMO Statt hat, immer noch die gegenüberstehende Seite AB oder ihre Verlängerung treffen, daß also die so entstehende Linie immer noch eine geschlossene Linie, eine Ellipse seyn wird.

§. 61. (Parabeln.) Allein so wie die schneidende Linie MN diese Gränze erreicht und in die Lage der fixen Linie MO kömmt, ist dieß nicht mehr der Fall. Hier geht nämlich der Schnitt nicht mehr durch die dem Punkte M gegenüber liegende Seite AB des Kegels, weil die beiden Linien MO und AB einander parallel sind und sich daher nie schneiden können, so weit man auch den Kegel auf der untern Seite des Kreises BD verlängert. Hier ist also auch die Curve des Schnittes keine geschlossene, in sich selbst zurückkehrende, sondern sie ist eine gegenüber von M offene Linie, die von ihrem Scheitel M zu beiden Seiten der Linie MO mit zwei gleichen Aesten sich in's Unendliche ausbreitet. Diese krumme, von der Ellipse wesentlich verschiedene Linie heißt Parabel.

§. 62. (Hyperbeln.) Tritt nun die schneidende Linie MN noch weiter, oder auf die andere, untere Seite der fixen Linie MO, d. h. fällt MN zwischen die Schenkel OM und MD des Winkels OMD, so bleibt die durch den Schnitt entstehende Linie, wie man sieht, auf der dem Punkte M gegenüberstehenden Seite offen, indem sie da, wie zuvor bei der Parabel, in zwei gleiche und unendliche Aeste ausläuft. Allein sie ist demungeachtet sehr von der Parabel verschieden. — Verlängert man nämlich die Seiten BA und DA des Kegels über den Punkt A, und stellt man dadurch in der Zeichnung den oben erwähnten Doppelkegel her, so sieht man, daß die schneidende Linie MN, wenn sie in den Winkel OMD fällt, nicht nur den unteren, sondern daß sie auch den oberen Kegel trifft, daß also die Ebene des Schnitts in diesem Falle durch beide Kegel geht, was nicht geschehen kann, so lange die schneidende Linie MN in dem Winkel AMO oder über der fixen Linie MO liegt. Die hier entstehende krumme Linie besteht also aus zwei von einander abgesonderten, ähnlichen Theilen, welche ihre Scheitel einander zukehren, und von welchen jede auf der ihren Scheitel gegenüberstehenden Seite mit zwei gleichen Aesten in's Unendliche ausläuft. Diese krumme Linie mit vier unendlichen Aesten heißt Hyperbel.

So lange also die schneidende Linie MN über der fixen Linie MO

oder in dem Winkel AMO liegt, entstehen Ellipsen; fällt die schneidende Linie in die Linie MO, so entsteht die Parabel, und liegt endlich die schneidende Linie unter der Linie MO, oder in dem Winkel OMD, so entstehen Hyperbeln. Die Parabel ist demnach die Gränze, welche die Ellipsen von den Hyperbeln trennt, so wie auch der Kreis die Gränze von denjenigen Ellipsen ist, die über und unter ihm liegen, und deren Excentricität immer größer wird, je weiter sie sich von diesem Kreise, zu den beiden Seiten desselben, entfernen. Für jeden Punkt M des Kegels, wo der Schnitt anfangen soll, gibt es, wie man sieht, nur eine einzige Lage der schneidenden Ebene, die den Schnitt zur Parabel macht, so wie auch nur eine einzige andere Lage den Kreis erzeugt; für die Ellipse und die Hyperbel aber gibt es unendlich viele Lagen, und es ist genug, daß die schneidende Ebene nur überhaupt über oder unter dem parabolischen Schnitte liegt, um in dem ersten Falle eine Ellipse, und in dem zweiten eine Hyperbel zu erzeugen.

§. 63. (Anwendung auf die Bewegung der Planeten und Kometen.) Dieses vorausgesetzt, gehen wir nun wieder zu der Bewegung der Planeten um die Sonne zurück. Diese wird, nach dem Vorhergehenden, durch zwei Kräfte bewirkt. Die eine derselben ist die Kraft der Sonne, die sich verkehrt wie das Quadrat der Entfernung des Planeten von der Sonne verhält, und die daher, je nach der Verschiedenheit dieser Entfernungen, selbst als eine veränderliche Kraft betrachtet werden muß. Die andere aber ist der augenblickliche Impuls, der Stoß, den der Planet im Anfange seiner Bewegung, entweder unmittelbar durch die Hand der Allmacht, oder auch durch die Anziehung irgend eines ihm damals nahe stehenden Körpers erhalten hat. Die erste dieser beiden Kräfte würde, wenn sie allein da wäre, oder wenn der Planet seine Bewegung aus der Ruhe angefangen hätte, diesen Planeten in einer geraden Linie, und mit immer beschleunigter Geschwindigkeit zur Sonne geführt haben, weil die Richtung dieser Kraft immer gegen die Sonne zu geht. Die zweite Kraft würde, wenn sie allein da gewesen wäre, den Planeten zwar auch in einer geraden Linie, aber, vermöge des Gesetzes der Trägheit, mit einer immer gleichen Geschwindigkeit nach derjenigen Gegend des Himmels hingeführt haben, nach welcher jener ursprüngliche Stoß selbst gerichtet war. Beide Kräfte zusammen aber werden den Planeten in einer krummen Bahn um die Sonne führen. Durch jenen ersten Impuls hat er nämlich in dem ersten Augenblicke seiner Bewegung eine bestimmte Geschwindigkeit nach irgend einer Richtung, die nicht durch die Sonne geht, erhalten. Allein in demselben Augenblicke wird er auch von der Sonne angezogen, und er geht daher, weder in der Richtung jenes Impulses, noch in der Richtung dieser zur Sonne gekehrten Kraft, sondern er geht in der Diagonale des Parallelogramms (§. 56) einher, dessen Seiten die Größe und Richtung jener beiden Kräfte darstellen. Diese Diagonale ist also die Tangente seiner krummen Bahn während des ersten Augenblickes. Sey AB (Fig. 90) das Stück seiner Tangente, welches der Planet im ersten Augenblicke zurücklegt. Wenn am Ende desselben die Kraft der Sonne nicht weiter auf ihn wirkte, so würde er mit der nun erhaltenen Geschwindigkeit und Richtung seinen Weg in dieser Tangente weiter verfolgen, und den Weg Bc = AB zurücklegen. Allein die Sonne, die ihn auch während des zweiten Augenblickes wieder zu sich zu ziehen strebt, zwingt ihn, jene erste Tangente zu verlassen, und neuerdings in der Diagonale BC des Parallelogramms einherzugehen, dessen Seiten Bm und Bc die Größe und Richtung der Kraft der Sonne und derjenigen Kraft vorstellen, die am Ende des ersten Augenblickes auf den Planeten gewirkt

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

hat, und die selbst wieder eine Complication von der Kraft der Sonne, und von der des ersten Impulses ist. Diese Diagonale BC wird also der Weg des Planeten während des zweiten Augenblickes, oder sie wird wieder die Tangente seiner Bahn in dieser Zeit seyn. Eben so wird die Diagonale CD das Element der Tangente der Bahn während des dritten Augenblickes seyn u. s. w., und der ganze Weg des Planeten wird durch die gebrochene gerade Linie ABCD.. vorgestellt werden, die einer krummen Linie desto näher kömmt, je kleiner wir ihre Theile oder je kleiner wir die Zwischenzeiten annehmen, während welcher wir den Planeten in seinen nach einander folgenden Stellungen betrachten wollen. Man kann daher auch annehmen, daß der Planet in jedem Punkte B seiner Bahn von zwei veränderlichen Kräften getrieben wird, nämlich von der Centralkraft Bm der Sonne, nach welcher er in jedem Augenblicke sich in gerader Linie der Sonne zu nähern, und von der Tangentialkraft Bc, nach welcher er in demselben Augenblicke ebenfalls in gerader Richtung, nämlich in der Richtung der letzten Tangente AB seiner Bahn fortzugehen strebt. Wie viel aber die Krümmung seiner Bahn in dem ersten, und in jedem folgenden Augenblicke seiner Bewegung betragen soll, dieß hängt von dem Verhältnisse der Stärke des ersten Stoßes zu der Stärke der Anziehung der Sonne ab. Dieses Verhältniß wird daher auch bestimmen, ob die Bahn des Körpers eine Ellipse, Parabel oder eine Hyperbel ist, und ob z. B. diese Ellipse sehr stark oder nur wenig excentrisch seyn wird.

§. 64. (Nähere Bestimmung der anfänglichen Geschwindigkeit.) Man kann diese verschiedenen Fälle durch Rechnungen mit großer Genauigkeit angeben. Es ist jedoch hier nicht der Ort, die Gründe dieser Rechnungen anzuführen, aber die einfachen Resultate derselben dürfen nicht ganz übergangen werden. — Nimmt man der Kürze wegen an, daß der Planet in demjenigen Punkte seiner Bahn, wo er der Sonne am nächsten ist, also in seinem Perihelium (I. Kap. 9) entstanden ist, und nennt man a die Entfernung dieses Periheliums von dem Mittelpunkte der Sonne, in Theilen der halben großen Axe der Erdbahn ausgedrückt, so sey b gleich der Zahl 5.804, dividirt durch die Quadratwurzel von a. Dieses vorausgesetzt, darf man nur die Größe jenes ersten Impulses, d. h. die Geschwindigkeit des Planeten oder den Weg, in deutschen Meilen ausgedrückt, kennen, den er in seiner Sonnennähe während einer Secunde zurücklegt, um daraus sogleich zu entscheiden, welchen der oben angeführten Kegelschnitte der Planet um die Sonne beschreiben muß.

Ist nämlich die anfängliche Geschwindigkeit des Planeten, in Meilen ausgedrückt, kleiner als die vorhergehende Zahl b, so ist die Bahn des Planeten eine Ellipse; ist sie eben so groß, als b, so ist die Bahn eine Parabel, und ist sie endlich größer als b, so ist die Bahn eine Hyperbel.

So lange also die anfängliche Geschwindigkeit zwischen Null und der Größe b liegt, entstehen immer Ellipsen, aber diese Ellipsen sind anfangs, bei einer sehr kleinen Geschwindigkeit, sehr länglich oder excentrisch. Wie diese Geschwindigkeit zunimmt, nimmt die Excentricität der Ellipsen ab, bis sie endlich, wenn diese Geschwindigkeit nahe drei Viertheile von b beträgt, ganz verschwindet, und die Bahn ein vollkommener Kreis wird. Wenn von diesem Punkte an die Geschwindigkeit noch weiter wächst, so nimmt auch die Excentricität der nun entstehenden Ellipsen immer mehr zu, bis sie endlich, wenn die Geschwindigkeit genau gleich b wird, in die Parabel, und bei einer noch größeren Geschwindigkeit in Hyperbeln übergehen. Man sieht, daß auch hier, bei der eigentlich astronomischen

Betrachtung der Kegelschnitte, wie dort bei der geometrischen, die Parabel als die Gränze zwischen den Ellipsen und Hyperbeln erscheint, und daß eben so der Kreis den Uebergang von der einen Gattung von Ellipsen zu der andern bildet.

§. 65. (Anwendung des Vorhergehenden auf die Bahn der Erde.) Diese Bestimmung der Planetenbahnen setzt also die Kenntniß der ursprünglichen Geschwindigkeit derselben voraus. Allein woher sollen wir diese nehmen? Diese Körper des Himmels sind wahrscheinlich vor Millionen von Jahren zu einer Zeit entstanden, wo das ganze Menschengeschlecht noch nicht existirte. In welchem Archive sollen wir dann die Nachrichten aus jenen Zeiten suchen? — Wir werden unten sehen, daß die Bewegungen der Planeten, wie sie uns von den ältesten Beobachtern überliefert worden sind, auf das Genaueste mit denen übereinkommen, die wir selbst in unseren Tagen beobachten, und daß man sehr gute Gründe hat, die Unveränderlichkeit dieser Bewegungen selbst noch für viel größere Zeiträume mit Sicherheit vorauszusetzen. Wir dürfen daher nur jetzt die Geschwindigkeit eines dieser Himmelskörper zur Zeit, wo er der Sonne am nächsten ist, beobachten, um versichert zu seyn, das er viele Jahrtausende durch, so oft er diesen Punkt seiner Bahn erreicht, auch immer wieder dieselbe Geschwindigkeit, so wie denselben Abstand von der Sonne haben werde.

Unsere Erde z. B., um das Vorhergehende sogleich auf sie anzuwenden, ist in ihrem Perihelium um den 0.9832sten Theil der halben großen Axe ihrer elliptischen Bahn von dem Mittelpunkte der Sonne entfernt, und sie hat in diesem Punkte ihres Weges eine Geschwindigkeit, mit welcher sie in einer Secunde 4.28 deutsche Meilen zurücklegt. Für diesen Fall ist also die Größe a gleich 0.9832, und daher die Größe b gleich 5.85 Meilen. Wäre also die Geschwindigkeit der Erde, zur Zeit ihrer Entstehung in der Sonnennähe, gleich 5.85 Meilen, so würde die Bahn der Erde eine Parabel seyn. Wäre diese Geschwindigkeit aber größer gewesen, als 5.85 Meilen, so würde sich die Erde in einer Hyperbel um die Sonne bewegt haben. In diesen beiden Fällen würde sich also unsere Erde, in den unendlichen Aesten dieser krummen Linien, immer mehr von der Sonne entfernt haben, ohne je wieder zu ihr zurückkehren zu können. Es ist mehr als wahrscheinlich, daß mehrere unserer Kometen in der That in solchen Bahnen einhergehen. Welche Veränderungen, welche Schicksale würden aber die Erde mit ihren Bewohnern getroffen haben, wenn sie im Augenblicke ihrer Entstehung von diesem Falle, dem sie, wie man sieht, nahe genug gestanden ist, getroffen worden wäre? Ihre anfängliche Geschwindigkeit war 4.28 Meilen, nur $1^1/_2$ Meilen kleiner als jene, die ihr so verderblich hätte werden können. Und eben weil sie kleiner als 5.85 war, wurde die Bahn der Erde eine Ellipse. Wäre diese Geschwindigkeit nur ein Drei-Viertheil von 5.85, oder wäre sie 4.39 Meilen gewesen, so würde die Erdbahn ein vollkommener Kreis geworden seyn. Die wahre Geschwindigkeit derselben beträgt aber nur 4.28 Meilen, ist also nahe ein Zehntheil kleiner noch, als die Kreisgeschwindigkeit, daher unsere Ellipse zu denen gehört, die (in Fig. 91) über dem Kreise, gegen den Scheitel A des Kegels hin liegen. Auch liegt sie viel näher bei dem Kreise, als bei diesem Scheitel, daher auch ihre Excentricität sehr klein ist, oder ihre Bahn der eines Kreises sehr nahe kömmt, was alles mit unseren Beobachtungen vollkommen übereinstimmt.

Anders verhält es sich schon mit Merkur, diesem der Sonne nächsten Planeten, dessen Excentricität sehr groß ist; für ihn ist die Größe a

gleich 9.64 Meilen. Eine solche Geschwindigkeit würde seine Bahn zu einer Parabel, und eine noch größere zu einer Hyperbel gemacht haben. Allein seine beobachtete Geschwindigkeit im Perihel ist 8.34, also 1.8 Meile kleiner als jene, und im Gegentheile 1.7 Meile größer als die Kreisgeschwindigkeit, daher die Bahn Merkurs wohl noch eine Ellipse, aber eine von dem Kreise schon sehr entfernte, oder eine sehr excentrische Ellipse ist. Für Uranus hat man die beobachtete Geschwindigkeit im Perihel gleich 1.02 Meilen, während die für den Kreis 0.97, und die für die Parabel 1.37 Meilen betragen würde.

§. 66. (Wahrscheinlichkeit der Ellipse.) Man sieht, daß unter allen möglichen unzähligen Geschwindigkeiten, die ein Körper erhalten kann, nur eine einzige den Kreis, und ebenfalls nur eine einzige die Parabel hervorbringt, während es im Gegentheile unendlich viele gibt, welche die Bahn zu einer Ellipse oder zu einer Hyperbel machen. Daraus folgt die äußerst geringe Wahrscheinlichkeit, daß ein Körper unseres Sonnensystems sich in einem Kreise oder in einer Parabel bewege, wo hingegen bei weitem die meisten Bahnen derselben entweder Ellipsen oder Hyperbeln seyn werden. Selbst unter diesen beiden letzten Kegelschnitten wird wieder die Ellipse sehr viel wahrscheinlicher seyn, als die Hyperbel, aus dem Grunde, weil für die Ellipse schon die geringste Geschwindigkeit, schon die leiseste Anziehung irgend eines andern Himmelskörpers hinreicht, während im Gegentheile für die Hyperbeln durchaus nur solche Geschwindigkeiten erfordert werden, die eine bestimmte Größe übersteigen. In der That haben wir auch bisher in der Natur noch kein Beispiel von einem Planeten oder Kometen gefunden, dessen Bahn genau kreisförmig oder parabolisch wäre. Dasselbe gilt sehr nahe auch von den hyperbolischen Bahnen, in welchen man bisher bloß zwei Kometen, den von 1771 und von 1824 einhergehen lassen wollte. Allein die Beobachtungen dieser beiden Kometen lassen immer noch einige Zweifel über die Gestalt ihrer Bahnen übrig, und es ist nahe eben so wahrscheinlich, daß dieselben nur sehr excentrische Ellipsen sind.

Wir werden also annehmen können, daß die im verkehrten Verhältnisse ihrer Entfernung wirkende Kraft der Sonne, verbunden mit der Kraft eines Impulses, welchen der Planet im Augenblicke seiner Entstehung erhalten hat, diesen Planeten im Allgemeinen in einer Ellipse um die Sonne führt, in welcher die letzte einen der beiden Brennpunkte dieser Ellipse einnimmt. Da sich nun der Planet, wenn er von seinem Aphelium ausgeht, in der ersten Hälfte seiner Bahn der Sonne nähert, in der darauf folgenden zweiten Hälfte aber wieder von ihr entfernt, so hört man von den mit dem Gegenstande weniger bekannten Lesern öfter den Zweifel aufwerfen, wie es möglich sey, daß die Kraft der Sonne, die doch den Planeten in allen Punkten seiner Bahn anziehen soll, ihn auch zuweilen von sich entfernen können? — Eine geringe Ueberlegung wird aber bald die Antwort auf diese Frage finden. Wenn ein Planet von seiner Sonnennähe ausgeht, so steht die Richtung seiner Bewegung, die immer durch die Tangente seiner Bahn angedeutet wird, senkrecht auf seinen Radius oder auf die Linie, welche ihn mit der Sonne verbindet. Da er hier der Sonne am nächsten ist, so wird er auch am stärksten von ihr angezogen. Da aber auch seine Geschwindigkeit in der Tangente hier die größte ist, und da, wie die Rechnung zeigt, dieses Fortschreiten in der Tangente während einer bestimmten Zeit viel beträchtlicher ist, als die Annäherung zur Sonne in derselben Zeit, so ist hier, im Perihelium, die Tangentialkraft die überwiegende, und der Planet muß sich von der Sonne entfernen. Während er nun in dieser ersten

Hälfte seiner Bahn einhergeht, sucht ihn die Kraft der Sonne immerwährend an sich zu ziehen, und seiner jetzt statthabenden von der Sonne abgewendeten Bewegung entgegen zu wirken. Dadurch vermindert sich allmählig die Tangentialgeschwindigkeit des Planeten so lange, bis er endlich in seinem Aphelium ankömmt. In diesem Punkte ist seine Tangentialkraft am kleinsten, so wie auch die Attraction der Sonne, wegen der sich bisher immer vergrößernden Entfernung des Planeten, am schwächsten geworden ist. Allein demungeachtet ist die letzte Kraft in diesem Punkte der Bahn noch beträchtlich größer, als die Tangentialkraft, oder mit anderen Worten, die Centralkraft überwiegt, und der Planet muß sich daher in der zweiten Hälfte seiner Bahn der Sonne wieder nähern, bis er im Perihelium ankömmt, um von da ganz auf dieselbe Weise eine zweite Revolution um die Sonne zu wiederholen.

Kapitel V.

Störungen der Planeten überhaupt.

§. 67. (Allgemeine Uebersicht dieser Störungen.) Wenn bloß die Erde nebst der Sonne in unserem Planetensysteme da wäre, so würde es ein Leichtes seyn, die Bahn der Erde nach allen ihren Beziehungen auf das Genaueste zu bestimmen. Diese Bahn würde nämlich, nach dem vorhergehenden Kapitel, eine Ellipse seyn, und schon wenige gute Beobachtungen würden hinreichen, die Lage, Größe und Gestalt dieser Ellipse kennen zu lernen.

Allein nebst dieser Erde bewegen sich noch mehrere Planeten, und vielleicht unzählige Kometen um die Sonne, und da diese Körper, wie überhaupt alle, die Eigenschaft haben, alle andern Körper nach dem oben (§. 26 und §. 43) angegebenen allgemeinen Gesetze anzuziehen, so wird dadurch die Ellipse, welche jeder dieser Körper, wenn er allein da wäre, um die Sonne beschreiben würde, auf das Mannigfaltigste abgeändert. Während z. B. Jupiter durch die Kraft der Sonne in seiner großen elliptischen Bahn um dieses Gestirn geführt wird, suchen ihn auch alle übrigen, besonders die ihm näher stehenden Planeten, Saturn und Mars, durch ähnliche Kräfte immerwährend aus dieser Bahn heraus zu ziehen. Nach der verschiedenen Lage und Entfernung der ihn umgebenden Planeten wird er von denselben bald zur Sonne hin, bald von ihr weggezogen; dieser bewegt ihn auf seinem Wege vor, und jener zurück; dieser erhebt ihn über, und jener zieht ihn unter seine ursprüngliche Bahn. Auf diese Weise ist dieser Planet, und dasselbe gilt auch von allen übrigen, weit entfernt, eine reine Ellipse um die Sonne zu beschreiben, sondern seine Bahn ist vielmehr eine äußerst zusammengesetzte, eine jeden

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Augenblick veränderliche krumme Linie, deren nähere Bestimmung alle Kräfte unserer Analyse übersteigt und so gut als ganz unmöglich ist. Dazu kömmt noch, daß die Ekliptik, auf die wir in unseren Rechnungen alle Orte der Planeten beziehen, durch eine ähnliche Wirkung aller Planeten auf die Erde, selbst wieder jeden Augenblick eine andere Lage einnimmt. Durch diese Aenderungen, so wie durch die bereits oben (I. Kap. 12) betrachteten Veränderungen der Präcession und Nutation, wird gleichsam die ganze Sphäre des Himmels erschüttert, der Anfangspunkt, von dem wir alle Orte der Gestirne zählen, verrückt, und aus dem letzten dieser Gestirne das erste, aus dem ersten das letzte gemacht, so daß an dem Himmel, an welchem wir früher nur Ordnung und Harmonie zu bewundern pflegten, jetzt alles Unordnung und Verwirrung wird, und daß von der großen Karte, die wir uns von demselben entworfen haben, am Ende auch nicht ein einziger Punkt in Ruhe bleibt, durch welchen wir diese nach allen Richtungen unter einander verschlungene Bewegungen fesseln können. Um so weniger vermögen wir dieses verworrene Chaos zu übersehen, da wir dasselbe nicht einmal von einem festen Standpunkte, sondern wieder von einer jährlich um die Sonne, und täglich um sich selbst sich wälzende Kugel beobachten müssen, die überdieß selbst wieder von allen Planeten hin und wieder gezogen, und um die Verwirrung zu vollenden, noch mit einer Hülle umgeben ist, welche, die Quelle unzähliger Täuschungen, uns kein einziges dieser Gestirne an dem Orte erblicken läßt, welches dasselbe in der That am Himmel einnimmt.

§. 68. (Schwierigkeit der Bestimmung derselben.) Aus diesem Gesichtspunkte betrachtet, erscheint uns die Bestimmung eines einzigen Ortes am Himmel, und überhaupt die ganze Astronomie alle menschlichen Kräfte weit zu übersteigen. In der That, wenn man bedenkt, wie viele Jahrtausende erfordert wurden, bis der menschliche Geist nur die größte und auffallendste und ihm zunächst liegende von allen diesen Erscheinungen, die Existenz der doppelten Bewegung seiner Erde, erkennen lernte, so muß man an der Auflösung dieses höchst verwickelten Problems selbst für alle Folgezeit beinahe verzagen. Dieses Problem besteht nämlich, um es kurz zu sagen, im Folgenden: Wenn die Geschwindigkeiten und die Richtungen dieser Geschwindigkeiten von nahe dreißig Himmelskörpern gegeben sind, deren jeder alle anderen anzieht und von allen anderen angezogen wird, so soll man durch Rechnung den Ort und die Geschwindigkeit eines jeden dieser Körper für jeden Augenblick irgend eines verflossenen oder noch kommenden Jahrhunderts bestimmen. Die Stellungen dieser Körper unter einander ändern sich immerwährend, und mit jeder neuen Stellung wird auch eine neue Wirkung derselben auf einander erzeugt, und jede Veränderung dieser wirkenden Kraft bringt wieder eine neue Stellung dieser Körper gegen einander und gegen die Sonne hervor. Es war daher ein kühnes, ein beinahe verwegenes Unternehmen des menschlichen Geistes, sich an die Auflösung einer solchen Aufgabe zu machen.

Und doch hat man es gewagt, und glücklich gewagt. Dieß wird auch der mit den Mitteln, die zu diesem Zwecke führen, ganz Unbekannte willig zugeben, da jeder gemeine Kalender unwiderlegliche Beweise für diese Behauptung liefert. Die Astronomen berechnen in diesen Volksbüchern die Finsternisse der Sonne und des Mondes auf Secunden voraus, und Jedermann weiß aus eigener Erfahrung, wie genau sie zutreffen. Sie haben Jahrhunderte vorher den Augenblick berechnet, wenn auf einer bestimmten Stelle in Lappland oder auf der Insel Otaheiti die Venus vor der Sonne erscheinen wird. Voll Vertrauen in ihre Voraus-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

sagungen hat man Schiffe ausgerüstet, um diese Erscheinung an diesen und noch an vielen andern Orten der Erde zu beobachten, und das Vertrauen wurde nicht getäuscht. (II. §. 67.) Kurz, die Sache steht jetzt so, daß jeder wahre Astronom um jeden Preis eine sichere Wette eingehen kann, daß Jupiter oder irgend ein anderes Gestirns des Himmels, nach einer bestimmten Anzahl von Jahren, zu einer gegebenen Secunde, unter dem Spinnfaden seines heute gestellten Fernrohrs erscheinen wird. Wer die Präcision der heutigen astronomischen Tafeln kennt, wird diese Angabe nicht übertrieben finden. — Allein wenn dieß so ist, — und wie gesagt, Niemand, der diese Wissenschaft näher kennt, kann daran zweifeln, — so muß auch das oben erwähnte große Problem aufgelöst seyn, da ohne dasselbe diese Leistungen offenbar unmöglich wären.

§. 69. (Durch welche Mittel die Berechnung dieser Störungen erleichtert wird.) Und durch welche Mittel, durch welche Kunstgriffe ist es uns möglich geworden, diese Aufgabe, die größte und höchste, die wohl je dem menschlichen Geiste gegeben worden ist, aufzulösen? — Die Leser werden nicht erwarten, daß ich sie in das Labyrinth der mathematischen Berechnungen einführe, in welchem sie dem leitenden Faden der Ariadne wohl nur mit Widerstreben folgen würden. Wir wollen uns daher begnügen, nur einige von den Umständen anzugeben, durch welche uns, diese unter anderen Verhältnissen allerdings unübersteiglichen Hindernisse zu besiegen, möglich geworden ist.

§. 70. (I. Große Entfernung der Planeten von uns.) Zuerst wollen wir bemerken, daß die ungemeine Präcision, mit welcher die Astronomen die Lage der Gestirne angeben, oft nur scheinbar ist, und daß sie uns in den meisten Fällen sehr ungenau erscheinen würden, wenn wir sie, mit dem Maßstabe in der Hand, an Ort und Stelle nachmessen könnten. Sie werden dieses selbst ohne Zweifel willig zugeben, wenn wir dafür, der Wahrheit zur Steuer, eben so willig zugestehen, daß sie dessen ungeachtet mit den größten Schwierigkeiten siegreich gekämpft, daß sie ihre Wissenschaft zu dem Stolze des menschlichen Geistes erhoben, und dieselbe viel weiter gebracht haben, als man von irgend einer andern rühmen kann. — Sie können den Ort eines jeden Planeten, auf Jahrhunderte voraus, bis auf die Genauigkeit der Dicke eines Haares am Himmel bestimmen. Das scheint allerdings eine sehr große, und ist auch in der That, wenn man die dabei zu überwindenden Schwierigkeiten bedenkt, eine bewunderungswürdige Genauigkeit. Aber diese Dicke eines Haares, vor unser Auge gehalten, bis es am reinsten erscheint, wie viel bedeckt es wohl an der Sphäre des Himmels? — Das feinste derselben wenigstens zehn Secunden. Und diese zehn Secunden, wie viel betragen sie z. B. von dem Umkreise der Uranusbahn? — Wenigstens achtzehntausend Meilen oder mehr als zehnmal den Durchmesser unserer ganzen Erde. Bei dem uns nächsten Fixstern, wenn er in der That (I. §. 70) vier Billionen Meilen von uns absteht, würden diese zehn Secunden volle zweihundert Millionen Meilen betragen. Solche Dinge nennen sie eine Kleinigkeit, und gewissermaßen mit Recht, denn ein Fehler von zehn Secunden in der Peripherie eines Kreises beträgt doch erst den 129600sten Theil des Ganzen. Wie viele Dinge sind aber, selbst unter denen, die uns hier unten zunächst umgeben, deren Durchmesser oder deren Umfang wir bis auf den hunderttausendsten Theil ihrer Größe kennen? — Dessenungeachtet bleibt es wahr, daß diese Größen an sich selbst sehr bedeutend sind, so gering sie uns auch in jenen großen Entfernungen erscheinen. Und wohl uns, daß sie uns so erscheinen. Denn wenn wir dieses Gewirre von zahllosen Himmelskörpern, gleichsam in einem viele Millionenmal

verkleinerten Modelle, ganz nahe vor unsern Augen hätten, und wenn wir jede kleine Abweichung der so wunderbar unter einander verschlungenen Bewegungen mit unsern stärksten Mikroscopen noch vergrößert sehen könnten, so würde es wahrscheinlich keinem von uns einfallen, die Gesetze aufzusuchen, nach welchen alle diese Erscheinungen vor sich gehen. Dort oben aber, in jenen ungemessenen Räumen, zeigen sich die Veränderungen, welche mit den Himmelskörpern vorgehen, für uns nur in ihren großen, gleichsam in ihren rohen Zügen, daher es uns noch möglich wird, die Hauptmomente derselben rein aufzufassen, ohne uns von dem Detail dieser Erscheinungen beirren oder übertäuben zu lassen. In dieser Beziehung also ist das Problem, die wahre Bahn eines Planeten unseres Sonnensystems zu bestimmen, so schwer es auch an sich seyn mag, doch immer noch unendlich leichter, als die Bahn eines der Millionen Sonnenstäubchen zu berechnen, die uns in unserer nächsten Nähe umgeben. Aus dieser Ursache sind wir auch in der Physik, so weit sich diese Wissenschaft nur mit den Körpern der Erde, die wir unmittelbar vor unsern Augen haben, beschäftiget, viel mehr zurück, als in der Astronomie, die es nur mit sehr entfernten Gegenständen zu thun hat. Gar vieles läßt sich nur gut erkennen, wenn es aus einer gewissen Ferne gesehen wird, und das Detail versteckt nur zu oft die großen Züge des Ganzen. Wenn man mehreren Personen ein großes Frescogemälde vorlegte, und sie dasselbe nur theilweise durch ein starkes Mikroscop besähen, so würde jeder eine andere Idee davon erhalten, und der eine würde es für ein Haus, der zweite für einen Baum, und ein anderer wohl gar für ein Portrait ansehen. Die Bewohner des Mondes, die fünfzig tausend Meilen von uns entfernt sind, und eben dadurch die ganze Erde im Großen übersehen, kannten gewiß Amerika und Neuholland lange vorher, ehe sie von uns, die wir doch die Erde so nahe haben, entdeckt wurden, und daß die Erde eine Kugel ist, die sich täglich um sich selbst dreht, werden sie lange vorher, ehe Copernicus es finden konnte, schon auf den ersten Blick gesehen haben.

Allein dieß ist nicht die einzige Ursache, durch welche uns die Auflösung jenes großen Problems möglich geworden ist. Es gibt vielmehr noch mehrere besondere Eigenthümlichkeiten unseres Sonnensystems, die uns jene Auflösung ungemein erleichtern, und es scheint beinahe, als hätte die gegen uns auch sonst so gütige Natur diese Einrichtungen absichtlich getroffen, um den schwachen Kräften der Menschen nachzuhelfen, und den Besseren von ihnen die Freude von ihnen machen, wenigstens einige von ihren Geheimnissen zu enthüllen.

§. 71. (II. Große Masse der Sonne gegen die der Planeten.) Alle die Ungleichheiten der Bewegung, welche durch die Anziehung der Planeten unter sich entstehen, sind doch immer nur sehr klein gegen die eigentlich elliptische Bewegung derselben, welche letzte bloß von der Anziehung der Sonne kömmt, und von welcher jene ersten nur gleichsam als geringe Unregelmäßigkeiten zu betrachten sind, die man daher auch die Störungen oder die Perturbationen der elliptischen Bewegung zu nennen pflegt. Wir haben oben (§. 43) gesehen, daß alle himmlische Körper sich im geraden Verhältnisse ihrer Masse, und im verkehrten des Quadrates ihrer Entfernung anziehen. Wenn nun z. B. Jupiter zu einer Zeit von der Sonne eben so weit als Saturn entfernt ist, so würde er, wenn die Masse Saturns eben so groß wäre, als die der Sonne, von diesen beiden Körpern gleich stark angezogen werden, und die Folge davon würde eine sehr große Störung, eine totale Umänderung seiner Bewegung und seiner Bahn selbst seyn. Allein die Masse Saturns ist noch nicht

einmal der dreitausendste Theil von jener der Sonne, und in eben diesem Verhältnisse steht also auch die Anziehung, welche er und die Sonne auf Jupiter ausüben, wenn beide gleich weit von diesem Planeten entfernt sind. Ja selbst die Massen aller Planeten unseres Systems zusammen genommen, betragen noch nicht den achthundertsten Theil der Sonnenmasse, und sie können daher, auch wenn sie alle in einem einzigen Punkte vereiniget wären, die Hauptwirkung, welche jede derselben von der Sonne erhält, nur unbedeutend abändern. Durch diese Einrichtung hat unser Planetenstaat eine streng monarchische Gestalt erhalten, in welcher die Gestalt des Regenten über die eines jeden, auch des mächtigsten Unterthanen, viel zu weit vorherrscht, und in welcher jede Unordnung, jeder kleine Ungehorsam sofort wieder unter die Herrschaft des großen Gesetzes zurückgebracht wird, das unmittelbar von dem Monarchen selbst ausgeht, der die legislative und executive Gewalt in sich vereinigt, und mit Fug und Recht, weil er an Masse, die dort die Stelle der Geisteskraft vertritt, die Kraft aller seiner Unterthanen über achthundertmal übertrifft. Diese Einrichtung unseres Planetensystems scheint ein charakteristisches Kennzeichen, nicht bloß im Ganzen, sondern auch in den einzelnen Theilen desselben zu seyn. In der That ist die Ungleichheit der Stände in diesem Staate über uns so auffallend, daß wir hier unten, so bunt es auch zuweilen zugehen mag, kaum etwas ähnliches aufzuweisen haben werden, und doch bemerkt man in demselben seit Jahrtausenden keine bedeutende Unordnung, indem auch die mächtigsten Unterthanen denselben Gehorsam gegen ihren gemeinschaftlichen Herrscher äußern, den sie aber auch wieder mit derseben Strenge von ihren Untergebenen fordern, und mit demselben Rechte, kann man hinzusetzen, da auch sie wieder an innerer Kraft ihre Unterthanen oft eben so weit übertreffen, als sie selbst alle zusammen von dem Autokraten des ganzen, großen Reiches übertroffen werden. Unsere Erde bildet mit ihrem Monde einen solchen kleinen Staat im Staate, sie führt ihn auf ihrer weiten Reise um die Sonne als ihren Diener in schweigendem Gehorsam mit sich, aber ihre Masse übertrifft auch die ihres Begleiters mehr als siebenzigmal. Jupiter wird auf seiner noch viel größeren Bahn von vier solcher Diener begleitet, die aber alle zusammen noch nicht den zehntausendsten Theil der Masse ihres Herrn besitzen. Auf eine ähnliche Weise verhält sich Uranus zu seinen sechs, und Saturn zu seinen sieben Satelliten, obschon wieder mehrere derselben selbst manchen Hauptplaneten, wie z. B. Merkur, an Masse übertreffen. Auf diese Weise werden also jene Monde gezwungen, die Oberherrschaft ihrer Hauptplaneten, und diese wieder, die alles überwiegende Macht der Sonne anzuerkennen.

§. 72. (III. Kleine Excentricitäten und Neigungen der Planetenbahnen.) Aber dieser günstige Umstand würde doch noch nicht hinreichen, die hieher gehörenden Rechnungen ausführbar zu machen, wenn sich nicht noch mehrere andere zu demselben Zwecke vereinigten. Wenn z. B. alle Planetenbahnen vollkommene Kreise wären, so würde weder die große Axe, noch die Excentricität derselben irgend eine Störung erleiden. Wenn aber, wie dieß in der That der Fall ist, diese Bahnen Ellipsen sind, so sieht man leicht, daß die Störungen der Planeten, welche in solchen Bahnen einhergehen, im Allgemeinen desto größer seyn werden, je mehr diese Ellipsen von Kreisen abweichen, oder je größer ihre Excentricitäten sind. Wenn z. B. die Bahn Jupiters, des größten aller Planeten, eine Excentricität gleich der Hälfte ihrer großen Halbaxe hätte, so würden dadurch nicht nur diese Bahn selbst, sondern auch die ihr nahe liegenden der andern Planeten sehr große Störungen erleiden, die am Ende eine

Umänderung unseres ganzen Sonnensystems hervorbringen könnten. Allein die Jupitersbahn ist weit entfernt, eine für das Ganze so verderbliche Gestalt zu haben, da ihre Excentricität noch nicht der fünfhundertste Theil ihrer Halbaxe ist. Selbst die Merkursbahn, die unter den Bahnen der älteren Planeten am meisten abgeplattet ist, hat eine Excentricität, die nur den fünften Theil ihrer Halbaxe beträgt, und nahe dasselbe bemerkt man auch bei den beiden neuen Planeten Pallas und Juno. Diese drei Planeten sind überdieß alle sehr klein, und der erste ist noch der Sonne so nahe, daß sich von ihm keine bedeutende Störungen befürchten lassen.

Eben so ist es mit den Neigungen der Bahnen gegen die Ecliptik. Wenn alle diese Bahnen genau in der Ecliptik lägen, so würden sie unter sich selbst die Lagen dieser Bahnen offenbar gar nicht, also auch im Gegentheile desto mehr verrücken, unter je größeren Winkeln sie gegen einander geneigt wären. Allein auch dieser Fall hat in unserem Planetensysteme nicht statt, wo alle ältere Planetenbahnen höchstens einen Winkel von drei Graden unter einander bilden, wieder Merkur und die neueren Planeten ausgenommen, von welchen der erste eine Neigung von sieben, und Pallas sogar eine von fünfunddreißig Graden hat, die aber dessenungeachtet, aus der bereits angegebenen Ursache, keinen schädlichen Einfluß auf die übrigen Planeten äußern können.

§. 73. (IV. Große Entfernungen der Planeten unter einander.) Endlich sind auch die Räume, welche die Planeten von einander trennen, so ungemein groß gegen diese Körper selbst, daß die Anziehung, welche sie gegen einander ausüben, schon aus diesem Grunde allein nicht anders als sehr gering seyn kann. Die so weit präponderirende Masse der Sonne, die kleinen Excentricitäten und Neigungen der Planetenbahnen, und die großen Distanzen, in welchen diese Körper sich bewegen, alle diese Umstände sind also eben so viele Ursachen, warum die Störungen, welche die Planeten von einander leiden, an sich selbst immer nur sehr gering sind, und uns überdieß, wegen ihrer großen Entfernungen von uns, noch geringer erscheinen. Durch diese günstigen Verhältnisse ist es uns also möglich geworden, die Auflösung jenes großen Problems, der Bestimmung dieser Störungen durch unmittelbare Berechnung, zu finden, aber, wie man schon aus diesen Hülfsmitteln selbst sieht, nicht die strenge, allgemeine, sondern nur eine genäherte Auflösung des Problemes, aber doch auch wieder so weit genähert, als es nur immer von dem gegenwärtigen Zustande der Analysis und der Beobachtungskunst selbst gefordert werden kann. Da es nämlich, auch selbst unter dieser günstigen Verhältnissen, noch immer unmöglich wäre, die wahren Werthe dieser Störungen in sogenannten geschlossenen analytischen Ausdrücken anzugeben, so hat man dieselben, was viel leichter ist, und in allen Fällen angeht, in unendliche Reihen entwickelt, welche nach den natürlichen Potenzen der störenden Massen, der Excentricitäten und Neigungen fortschreiten. Da aber diese drei Größen, wie so eben gezeigt worden ist, sehr klein sind, so werden auch die Glieder dieser Reihen immer kleiner, je weiter man in ihnen fortgeht, und man kann sich in den meisten Fällen, ohne einen merkbaren Fehler, mit dem ersten, oder doch mit den beiden ersten dieser Glieder begnügen.

Bemerken wir noch den hier sehr wesentlichen Umstand, daß die Planeten alle sehr nahe die Gestalt einer Kugel haben, und daß das Newton'sche Gesetz die ihm ausschließend zukommende Eigenschaft hat, daß jede Kugel alle außer ihr befindliche Körper genau so anzieht, als ob die ganze Masse dieser Kugel in ihrem Mittelpunkte vereiniget wäre.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Dadurch wird die Berechnung der gegenseitigen Störungen der Planeten auf die von einzelnen Punkten zurückgeführt, da man sonst auch auf die Gestalt derselben Rücksicht nehmen müßte, wodurch die Auflösung unseres Problems, selbst unter allen den oben erwähnten Erleichterungen, für unsere Kräfte neuerdings völlig unmöglich geworden wäre.

§. 74. (V. Abgesonderte Betrachtung dieser Störungen.) Ja selbst unter dieser Gestalt noch würden die Berechnungen der Störungen, die jeder Planet von allen übrigen erleidet, sehr schwer, und selbst für den geübtesten und geduldigsten Rechner beinahe unausführbar seyn, wenn man in der That alle diese Störungen auf einmal bestimmen sollte. Um z. B. die Perturbationen, welche die Erde von den übrigen Planeten in jedem Augenblicke erleidet, zu bestimmen, sollte man, wenn man nach aller Strenge verfahren wollte, zuerst die Störungen kennen, welche jeder dieser die Erde störenden Planeten wieder von allen übrigen, die Erde selbst mit eingeschlossen, in diesem Augenblicke erfährt. Allein da, wie gesagt, diese Störungen alle nur gering sind, so kann man sich, ohne Nachtheil zu befürchten, erlauben, nur diejenigen Perturbationen zu bestimmen, welche jeder einzelne Planet von jedem anderen einzelnen Planeten unseres Sonnensystems unter der Voraussetzung erleidet, daß dieser andere Planet selbst nicht weiter in seiner Bahn gestört werde, sondern bloß in seiner reinen elliptischen Bewegung um die Sonne gehe. Auf diese Weise ist unser Problem eigentlich dahin gebracht, daß man nur immer drei Körper auf einmal betrachtet, nämlich die Sonne, den störenden, und den von ihm gestörten Planeten, und so ist das berühmte Problem der drei Körper entstanden, das größte und schwerste, das vielleicht je der menschliche Geist sich aufgegeben hat, und dessen bloß genäherte Auflösung seit Newton, der es zuerst aufgestellt und wenigstens in seinen vorzüglichsten Theilen gelöst hat, von den vorzüglichsten Geometern und Astronomen, D'Alembert, Euler, Laplace, Lagrange u. a. versucht und erst in unsern Tagen zu einem Grade der Vollkommenheit ausgebildet wurde, die wohl nur wenig mehr zu wünschen übrig läßt.

§. 75. (Ueber Wahrheit und Annäherung zu derselben.) Wenn es aber den Astronomen, aller ihrer Anstrengungen ungeachtet, bisher doch nur gelungen ist, von dieser wichtigsten Aufgabe ihrer Wissenschaft bloß eine genäherte Auflösung zu geben — muß man da nicht besorgen, daß diese Wissenschaft, die man doch so oft die Königin aller andern nennen hört, noch sehr unvollkommen und noch weit von der Vollendung entfernt ist, die sie allein zu der Annahme einer solchen Benennung berechtigen könnte? — Es ist möglich, daß die mathematische Analyse, wenn sie gleich den menschlichen Geist auf jene hohe Stufe der Erkenntniß gestellt hat, die irdische Wesen unserer Art überhaupt noch einnehmen können, — es ist möglich, daß auch sie am Ende nichts als Stückwerk und ein höchst unvollkommenes Spielzeug, eine bemitleidenswerthe Krücke ist, mit welcher wir uns auf unserem Wege zur Wahrheit mühsam genug fortschleppen, und auf die vielleicht ein höherer Geist, der dieser Hülfsmittel nicht bedarf, nur mit Lächeln herabsieht. Aber dieses Mittel, so unvollkommen es auch an sich selbst seyn mag, hat uns doch dahin gebracht, die Bewegungen der Planeten mit derselben Genauigkeit zu berechnen, mit welcher wir sie durch unsere vollkommensten Instrumente beobachten können; es hat diese Rechnungen mit den Beobachtungen in eine Uebereinstimmung, in eine Harmonie gebracht, deren sich keine andere Wissenschaft erfreut; es hat uns endlich alle Erscheinungen des Himmels, so verwickelt sie auch seyn mögen, nicht nur die unserer Tage, die wir selbst beobachten können, sondern auch die

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

der längst verflossenen Jahrhunderte in ihren ersten Ursachen entschleiert, und es hat uns endlich selbst die Zukunft entschleiern und Phänomene bestimmen lassen, die sich erst in der späten Folgezeit zutragen werden, und die wir jetzt mit Gewißheit voraussagen können, obschon sie uns, ohne dieses Hülfsmittel, ohne dieses Fernrohr unseres geistigen Auges, vielleicht ewig verborgen geblieben wären.

Uebrigens, wer von uns diese Annäherung zur Wahrheit verschmäht, wer Wahrheit, reine Wahrheit selbst fordert — in welcher anderen menschlichen Erkenntniß kann er sich denn wohl des Besitzes dieses Kleinods rühmen? Alle unsere sogenannten menschlichen Wahrheiten, was sind sie anders, als Annäherungen — ja oft noch sehr unvollkommene Annäherungen zu einem Ziele, das noch kein Sterblicher erreicht hat. Man pflegt gewöhnlich die Mathematik anzuführen, um zu beweisen, daß uns wenigstens in Einem Felde unseres Wissens die Erkenntniß der Wahrheit nicht versagt seyn soll. Allein, ohne von den ersten Grundsätzen zu sprechen, auf denen doch das ganze Gebäude dieser Wissenschaft errichtet ist, sind die Mittel, deren sie sich bedient, ihre sogenannten Wahrheiten zu finden, sind die Zahlen selbst, mit denen wir rechnen, etwas anderes, als bloße Annäherung zu den wahren Zahlen, mit denen wir gerne rechnen möchten, ohne es zu können? Welches sind z. B. die Zahlen, die, mit sich selbst multiplicirt, zwei oder drei geben? — Wir wissen es nicht. Wir können sie wohl, aber nur näherungsweise, angeben; sie selbst erreichen aber können wir nie. Unsere größten und besten Logarithmen-Tafeln, dieselben, welche die Astronomen bei allen ihren Rechnungen brauchen, und welche auch Andere brauchen würden, wenn sie ihren eigenen Vortheil besser verstünden, diese Tafeln enthalten über viermalhunderttausend Zahlen, und von ihnen allen sind kaum zwanzig richtig oder völlig genau bekannt, während alle übrigen bloß annähernd, bloß beinahe wahr sind, und doch beruhen auf ihnen, als auf der einzig möglichen Basis, alle unsere Berechnungen des Himmels und der Erde.

Nachdem wir so die Stbrungen, welche die Planeten von ihrer gegenseitigen Anziehung erleiden, im Allgemeinen betrachtet haben, wollen wir nun die merkwürdigsten derselben etwas näher untersuchen.

Kapitel VI.

Periodische Störungen.

§. 76. (Zwei Klassen dieser Störungen.) Die Anziehung, welche die Planeten unter einander erleiden, wird sich zunächst in den Orten dieser Körper selbst äußern, indem sich dadurch die Längen und Breiten so wie die Entfernungen derselben von der Sonne, also auch von der Erde än-

dern. Diese Störungen werden aber offenbar nur von den Orten der beiden Planeten in ihren Bahnen, oder von ihren gegenseitigen Stellungen abhängen, und da diese Stellungen nach einigen Umläufen beider Planeten immer wieder dieselben seyn müssen, so werden auch die davon abhängigen Störungen in bestimmten Perioden wiederkehren, aus welcher Ursache man sie auch die periodischen Störungen genannt hat.

Allein man sieht leicht, daß diese, bloß von ihren gegenseitigen Stellungen abhängenden Aenderungen der Planeten in ihren Bahnen endlich auch auf diese Bahnen selbst einen Einfluß äußern, und daß dadurch die Gestalt, die Lage, und vielleicht selbst die Größe dieser Bahnen Aenderungen erleiden werden. Diese Aenderung der Jupitersbahn z. B. in jeder gegebenen Zeit, wird aber nicht mehr, wie zuvor von der Stellung des diesem Planeten zunächst stehenden Mars oder Saturn in derselben Zeit, sondern sie wird vielmehr von dem Complex aller Stellungen der auf Jupiter wirkenden Planeten seit mehreren Jahrhunderten, d. h. sie wird von der Lage aller übrigen Planetenbahnen gegen die Jupitersbahn abhängen. Diese Lagen sind nun, wie wir bald näher sehen werden, ebenfalls veränderlich, und selbst in gewissen obgleich sehr langen Zeiträumen, wiederkehrend, daher also auch diese Störungen, die sich nicht auf den gestörten Planeten selbst, sondern nur auf die Elemente seiner Bahn beziehen, zwar auch im Allgemeinen in Perioden, aber in sehr lange, mehrere Jahrtausende umfassende Perioden eingeschlossen seyn werden, und aus dieser Ursache, zum Unterschiede mit den zuerst betrachteten, hat man sie seculäre Störungen genannt.

Beide Gattungen von Perturbationen haben die Astronomen durch Rechnungen, von welchen wir hier keine nähere Anzeige geben können, entwickelt und dadurch den Planetentafeln eine Genauigkeit gegeben, die bis auf wenige Secunden mit den besten Beobachtungen übereinstimmt, während man früher, wo man diese Störungen noch nicht kannte, oft viele Minuten von Unterschieden zwischen der Theorie und der Beobachtung gefunden hatte. Auf diese Weise ist es ihnen gelungen, die verwickelten Erscheinungen des Himmels mit einer überraschenden Präcision darzustellen und alle ohne Ausnahme aus dem einzigen und einfachen Gesetze der allgemeinen Schwere abzuleiten. Denn weit entfernt, diese Störungen, wie ihre Benennung zu sagen scheint, als Ausnahmen von der allgemeinen Regel oder als wahre Unordnungen des Sonnensystems zu betrachten, ist vielmehr jede derselben nur eine neue Bestätigung jenes großen Gesetzes geworden, dem alle Körper des Himmels, selbst in ihren scheinbaren Abweichungen von demselben, in stiller Unterwerfung gehorchen.

§. 77. (Periodische Störungen des Mondes.) Wir wollen nun zuerst die periodischen Störungen der Planeten, und unter ihnen besonders die des Mondes betrachten, weil diese uns zunächst angehen und sich durch ihre Größe vor allen andern auszeichnen, daher auch mehrere von ihnen, selbst von den alten Griechen schon bemerkt worden sind, obschon es ihnen unmöglich war, die Ursache derselben anzugeben.

Die elliptische Bahn der Erde, und der Ort der Erde selbst in dieser Bahn wird von den sie zunächst umgebenden Planeten nur sehr wenig gestört. Im ungünstigsten Falle kann dieser Ort der Erde in seiner Bahn nur um 40 Secunden, und ihre Entfernung von der Sonne kaum um den zehntausendsten Theil ihrer mittleren Distanz von derselben verrückt werden. Die Ursache davon liegt, wie bereits im vorhergehenden Kapitel bemerkt wurde, vorzüglich in den geringen Massen der störenden Planeten und in den großen Entfernungen, um welche sie von der Erde

abstehen. Eben so gering, ja noch viel geringer sind also auch die Störungen, welche der Mond von denselben Planeten erleidet, von welchen er, als der beständige nahe Begleiter der Erde, im Mittel immer nahe eben so weit entfernt ist, als sie selbst. Aber mit der Sonne verhält es sich ganz anders. — Der Mond bewegt sich nämlich in einer Ellipse, in deren einem Brennpunkte die Erde ist; er bewegt sich also eigentlich um die Erde, und wenn außer dieser Erde kein anderer Himmelskörper mehr groß genug oder auch nahe genug wäre, um durch seinen Einfluß diese Bewegung des Mondes zu verändern, so würde auch der Mond ungestört in seiner elliptischen Bahn um die Erde gehen. Die Sonne ist nun zwar nahe 400mal weiter, als der Mond, von der Erde entfernt, aber ihre Masse ist dafür auch (§. 48) über 350000mal größer, als die der Erde, und diese ungeheuere Präpotenz ist die Ursache, daß die Wirkung der Sonne auf die Bewegung des Mondes, ihrer großen Entfernung ungeachtet, noch so bedeutend ist, daß sie den Ort des Mondes in seiner Bahn um die Erde um mehr als zwei Grade verrücken kann. Eigentlich ist es nicht die Erde, sondern der gemeinschaftliche Schwerpunkt der Erde und des Mondes, der in der Zeit eines Jahres seine elliptische Bohn um die Sonne zurücklegt. Wenn man zwei in ihrer Größe sehr ungleiche Kugeln durch einen Stab verbindet, an dem gemeinschaftlichen Schwerpunkt derselben ein Band befestiget, und das ganze, gleich einer Schleuder, um die Hand bewegt, so hat man ein Bild von dieser Bewegung des Mondes um die Erde, und mit dieser zugleich um die Sonne, nur mit dem Unterschiede, daß hier die beiden Kugeln, die Erde und der Mond, an Größe so sehr verschieden sind, daß der Schwerpunkt des ganzen Systems sehr nahe zu dem Mittelpunkte, und noch in den Körper der Erde selbst fällt. Die Sonne ist, wie gesagt, vierhundertmal weiter von der Erde entfernt, als der Mond in seiner mittleren Distanz von der Erde absteht. Also ist auch die Distanz der Sonne von dem Monde zuweilen $^1/_{400}$mal kleiner, und zuweilen wieder eben so viel größer, als die Distanz der Sonne von der Erde. So wenig dieß scheint, so hat es doch, wie wir sehen werden, einen sehr großen Einfluß auf die Bewegung des Mondes. Dazu kömmt noch, daß die Richtung der Bewegung des Mondes bald zur Sonne hin, bald von ihr weg gewendet ist, wodurch die Geschwindigkeit dieses Satelliten bald vergrößert, bald wieder vermindert wird, so daß also, durch diese Störungen der Sonne, die Entfernung des Mondes sowohl, als auch die Größe und Richtung seiner Bewegung oft beträchtlich verändert werden kann.

§. 78. (Evection.) Unter diesen Störungen des Mondes durch die Sonne sind besonders diejenigen merkwürdig, welche dieser Satellit in seiner Länge erleidet. Da die Excentricität seiner Bahn so beträchtlich ist, so kann schon die Gleichung der Bahn (I. §. 141) auf mehr als sechs Grade gehen, wodurch daher selbst die rein elliptische Bewegung des Mondes um die Erde, selbst ohne Zuthun der Sonne, sehr ungleichförmig wird. Allein durch die Wirkung der Sonne werden noch viele andere Ungleichheiten eingeführt, von welchen die größte, unter dem Namen der Evection bekannte, schon von Ptolemäus (130 Jahre nach Chr. G.) entdeckt wurde. Durch diese Störung ist die Länge des Mondes in den Syzygien, d. h. zur Zeit des Neu- und Vollmondes immer größer, als sie nach der rein elliptischen Bewegung seyn soll, während sie wieder zur Zeit der beiden Quadraturen um dieselbe Größe, d. h. um nahe 1.27 Grade zu klein ist. Nennen wir der Kürze wegen A die Differenz der Länge des Mondes und der Sonne, B die mittlere Ano-

malie (I. §. 140) des Mondes, und C die mittlere Anomalie der Sonne, so läßt sich die Evection durch das Produkt von 1.27 in den Sinus von 2 A — B ausdrücken. In den Syzygien ist A gleich 0 oder 180, in den Quadraturen aber ist A gleich 90 oder 270°; also ist dort die Evection negativ, und am größten, während sie hier ihren größten positiven Werth erreicht. Man sieht daraus zugleich, daß die Evection eine Periode von 31.8 Tagen hat, in welcher Zeit sie alle ihre Veränderungen regelmäßig durchlauft. Die alten Griechen vor Ptolemäus beobachteten den Mond nur zur Zeit der Finsternisse, d. h. in den Syzygien, wo der vorhergehende Ausdruck gleich 1.°27 Sin. B wird, wenn B, wie zuvor, die mittlere Anomalie des Mondes bezeichnet. Allein ganz dieselbe Form hat auch die Gleichung des Mittelpunkts (I. §. 141), und dieß ist die Ursache, warum jene alten Astronomen die Gleichung der Mondsbahn um 1.27° zu klein, oder warum sie die Mondsbahn in ihrer Gestalt einem Kreise viel näher angenommen haben, als sie in der That ist. Ptolemäus oder vielleicht schon Hipparch (140 Jahre vor Chr. G.), dessen Arbeiten Ptolemäus benützte, beobachtete den Mond auch zur Zeit seiner Quadraturen, wo die Länge desselben, vermöge der Evection, größer erscheint, als sie seyn soll, da sie doch in den Syzygien kleiner war. Weil er diese, wenn auch nur scheinbaren Widersprüche weder vereinigen, noch erklären konnte, so nahm er die Excentricität der Mondsbahn veränderlich an, indem er voraussetzte, daß sie sich zur Zeit der Neu- und Vollmonde mehr zu einem Kreise abrunde, zur Zeit der Quadraturen aber zu einer sehr länglichen Ellipse ausdehne. Eine Voraussetzung, die nicht gegründet ist, und die man auch sofort verwarf, als man die wahre Ursache der Evection in der Störung des Mondes durch die Sonne kennen gelernt hatte.

Wir werden unten sehen, daß die große Axe der Mondsbahn, oder daß die Apsidenlinie dieser Bahn eine sehr schnelle Bewegung am Himmel hat, so daß sie ihren Ort während der Zeit eines Jahres um mehr als 40 Grade ändert. Wenn nun diese Apsiden zu irgend einer Zeit mit den Quadraturen zusammen fallen, so wird dadurch, wie eine einfache Rechnung zeigt, die Centralkraft der Erde auf den Mond, durch die Sonne *weniger* verändert, als sonst der Fall ist. Geht daher der Mond von der Erdnähe zur Erdferne, so wird er sich dabei weniger von der Erde entfernen, als er sonst gethan haben würde, d. h. seine Excentricität wird kleiner erscheinen. Geht er aber von der Erdferne zur Erdnähe über, so wird er, da er schwächer, als es die reine Ellipse fordert, von der Erde angezogen wird, in der Erdnähe sich weiter von der Erde entfernen, und die kleinste Entfernung wird gegen die mittlere größer, d. h. seine Excentricität wird wieder *kleiner* erscheinen.

Wenn aber für eine andere Zeit die Apsiden mit den Syzygien zusammen fallen, so ändert sich, wie durch dieselbe Rechnung gezeigt werden kann, die Centralkraft der Erde *mehr*, als in allen andern Fällen, woraus daher, durch Wiederholung derselben Schlüsse, folgt, daß dann die Excentricität der Mondsbahn *größer* erscheinen muß. Als Endresultat alles Vorhergehenden werden wir also annehmen, daß die Excentricität, oder was dasselbe ist, die Gleichung des Mittelpunktes der Mondsbahn am größten erscheint, wenn die Apsiden in die Syzygien, und am kleinsten, wenn sie in die Quadraturen fallen, und das ist es, worauf die eigentliche Erklärung der Evection beruht.

§. 79. (Variation.) Die zweite große Ungleichheit der Mondslänge heißt die *Variation*. Sie kann sich bis auf 0.65 Grade erheben und hat diesen ihren größten Werth in den vier Punkten, die zwischen

den Syzygien und Quadraturen in der Mitte liegen, das heißt, in den vier Octanten, während sie in den Syzygien und Quadraturen selbst verschwindet. Ihr Ausdruck ist $0^{\circ}.65 \sin. 2 A$, wo wieder A gleich der Länge des Mondes weniger jener der Sonne ist. Daraus folgt zugleich, daß die Periode dieser Störung gleich 14.76 Tagen, oder gleich einem halben synodischen (I. §. 98) Monat ist.

Es läßt sich nämlich durch eine einfache Rechnung, die wir aber hier, unserem Zwecke gemäß, nicht näher anführen wollen, leicht zeigen, daß die Tangentialkraft (vergl. §. 63) des Mondes im Allgemeinen, in den Syzygien am größten, und in den Quadraturen am kleinsten ist und daß sie daher in den Octanten in ihrem mittleren Werthe seyn muß, woraus dann unmittelbar folgt, daß die Geschwindigkeit des Mondes im ersten und dritten Quadranten von A, durch die Wirkung der Sonne vermindert, im zweiten und vierten Quadranten aber vermehrt wird, was mit der erwähnten Erscheinung der Variation unmittelbar im Zusammenhange steht.

§. 80. (Jährliche Gleichung des Mondes.) Eine dritte beträchtliche Störung des Mondes durch die Sonne, die jährliche Gleichung, ist ebenfalls schon von Tycho entdeckt worden. Ihr Ausdruck ist $0^{\circ}.19 \sin. C$, wenn C die mittlere Anomalie (I. §. 140) der Sonne bezeichnet. Diese Gleichung zeigt, daß dadurch die Länge des Mondes in den ersten sechs Monaten des Jahrs vermindert, in den andern aber um eben so viel vermehrt wird. Zur Zeit der mittleren Entfernung der Erde von der Sonne, d. h. im Anfange des April und Oktober verschwindet diese Störung, deren Periode sonach gleich der Länge unseres Jahres ist.

Man kann nämlich durch einige einfache geometrische Betrachtungen leicht zeigen, daß die Centralkraft (§. 63), welche die Erde auf den Mond ausübt, daß also auch die elliptische Bewegung dieses Satelliten, durch die Sonne in den Quadraturen um ihren $^1/_{182}$sten Theil vermehrt, und in den Syzygien nahe um das Doppelte, also um ihren $^1/_{91}$ Theil vermindert, also im Ganzen mehr verkleinert als vergrößert, d. h. überhaupt verkleinert werde. Diese im Allgemeinen constante Verminderung der Centralkraft der Erde vertheilt sich aber in ihrer Wirkung über die ganze Bahn des Mondes und ist, in seinem vorzüglichsten Gliede, dem Cosinus des Winkels C proportional. Wenn aber die Centralkraft abnimmt, so nimmt auch die Geschwindigkeit des Mondes ab, und zwar um eine Größe, die dem Sinus desselben Winkels proportional ist, woraus die Erklärung der jährlichen Gleichung des Mondes von selbst folgt.

Dieß sind die drei vorzüglichsten Störungen der Längen des Mondes. Ihre beträchtliche Größe und die kurzen Zeiträume, in welchen sie wiederkehren, sind die Ursache, warum sie schon von unseren Vorgängern, ihrer unvollkommenen Instrumente ungeachtet, gefunden wurden, obschon ihre wahre Erklärung erst nach der Entdeckung des Gesetzes der allgemeinen Schwere und der Auflösung des Problems der drei Körper (§. 74) gegeben werden konnte.

§. 81. (Mondsstörungen von langer Periode.) Allein es gibt noch eine große Anzahl anderer Störungen, die in der That viel kleiner sind, als jene, deren Kenntniß uns aber doch unentbehrlich war, wenn wir die Bewegung des Mondes genau darstellen, und dieselbe zur Bestimmung der geographischen Länge, besonders auf dem Meere, mit Vortheil anwenden sollten. Die Theorie dieser Störungen gab uns sehr bald die allgemeine Form dieser Gleichungen, allein die absolute Größe derselben ließ sich noch vor wenig Jahren nicht gut anders, als auf praktischem

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Wege bestimmen. Erst in unseren Tagen ist es den Astronomen gelungen, die Tafeln des Mondes auf eine ähnliche Weise, wie man bisher bei den Planeten gethan hat, aus den bloßen Elementen (I. §. 142) der Mondsbahn zu entwickeln, welche letzte unmittelbar aus den Beobachtungen genommen wurde, während alles Andere der reinen Theorie anheim fiel. Auf diese Weise sind die Mondstafeln von Damoiseau entstanden, die so genau mit dem Himmel übereinstimmen, daß wohl nur wenig mehr zu wünschen und unseren Nachfolgern hinzuzufügen übrig bleiben mag.

Unter diesen kleineren Störungen des Mondes von der Sonne hat Laplace, dem wir die gegenwärtige Vollkommenheit der Theorie dieses Satelliten vorzüglich verdanken, einige besonders merkwürdige gefunden, die hier eine nähere Anzeige verdienen. Die erste derselben, die in ihrem größten Werthe nur 14 Secunden beträgt, hat eine sehr lange Periode von nahe 184 Jahren. Nicht einmal die Existenz, viel weniger noch die Größe und Periode einer solchen Gleichung würde man auf dem bloßen Wege der Beobachtungen gefunden haben. Ihre Kenntniß war aber sehr wichtig, weil wir sonst die Wirkung einer solchen Störung mit der mittleren Bewegung des Mondes vermengt haben würden, die dadurch selbst veränderlich geworden wäre, da sie doch, ihrer Natur nach, beständig seyn soll.

§. 82. (Bestimmung der Sonnenparallaxe und der Erdabplattung durch die Störungen des Mondes.) Eine andere dieser kleinen Störungen hat dasselbe Argument, wie die Variation; sie wurde nämlich gleich a Sin. A gefunden, und der größte Werth derselben oder der Faktor a ist der Art, daß seine Größe von der Sonnenparallaxe abhängt. Man fand diesen Werth von a durch eine große Anzahl von Mondsbeobachtungen gleich 122 Secunden, und daraus wurde die Größe der Sonnenparallaxe gleich 8.6 Secunden abgeleitet, sehr nahe mit demjenigen übereinstimmend, den man aus den Durchgängen der Venus vor der Sonnenscheibe in den Jahren 1761 und 1769 gefunden hat.

Eine ähnliche Störung der Länge, so wie auch eine der Breite des Mondes, hängt in ihrem Coefficienten von der Abplattung der Erde an ihren beiden Polen ab. Die Beobachtungen des Mondes haben den größten Werth der ersten dieser Gleichungen gleich 6.8 Secunden gegeben, woraus die Abplattung $^1/_{305}$ folgt (vergl. I. §. 22). Wäre diese Abplattung, wie Einige wollten, nahe noch einmal so groß, so würde auch der Coefficient jener Störung doppelt so groß, oder nahe 14 Secunden seyn, was mit den Mondsbeobachtungen im Widerspruche steht. Ganz auf dieselbe Weise gab auch die erwähnte Störung der Breite diese Abplattung der Erde gleich $^1/_{304}$. Man erhält auf diese Weise die Abplattung unserer Erde ganz unabhängig von den Unregelmäßigkeiten ihrer Oberfläche und ihrer Dichtigkeit an verschiedenen Orten, was bei den Meridianvermessungen, und selbst bei den Pendelbeobachtungen, durch welche allein wir bisher die Gestalt der Erde bestimmen konnten, nicht der Fall ist.

Die Parallaxe des Mondes (vergl. I. Kap. 5.) kann durch bloße Theorie aus der bekannten Länge des Secundenpendels und aus den Gradmessungen abgeleitet werden, also kann man auch umgekehrt aus der Länge des Pendels und aus der bekannten Parallaxe des Mondes den Halbmesser der Erde bestimmen. Diese Parallaxen kann man aber durch bloße Beobachtungen des Mondes in verschiedenen Höhen über seinem Horizonte finden, ohne daß es nöthig ist, seinen Beobachtungs-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

ort zu verändern, oder weit entfernte Gegenden der Erde zu diesem Zwecke aufzusuchen.

So ist also der Astronom in den Stand gesetzt, bloß durch die Vergleichung der Theorie mit seinen Beobachtungen, ohne seine Sternwarte auch nur einen Augenblick zu verlassen, nicht nur die Größe, sondern auch die Gestalt, und sogar die Entfernung der Erde von dem Monde, so wie auch die Entfernung derselben von der Sonne zu bestimmen, ohne mühsame geodätische Messungen auszuführen, ohne kostbare Reisen in fremde Welttheile zu unternehmen, und ohne endlich alte, Jahrtausende von uns entfernte Beobachtungen zu Hülfe zu rufen.

Alles Vorhergehende zeigt, wie innig die Erscheinungen des Himmels unter einander und mit dem allgemeinen Gesetze der Schwere zusammen hängen, und zugleich, daß der Mond mit seinen zahllosen und so mannigfaltig in sich verwickelten Störungen vorzüglich geeignet ist, uns diesen wunderbaren Zusammenhang und zugleich die große Macht der mathematischen Analyse zu beweisen, dieses wahrhaft vortrefflichen Instrumentes, ohne dessen Hülfe es dem menschlichen Geiste unmöglich gewesen wäre, in jene Tiefen einzudringen, und eben dort, wo auf den ersten Blick nur Unordnung und Verwirrung zu herrschen scheint, die schönste Harmonie zu entdecken.

§. 83. (Periodische Störungen der Planeten überhaupt.) Indem wir nun von den periodischen Störungen des Mondes zu denen der Planeten übergehen, bemerken wir zuerst, daß diese Störungen bloß von den Stellungen der beiden Planeten, d. h. von den Differenzen ihrer Längen und ihrer Entfernungen von einander abhängen. Diese Entfernungen aber werden nicht bloß von der Lage dieser Planeten selbst im Raume, sondern auch von ihrer Lage gegen die großen Axen ihrer elliptischen Bahnen bestimmt. Will man also z. B. die Störung des Mars, die er durch Jupiter erfährt, bestimmen, und bezeichnet man durch ♂ die Länge des ersten, durch 4 die des zweiten Planeten, und durch π die Länge des Periheliums des einen oder des andern dieser beiden Himmelskörper, so wird die gesuchte Störung bloß von den Größen ♂, 4 und π abhängen. Da diese Störungen, wie bereits oben gesagt worden ist, in bestimmten Zeiträumen periodisch wieder kommen, so werden ihre analytischen Ausdrücke die Sinus oder Cosinus dieser drei Winkel enthalten, indem diese trigonometrischen Funktionen, wie bekannt, für die Peripherie des Kreises ebenfalls periodisch wiederkehren und sich daher, als für jene Ausdrücke vorzüglich geeignet, gleichsam von selbst darbieten. Die Theorie zeigt, daß diese Störungen, so weit sie die Länge der Planeten betreffen, alle durch den Sinus, und daß eben so die Störungen des Abstandes der Planeten von der Sonne durch den Cosinus des Winkels $(m♂ - n4 - \pi)$ vorgestellt werden können, wo m und n nach der Ordnung die Zahlen 1, 2, 3 . . bezeichnen.

Die Astronomen haben diese Störungen für alle sieben älteren Planeten auf das genaueste berechnet. Man findet sie in dem dritten Theile der Mécanique céleste von Laplace. Auf diese Rechnungen sind dann die Tafeln gegründet worden, durch welche die Bestimmung des Ortes jedes Planeten für jede gegebene Zeit zugleich ungemein erleichtert und gesichert wird. Die besten Planetentafeln, deren wir uns jetzt bedienen, sind die der Sonne, oder vielmehr der Erde von Delambre und Carlini, — des Merkur, der Venus und des Mars von Lindenau, und endlich der drei von der Sonne entferntesten Planeten von Bouvard; für die vier neuen Planeten hat man noch keine solche vollständigen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Tafeln entworfen, weil ihre großen Excentricitäten und Neigungen der genauen Bestimmung derselben noch zu viele Hindernisse entgegen stellen.

§. 84. (Merkwürdige Störung zwischen Jupiter und Saturn.) Unter diesen periodischen Störungen der Planeten sind vorzüglich zwei, die zwischen den beiden größten Planeten unseres Sonnensystems Statt haben, merkwürdig geworden. Schon Halley, Newton's Zeitgenosse, hatte bemerkt, daß die Umlaufszeit Saturn's zur Zeit des Hipparch (140 Jahre vor Chr.) größer, und die des Jupiter im Gegentheile kleiner war, als zu Newton's Zeit, oder daß die mittlere Bewegung des Saturn seitdem langsamer, und die des Jupiter geschwinder geworden sey. Diese Entdeckung war um so auffallender, da man bei allen anderen Planeten diese Umlaufszeiten aus den älteren und neueren Beobachtungen durchaus constant oder unveränderlich gefunden hatte (I. §. 125), und da man bald darauf auch durch die Theorie belehrt wurde, daß dieses Element der Planetenbahnen in der That immer constant bleiben müsse.

Euler war der Erste, der diese sonderbare Entdeckung der Analyse zu unterwerfen suchte. Er fand auch in der That eine solche Verzögerung des einen, und eine Beschleunigung des andern jener beiden Planeten, aber da er durch seine Theorie beide von gleicher Größe gefunden hatte, was mit den Beobachtungen nicht übereinstimmte, so konnte seine Erklärung dieser Erscheinung, so sinnreich sie auch war, nicht angenommen werden. Auch Lagrange beschäftigte sich später mit diesem eben so schwierigen, als interessanten Gegenstande, aber ebenfalls ohne Erfolg. Diese und mehrere andere ausgezeichnete Geometer suchten den Grund jener Ungleichheit bald in dem Widerstande des Aethers, in welchem sich die Planeten bewegen sollen, bald in den Störungen, welche die Kometen auf dieselben äußern, bald in der Zeit, welche die Kraft der Schwere brauchen soll, von der Sonne bis zu diesem entfernten Planeten zu gelangen u. dgl. Diese Muthmaßungen gaben allerdings zu andern, nicht minder wichtigen Entdeckungen Veranlassung, aber sie ließen doch den Gegenstand, den man eigentlich suchte, im Dunkel.

In den letzten Decennien des verflossenen Jahrhunderts verglich Lambert diejenigen Beobachtungen Saturns und Jupiters, die Tycho angestellt hatte, mit seinen eigenen und fand, zur noch größeren Ueberraschung der Astronomen, daß, ganz im Widerspruche mit Halley's Entdeckung, die mittlere Bewegung Saturn's seit jener Zeit bis auf seine Tage sich beschleunigt, und die des Jupiter im Gegentheile sich verzögert habe. Dieß machte viele an der Existenz dieser beiden Ungleichheiten zweifeln, indem sie die, wie sie meinten, nur scheinbare Veränderung dieser beiden Bewegungen bloß der Unvollkommenheit der älteren Beobachtungen zuschrieben. Allein Laplace, der sich durch diese grundlosen Vermuthungen nicht irren ließ, glaubte vielmehr eben in diesem äußeren Widerspruche das Daseyn einer Störung von sehr langer Periode zu erkennen, durch welche die Bewegungen dieser beiden Planeten mehrere Jahrhunderte durch abwechselnd bald beschleunigt, bald wieder verzögert werden könnten. Um diese Ungleichheit aufzusuchen, mußte er die Gesammtstörung dieser beiden Planeten, die man bisher, wie bereits oben (§. 73) gesagt wurde, nur in den ersten, und sonach größten Gliedern ihrer unendlichen Reihen entwickelt hatte, noch auf mehrere der folgenden Glieder fortführen und zusehen, ob sich unter diesen letzten eine Störung von sehr langer Periode finde, die den beobachteten Ungleichheiten jener beiden Planeten entspricht.

Bei dieser mühevollen Untersuchung kam ihm eine andere wichtige Entdeckung zu Statten, die man schon früher gemacht hatte. — Es ist

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

bereits oben gesagt worden, daß die periodischen Störungen dieser beiden Planeten durch die Sinus und Cosinus der Winkel $(m4 - n5 - \pi)$ ausgedrückt werden, wo 5 und 4 von den mittleren Längen, oder was hier dasselbe ist, von den Umlaufszeiten der beiden Planeten abhängen, und wo die Größen m und n die ganzen Zahlen 1, 2, 3... bezeichnen. Gewöhnlich braucht man nur diejenigen Glieder zu untersuchen, wo m sowohl als n entweder gleich 1 oder gleich 2 ist, da die folgenden, wo m oder n gleich 3, 4, 5... ist, schon so kleine Werthe haben, daß man sie ohne merklichen Fehler ganz übergehen kann.

Nun ist es eine, unmittelbar aus der äußeren analytischen Form dieser Störungsglieder hervorgehende Eigenschaft derselben, daß sie, so gering sie auch an sich selbst seyn mögen, in allen den Fällen einen bedeutenden Werth erhalten, wo die Umlaufszeiten, oder was dasselbe ist, wo die mittleren täglichen Bewegungen der beiden Planeten sich sehr nahe wie die zwei ganzen Zahlen verhalten, die man eben für m und n setzen soll. Wenn z. B. die mittleren Bewegungen zweier Planeten sich nahe wie 5 zu 7 verhalten, so kann es sehr leicht geschehen, daß die ersten Glieder der erwähnten Reihen, in welchen m und n gleich 1, 2, 3.. gesetzt werden, sämmtlich nur unbeträchtlich sind, während doch das erst später folgende Glied, in welchem $m = 5$ und $n = 7$, oder umgekehrt ist, einen sehr großen Werth erhalten kann. Ein solcher Fall trat auch in der That bei jenen beiden Planeten ein. Die siderische Umlaufszeit Jupiters beträgt 4332.58, und die des Saturn 10759.22 Tage (I. §. 142), und diese beiden Zeiten verhalten sich sehr nahe wie die beiden ganzen Zahlen 2 und 5, woraus daher folgt, daß man bei der Entwicklung der gegenseitigen Störungen dieser zwei Himmelskörper vorzüglich auf diejenigen Glieder Rücksicht nehmen muß, in welchen $m = 2$ und $n = 5$, und umgekehrt gesetzt wird. Indem Laplace diese Untersuchung vornahm, fand er auch seine frühere Vermuthung vollkommen bestätigt. Er fand nämlich unter den Störungen, die Saturn von Jupiter leidet, ein Glied, das bis auf 2950 Secunden steigen konnte, und unter den Störungen Jupiters ein anderes, jenem entsprechendes, dessen größter Werth 1200 Secunden betrug. Die Periode dieser Störungen aber ist für beide nahe gleich 930 Jahren, und beide sind zugleich so beschaffen, daß die eine derselben immer eine Beschleunigung andeutet, wenn die andere eine Verzögerung enthält. Alles dieß stimmte aber mit den bisher gesammelten Beobachtungen jener Planeten aus den alten nicht minder, als aus den mittlern und neuen Zeiten so wohl zusammen, daß an der Richtigkeit dieser Erklärung einer früher so räthselhaften Erscheinung nicht weiter gezweifelt werden konnte.

Im Jahre 1560 haben diese beide Störungen ihren größten Werth erreicht, und zu dieser Epoche war die Bewegung Saturns am langsamsten, die des Jupiter aber am schnellsten. Seitdem näherten sich diese beiden Bewegungen ihren wahren immer mehr, bis sie i. J. 1790 denselben ganz gleich kamen, und i. J. 2020 werden sie wieder ihre größten Werthe erreichen. Man sieht nun, wie Halley und Lambert so ganz verschiedene Resultate finden konnten, wenn sie Beobachtungen von solchen Epochen mit einander verglichen, wo diese beiden Planeten in Beziehung auf ihre mittleren Bewegungen in ganz andern Verhältnissen sich befanden. Wenn das Wiederaufleben der Wissenschaften in Europa etwa 500 Jahre später eingetreten wäre, so würden die Beobachtungen die entgegengesetzten Erscheinungen von denen angezeigt haben, die Halley gefunden hat. Die astronomischen Tafeln der Indier, denen dieses Volk ein so hohes Alterthum beilegt, zeigen deutlich, daß sie zu einer

Zeit entworfen worden sind, wo die Bewegung Saturns die langsamste, und die Jupiters die schnellste war, und es läßt sich daher eben daraus mit einiger Sicherheit die Zeit der Entstehung dieser Tafeln ableiten. Vereiniget man damit die Excentricitäten, welche diese Tafeln mehreren Planetenbahnen beilegen, so wird es, wie Laplace gezeigt hat, sehr wahrscheinlich, daß diese Tafeln, weit entfernt, viertausend Jahre vor dem Anfange unserer Zeitrechnung entstanden zu seyn, wie die Indier vorgeben, erst gegen den Anfang des sechszehnten Jahrhunderts nach Chr. G. nach dem Muster der europäischen Tafeln zusammen getragen worden sind.

Kapitel VII.

Säculäre Störungen.

§. 85. (Säculäre Störungen des Mondes; Bewegung der Knotenlinie.) Es ist bereits im Anfange des vorhergehenden Kapitels bemerkt worden, daß man unter den *säcularen* Störungen der Planeten diejenigen versteht, welche nicht sowohl diese Planeten selbst, als vielmehr die Bahnen derselben durch die Einwirkung der andern Planeten erleiden.

Um auch hier wieder die säculären Störungen des *Mondes* zuerst zu betrachten, so ist für sich klar, daß dieser Satellit, der sich in einer nahe fünf Grade gegen die Ekliptik geneigten Ebene bewegt, durch die Attraction der Sonne, die in der Ekliptik liegt, dieser Ekliptik selbst *genähert* werden muß. Diese Annäherung des Mondes zur Ekliptik hat offenbar immer Statt, der Mond mag sich auf der nördlichen oder auf der südlichen Seite der Ekliptik befinden, und die Folge derselben muß seyn, daß der Mond die Ekliptik immer eher erreicht, als er ohne diese Attraction der Sonne gethan hätte. Das heißt aber mit andern Worten: die Knoten der Mondesbahn (I. 99) rücken dem Monde entgegen, und da der Mond von West gen Ost um die Erde geht, so werden die Knoten seiner Bahn von Ost gen West, oder *rückwärts* gehen. Nach den Beobachtungen beträgt diese retrograde Bewegung der Mondesknoten in Beziehung auf die Fixsterne jährlich 19.35 Grade (I. §. 170). Diese Bewegung der Knoten ist übrigens nicht immer dieselbe, sondern sie hängt von der Entfernung der Sonne und der Erde von dem Monde ab. Man findet, daß sie zur Zeit der Syzygien am größten, und während der Quadraturen am kleinsten ist. Im Mittel beträgt die Umlaufszeit der Knoten der Mondesbahn in Beziehung auf die Gestirne oder die siderische Revolution (I. §. 100) derselben 6793.2859 Tage, und die Revolution des Mondes selbst in Beziehung auf seine Knoten, d. h.

die Zeit, die zwischen zwei nächsten Durchgängen des Mondes durch seinen Knoten verfließt, ist 27.2121 Tage, welche Zwischenzeit man den Drachenmonat zu nennen pflegt.

§. 86. (Bewegung der Apsiden der Mondesbahn.) Da die Attraction der Sonne die Entfernung des Mondes von der Erde bald vermehrt und bald wieder vermindert, so folgt daraus auch eine Aenderung der Lage der großen Axe der Mondesbahn. Man sieht im Allgemeinen, daß diese Axe der Sonne folgen, also von West nach Ost fortrücken wird. Die Beobachtungen zeigen, daß diese Fortrückung der Apsiden der Mondesbahn, in Beziehung auf die Fixsterne, jährlich 40.65 Grade beträgt. Daraus folgt die siderische Umlaufszeit der Apsiden des Mondes gleich 3232.567 Tagen, und die Revolution des Mondes selbst in Beziehung auf diese Apsiden gleich 27.555 Tagen, welche letzte Zeit man die anomalistische Revolution des Mondes zu nennen pflegt. Auch diese Bewegung ist übrigens mehreren Ungleichheiten unterworfen, die ebenfalls von dem Stande der Sonne gegen die Erde und gegen den Mond abhängen.

§. 87. (Geschichte dieser Entdeckung.) Diese Bewegung der Apsiden des Mondes hat die Geometer des verflossenen Jahrhunderts lange beschäftigt. Schon Newton hat sie aus dem Gesetze der allgemeinen Schwere abzuleiten gesucht, aber durch seine Rechnungen nur nahe halb so groß gefunden, als sie durch die Beobachtungen angezeigt wird. Später fand Clairaut durch eine viel sorgfältigere Analyse nahe dasselbe, und die ihm folgenden Untersuchungen Euler's und D'Alembert's schienen dieses Resultat zu bestätigen. Dieß war also gleichsam der erste Fall, wo die Theorie mit der Beobachtung nicht übereinstimmte, oder wo das Newton'sche Gesetz der allgemeinen Schwere nicht hinreichend gefunden wurde, um daraus alle Erscheinungen des Himmels zu erklären. Auch ließ sich Clairaut, seines seltenen Scharfsinnes ungeachtet, durch diese Nichtübereinstimmung verführen, ein anderes, complicirteres Gesetz der Natur anstatt jenes einfachen, das Newton aufgestellt hatte, auf die Bahn zu bringen. Er fand zwar dabei Widerspruch von einem Manne, dessen Ansehen in dem Felde der Naturgeschichte zu jener Zeit für eine sehr große Autorität galt. Buffon wollte das von Clairaut vorgeschlagene Gesetz durchaus nicht annehmen, aber bloß aus dem Grunde, weil das von Newton aufgestellte das einfachere wäre, und weil, nach seiner Ansicht, die Natur zur Erreichung ihrer Zwecke immer die einfachsten Mittel wählen müsse. Allein dieser teleologische oder metaphysische Grund wollte Clairaut nicht einleuchten, der ihm dafür die Resultate seiner Analysis entgegensetzte, die jener nicht widerlegen konnte, weil er sie nicht verstand. Doch hatte dießmal der Metaphysiker, dem Geometer gegenüber, Recht. Clairaut bemerkte nämlich später, daß er die Annäherung seiner Berechnung nicht weit genug getrieben hatte, und als er dieselbe mit mehr Umsicht wiederholte, fand er, daß die Theorie auch hier mit den Beobachtungen in vollkommenem Einklang sey. Nach ihm wurde diese wesentliche Verbesserung auch von Euler und D'Alembert als richtig erkannt, und die neuesten Bestimmungen der Bewegung der Apsiden der Mondesbahn, die Laplace in seiner Mécanique céleste gegeben hat, weichen nur mehr um ihren $^1/_{440}$sten Theil von den Beobachtungen ab. So wurde daher dieselbe Erscheinung, die man früher als eine Ausnahme von dem allgemeinen Gesetze der Schwere betrachtete, — jetzt einer der schönsten Beweise für das Daseyn dieses Gesetzes. Denn dieß war das Loos jener glänzenden Entdeckung, daß jedes neue Hinderniß,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

das sich gegen dieselbe zu erheben schien, immer nur der Gegenstand eines neuen Triumphes für sie wurde.

§. 88. (Acceleration der mittleren Bewegung des Mondes.) Einen ähnlichen Fall, der den Astronomen noch mehr Mühe kostete, bot die Beobachtung der mittleren Bewegung des Mondes dar. Es ist bereits oben (Kap. VI.) gesagt worden, daß die Umlaufszeit der Planeten um die Sonne, also auch die der Satelliten um ihre Hauptplaneten aus theoretischen Gründen, von welchen wir später sprechen werden, als constant oder als unveränderlich erkannt worden ist. Da mit diesen Umlaufszeiten, nach dem dritten Kepler'schen Gesetze, die halben großen Axen der Bahnen in unmittelbarem Zusammenhange stehen, indem, nach diesem Gesetze, eines durch das andere gegeben ist, so wurden auch diese Halbaxen der Bahnen als für alle Zeiten unveränderlich erkannt, und die Beobachtungen der ältesten Zeit stimmten auch mit dieser Voraussetzung bei allen Planeten vollkommen überein.

Nicht so bei dem Monde. Auch hier, wie oben (§. 84) bei den beiden größten Planeten unseres Sonnensystems, hatte Halley zuerst gefunden, daß die Umlaufszeit des Mondes um die Erde seit den Zeiten der griechischen Beobachtungen, d. h. nahe seit zweihundert Jahren vor Chr. G. bis auf unsere Tage, immer kürzer, also die mittlere Bewegung des Mondes immer schneller werde, wodurch daher der Mond der Erde immer näher kommen, und endlich, wenn diese Bewegung ohne Aufhören in derselben Art fortschreitet, auf sie fallen muß, um sich für immer mit ihr zu vereinigen.

Diese befremdende Erscheinung hat die Astronomen lange gequält, da sie die Ursache derselben nicht finden konnten. Man suchte sie in der Wirkung der Planeten, in der Abweichung des Mondes und der Erde von der Kugelgestalt, in dem Widerstande des Aethers, in der allmählichen Fortpflanzung der Schwere u. s., aber immer vergebens. Indeß war die Uebereinstimmung aller anderen Phänomene des Himmels mit dem Gesetze der allgemeinen Schwere so groß, daß man nicht ohne lebhaftes Bedauern diese Ausnahme sehen konnte, welche bloß die mittlere Bewegung des Mondes von diesem Gesetze machen sollte. Dieß bewog die beiden größten Geometer ihrer Zeit, Lagrange und Laplace, dem Grunde dieser auffallenden Erscheinung weiter nachzuforschen. Sie gingen von der Ansicht aus, daß diese Ausnahme nur scheinbar sey, und ihre Ursache in demselben Gesetze, und zwar in der Anziehung der Sonne auf den Mond, haben müsse, aus welchen überhaupt alle Störungen dieses Satelliten zu erklären seyn sollen. Wenn in der That die Erde in ihrer Bahn sich der Sonne allmählich näherte, oder von ihr entfernte, so würde sich dadurch auch die Entfernung des Mittelpunkts der Mondesbahn von der Sonne ändern, und es ist kein Zweifel, daß dadurch eine Vergrößerung oder eine Verkleinerung dieser Mondesbahn selbst hervorgebracht werden müßte. Allein die große Axe der Erdbahn ist, wie die aller Planeten, unveränderlich, und jene Voraussetzung einer veränderlichen Entfernung der Erde von der Sonne scheint sonach unzulässig zu seyn.

Erinnert man sich aber (I. §. 142), daß die Excentricität der Erdbahn, den Beobachtungen gemäß, seit den ältesten Zeiten immer kleiner wird, daß also auch die elliptische Erdbahn, obschon die große Axe derselben unveränderlich ist, einem Kreise immer näher kömmt, so folgt daraus, daß auch die Sonne seit jener Zeit dem Mittelpunkte der Mondesbahn im Allgemeinen immer näher rücken, und daß dadurch die Wirkung der Sonne auf die Bewegung des Mondes vergrößert werden muß.

Lagrange hat der Erste diesen Grund der Acceleration der mittleren Bewegung des Mondes nachgewiesen, und Laplace hat denselben durch seine darüber angestellten Berechnungen über allen Zweifel erhoben. Die Wirkung der Sonne auf den Mond hängt von der Entfernung der Sonne von der Erde ab; diese Entfernung aber hängt von der Excentricität der Erdbahn ab, und da die letzte veränderlich ist, so muß es auch die erste seyn. Die mathematische Analyse gibt die Größe dieser Aenderung des Sonneneinflusses, also auch die Größe der daraus entspringenden Veränderung in der mittleren Bewegung des Mondes, und zwar mit den Beobachtungen vollkommen übereinstimmend. Nennt man t die seit dem Jahre 1800 verflossenen Jahrhunderte, so beträgt diese Aenderung der mittleren Länge des Mondes 10.72tt Secunden, oder diese Länge ist i. J. 1900 um 10.72 Secunden größer, als sie aus der Umlaufszeit, die der Mond i. J. 1800 hatte, folgen würde.

§. 89. (Säculäre Bewegung der Apsiden- und Knoten-Linie.) Dieselbe Theorie hat auch gezeigt, daß die oben (§. 85 und 86) erwähnten Bewegungen der Apsiden- und der Knoten-Linie der Mondesbahn ähnlichen säculären Störungen unterworfen sind, die aus derselben Quelle entspringen. Während nämlich die mittlere Bewegung des Mondes in seiner Bahn mit der Zeit immer schneller wird, nimmt die Bewegung des Perigeums, und die der Knotenlinie immer ab, und zwar in einem Jahrhundert jene um 32.16, und diese um 7.88 Secunden, so daß diese drei säculären Störungen sich wie die Zahlen 1, 3 und $^3/_4$ verhalten. Die Beobachtungen der künftigen Jahrhunderte werden diese Bewegungen noch genauer bestimmen, da sie sich in der Folge der Zeiten anhäufen. Durch sie wird einst die Länge des Mondes um volle neun, und die Länge des Perigeums der Mondesbahn sogar um volle dreißig Grade verändert werden, und aus diesem großen Unterschiede wird man mit Sicherheit auf die viel geringere Veränderung der Excentricität der Erdbahn zurückschließen, von welcher jene Unterschiede die unmittelbaren Folgen sind. Diese Excentricität ändert sich in einem Jahre äußerst wenig, und nur durch 0.15 einer Meile, aber durch diese Aenderung wird in der Folge der Jahrhunderte das Perigeum der Mondesbahn um dreißig Grade, d. h. um volle 27000 Meilen, verrückt werden, und unsere späten Nachfolger werden daher die Veränderung, welche seitdem in der Bahn der Erde vorgegangen ist, in der Bahn des Mondes, wie in einem unermeßlichen Hohlspiegel, sehr vergrößert erblicken. Schon seit den Zeiten der Griechen bis auf unsere Tage ist die Länge des Mondes um zwei, und die des Perigeums seiner Bahn um volle $6^3/_5$ Grade verändert worden, während sich doch in derselben Zeit und aus derselben Ursache die Gleichung des Mittelpunkts (I. §. 141) der Sonne nur um acht Minuten, also nur um den 49sten Theil der Bewegung des Perigeums verändert hat.

§. 90. (Gränzen und Perioden dieser Störungen.) Wenn aber diese säculäre Störung des Mondes ohne Aufhören in derselben Richtung fortginge, so würde sie, wie bereits erwähnt, den Mond der Erde immer näher bringen und denselben endlich ganz auf sie stürzen. Allein diese verderbliche Folge haben wir nicht zu befürchten. Die Analyse hat uns nämlich gezeigt, daß die Excentricität der Erdbahn nicht immer, sondern nur bis zu einem gewissen Grade abnehmen, und dann wieder wachsen werde, so daß die Veränderungen derselben in bestimmte Gränzen eingeschlossen sind, welche diese Excentricität nie überschreiten kann. Die Perioden, während welcher sie von ihren größten Werthen zu ihren kleinsten, und umgekehrt übergeht, enthalten aber viele Jahrtausende, und

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

können jetzt, wo die Massen der Planeten noch nicht mit aller Schärfe bekannt sind, auch nicht mit Genauigkeit bestimmt werden. Nach den vorläufig darüber angestellten Rechnungen war die Excentricität der Erdbahn in dem Jahre 11400 vor Chr. G. in ihrem größten Werthe und betrug 0.0196. Von jener Zeit nimmt sie durch 48300 Jahre immer ab und wird erst i. J. 36900 nach Christus ihren kleinsten Werth 0.00393 haben, und dann allmählig wieder zunehmen, so daß also ihre ihre Periode nahe 48300 Jahre beträgt, während welcher sie um 0.01567 Theile der großen Halbaxe der Erdbahn ab und zunimmt.

§. 91. (Säculäre Störungen der Planeten.) Nach diesen kurzen Betrachtungen der säculären Störungen des Mondes gehen wir nun zu denen der Planeten über. Es wurde bereits oben gesagt, daß die strenge Auflösung dieses Problems die Kräfte unserer Analyse übersteigt, und daß man sich daher mit einer bloßen Annäherung begnügen muß, die uns glücklicherweise durch mehrere Einrichtungen unseres Sonnensystems sehr erleichtert wird. Demungeachtet ist die Aufgabe auch so noch sehr schwer und verwickelt, wie sie denn auch den vorzüglichsten Geometern, die seit Newton gelebt haben, Beschäftigung genug gegeben hat. Gewöhnlich stellt man sich dabei einen imaginären Planeten vor, der sich nach Kepler's Gesetz in einer Ellipse bewegt, deren Elemente selbst sich allmählig ändern, während sich um diesen eingebildeten Planeten der wahre in einer kleinen Bahn bewegt, deren Natur von den periodischen Störungen abhängt, indeß die erwähnten Aenderungen der elliptischen Elemente die säculären Störungen des Planeten geben. Es würde dem Zwecke dieser Schrift ganz unangemessen seyn, uns in eine nähere Darstellung der hieher gehörenden Berechnungen einzulassen, daher wir uns begnügen, nur die vorzüglichsten Resultate derselben mehr geschichtlich, als mit ihren Gründen, anzuführen. — Eine ausführliche und zugleich sehr schöne Darstellung der periodischen und säculären Störungen, gemeinfaßlich und ohne Gebrauch der mathematischen Analysis, hat erst kürzlich Airy in seiner Schrift: Gravitation or elementary explanation of the principal perturbations. Lond. 1834 gegeben, die nächstens in einer deutschen Uebersetzung von C. L. Littrow erscheinen wird, und auf die ich daher hier diejenigen Leser verweise, die an diesem interessanten Gegenstand der Astronomie Antheil nehmen.

§. 92. (Störung der Knoten und Neigungen.) Wenn man sich zwei einander schneidende Planetenbahnen, z. B. auf der Oberfläche eines Globus, verzeichnet, so sieht man gleichsam auf den ersten Blick, daß in Folge der gegenseitigen Anziehung der beiden Planeten die Bahnen derselben sich nähern, und daß daher der gestörte Planet die Ebene des störenden eher erreichen wird, als er ohne diese Störung gethan haben würde. Dieß wird der Fall seyn, der störende Planet mag über, oder, in der anderen Hälfte seiner Bahn, unter der Ebene des gestörten sich befinden. Der Winkel aber, welchen die beiden Bahnen mit einander bilden, wird in der einen Hälfte derselben offenbar vermehrt, und in der andern vermindert werden. Da nun beide Planeten, vermöge ihrer elliptischen Bewegung von West gen Ost, um die Sonne gehen, und da der gestörte Planet, wie gesagt, die Ebene des störenden früher erreicht, so wird dadurch der Knoten beider Bahnen dem Laufe des gestörten Planeten entgegen, also von Ost gegen West gebracht, während im Gegentheile die Neigung beider Bahnen abwechselnd vergrößert und verkleinert wird. Mit andern Worten: durch die Störungen zweier Planeten gegen einander weichen die Knoten der gestörten Bahn auf den störenden immer zurück, während die Neigungen beider Bahnen, kleine

periodische Schwankungen ausgenommen, im Allgemeinen als beständig betrachtet werden können.

Dieß gilt von der Lage zweier Planetenbahnen gegen einander. Wenn man aber, wie es dem astronomischen Gebrauche angemessen ist, die Lage eines jeden Planeten auf eine dritte ebenfalls bewegliche Ebene, z. B. auf die Ekliptik bezieht, so hat jene einfache Darstellung nicht mehr Statt, und dann kann der Knoten der gestörten Bahn mit der Ekliptik sowohl vor- als rückwärts gehen, und die Neigung der Bahn gegen die Ekliptik kann eben so, wie der Knoten, beständig zu- oder abnehmen. Dieß ist selbst dann der Fall, wenn die Ekliptik als eine feste Ebene betrachtet wird. Allein das ist sie nicht, da sie, als die Ebene der Erdbahn, von allen andern Planeten ebenfalls in ihrer Lage am Himmel gestört wird. Nach den astronomischen Rechnungen nähert sich, in Folge dieser Störungen der Erde durch die Planeten, die Ekliptik dem Aequator in jedem Jahrhundert um 48.37 Secunden, während der Durchschnittspunkt derselben mit dem Aequator, oder während der Frühlingspunkt um die kleine Größe von 16.44 Secunden vorwärts, oder von West nach Ost geht. Wir haben aber bereits oben (I. §. 190) gesehen, daß, den Beobachtungen zu Folge, der Frühlingspunkt in einem Jahrhundert um 5021.13 Secunden rückwärts geht, und daß dieß im Allgemeinen eine Folge der Anziehung der Sonne und des Mondes auf die abgeplattete Erde ist, die wir dort die Präcession genannt haben. Da aber die Wirkung der Planeten den Frühlingspunkt in einem Jahrhundert um 16.44 Secunden vorwärts bewegt, so beträgt die eigentliche Wirkung der Sonne und des Mondes 5037.57 Secunden, oder die beobachtete Präcession, nach welcher der Frühlingspunkt in jedem Jahre um 50.2113 Secunden rückwärts geht, besteht aus zwei Theilen. Vermöge des ersten, oder vermöge der Einwirkung der Sonne und des Mondes auf die abgeplattete Erde geht der Frühlingspunkt jährlich um 50.3757 Secunden rückwärts, und vermöge des zweiten, der Einwirkung der Planeten auf die Erdbahn, geht derselbe jährlich um 0.1644 Secunden vorwärts. Der erste ist seiner Natur nach constant, und für alle Zeiten derselbe, wenn anders die mittlere Entfernung jener beiden Gestirne und die Abplattung der Erde sich nicht mit der Zeit ändert. Der zweite Theil aber hängt von der Lage, von der Vertheilung der Planetenbahnen gegen die Erdbahn ab und ist daher veränderlich, da in der Folge der Jahrhunderte diese Lage der Planeten, durch ihre gegenseitigen Störungen selbst, eine ganz andere seyn wird, als diejenige ist, welche wir jetzt beobachten.

§. 93. (Veränderung der Länge des tropischen Jahres.) Diese Bemerkung hat einen wichtigen Einfluß auf die Länge des Jahres, und dadurch auf unsere gesammte Zeitrechnung. Das wahre Jahr der Erde oder die siderische Umlaufszeit (I. §. 100) derselben um die Sonne ist bei ihr, wie bei allen anderen Planeten, eine völlig unveränderliche Größe. Allein das tropische Jahr (I. §. 123), oder die Umlaufszeit der Erde in Beziehung auf den Frühlingspunkt, ist kürzer als das siderische Jahr, und zwar um die Zeit, welche die Erde braucht, mit ihrer mittleren Bewegung den Bogen zurücklegen, welcher von dem Frühlingspunkte vermöge der beobachteten Präcession zurückgelegt wird. Dieser Bogen enthält aber, nach dem Vorhergehenden, einen obschon kleinen Theil, dessen Werth in verschiedenen Jahrhunderten veränderlich ist. Also ist auch die Zeit, in welcher die Sonne diesen Bogen zurücklegt, und somit das tropische Jahr selbst, eine veränderliche Größe.

In unserer Zeit z. B. beträgt jener veränderliche, von den Plane-

ten kommende Theil der Präcession, wie oben gesagt wurde, 0.1644 Secunden. Da die Sonne in einem Tage 0° 59′ 8.33″ zurücklegt, so wird sie einen Bogen von 0.1644″ in vier Zeitsecunden beschreiben, d. h. unser gegenwärtiges Jahr ist um 4 Secunden größer, als das wahre oder mittlere tropische Jahr. Die Theorie zeigt, daß das tropische Jahr am größten, nämlich um 38 Secunden größer, als das mittlere, gegen das Jahr 3040 vor Chr. G. war, und daß es seit jener Zeit bis auf unsere Tage abgenommen hat, und noch weiter abnehmen wird, bis zu dem Jahre 7600 nach Chr., wo es am kleinsten, und zwar wieder um 38 Secunden kleiner, als das mittlere seyn, von welcher Zeit an es aber dann wieder allmählig wachsen wird. Die Länge des tropischen Jahres betrug nämlich, den Beobachtungen zu Folge, im Anfange des 19ten Jahrhunderts 365.242255 Tage oder 365 Tage, 5 Stunden, 48 Minuten, 50.83 Secunden. Im Jahre 3040 vor Chr. war seine größte Länge 365 Tage, 5 Stunden, 49 Minuten, 24.83 Secunden. Im Jahre 2360 nach Chr. wird es seine mittlere Länge von 365 Tagen, 5 Stunden, 48 Minuten, 46.83 Secunden, und endlich im Jahre 7600 nach Chr. seine kürzeste Dauer von 365 Tagen, 5 Stunden, 48 Minuten, 8.83 Secunden haben. Seit Hipparch's Zeiten (140 Jahre vor Chr. G.) bis auf unsere Tage ist daher das tropische Jahr, nach welchem sich alle unsere Zeitrechnungen, unser Kalender und selbst unsere Jahreszeiten richten, um 14 Secunden kürzer geworden.

§. 94. (Allgemeine Bemerkungen über die Störungen der Knoten und der Neigungen.) Die folgende kleine Tafel zeigt die durchaus rechtläufige tropische Bewegung der Knoten der älteren Planetenbahnen gegen die Ebene der Ekliptik, und die Aenderung ihrer Neigungen gegen diese Ebene in 100 Jahren.

	Säculäre Aenderung der Knoten.	der Neigung.
Merkur . .	4238.9	18.3 zunehmend
Venus . .	3151.3	4.5 abnehmend
Mars . .	2692.7	0.1 abnehmend
Jupiter . .	3443.6	22.6 abnehmend
Saturn . .	2754.7	15.5 abnehmend
Uranus . .	1423.2	1.1 zunehmend.

Subtrahirt man die Zahlen der ersten Columne dieser Tafel von der beobachteten Präcession 5021″.13 in einem Jahrhundert, so erhält man die säculäre siderische Bewegung dieser Knoten in Beziehung auf die Fixsterne, die daher, wie man sieht, durchaus rückgängig, oder von Ost nach West gerichtet ist. So ist die säculäre siderische Bewegung der Knoten Merkurs 782.23″, der Venus 1869.8″ u. s. w. Uebrigens sind alle diese Zahlen nur genähert und können bloß für einige Jahrhunderte vor und nach der gegenwärtigen Zeit gelten, daher man auch nicht annehmen darf, daß z. B. die Knoten der Planetenbahnen auf der Ekliptik immer in derselben Richtung fortgehen, oder daß die Neigungen derselben immerwährend zu- oder abnehmen. Vielmehr sind diese Größen alle in bestimmte Gränzen eingeschlossen, die sie nie übersteigen können. So wanken z. B. die aufsteigenden Knoten der Jupitersbahn immer zwischen den beiden Längen von 90 und 117 Graden, und die des Saturn zwischen 72 und 136, so daß der mittlere Ort beider Knoten nahe in der Länge von 104 Graden liegt, von welchen die Ausweichung bei Jupiter 13, und die bei Saturn 32 Grade beträgt. Eben so ist auch die Neigung der Jupiters-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

bahn gegen die Ekliptik immer zwischen den Gränzen 1°17′ und 2°3′, und die der Saturnsbahn zwischen 0°47′ und 2°33′ enthalten, aber die Perioden, in welchen diese Größen von einer Gränze zur andern übergehen, schließen eine große Anzahl von Jahrhunderten, nahe 25000 Jahre, in sich, und beide werden erst von unsern spätern Nachkommen mit der nöthigen Schärfe bestimmt werden können.

§. 95. (Säculäre Störungen der Apsidenlinie.) Nachdem wir so die Aenderungen beider Elemente, durch welche die Lage der Planetenbahnen im Weltraume bestimmt wird, kennen gelernt haben, wollen wir nun auch diejenigen Störungen betrachten, welche die Excentricitäten, die Lage der großen Axen der Ellipsen, und endlich die Größe dieser Axen selbst erleiden.

Die Aenderung der Lage der großen Axen oder der Länge der Apsiden hat das Eigenthümliche, daß sie, und zwar sie allein, nicht in bestimmte Gränzen eingeschlossen ist, zwischen welchen sie periodisch auf und nieder gehen, sondern daß sie mit der Zeit immerwährend nach derselben Seite fortschreiten und endlich die ganze Peripherie des Kreises, oder volle 360 Grade zurücklegen. Die folgende Tafel gibt die tropische säculäre Bewegung des Periheliums der älteren Planeten, die bei allen direct oder von West nach Ost gerichtet ist.

Merkur . .	5604.7
Venus . . .	4753.3
Erde . . .	6200.9
Mars . . .	6603.6
Jupiter . .	5685.0
Saturn . .	6958.2
Uranus . .	5260.5.

Subtrahirt man von diesen Zahlen die säculäre Präcession 5021.1″, so erhält man die eigentliche oder siderische Bewegung der Apsiden in hundert Jahren, die also bei Merkur 583.6′, und bei der Erde 1179.8″ beträgt, und die ebenfalls bei allen Planeten, Venus allein ausgenommen, direct ist. Nach dieser Tafel fiel das Perihelium der Erdbahn nahe um das Jahr 4100 vor Christi Geburt mit dem Frühlings-Nachtgleichenpunkte zusammen, und es ist immer merkwürdig, daß die meisten Chronologen die Entstehung der Erde in dieselbe Zeit gesetzt haben. Um das Jahr 1250 nach Christus machte die große Axe der Erdbahn mit der Linie der Nachtgleichen einen rechten Winkel, und im Anfange des 19ten Jahrhunderts fiel das Perihelium der Erdbahn nahe mit der Linie des Wintersolstitiums zusammen. Die näheren Folgen dieser Bewegung der Apsidenlinie wurde schon oben (I. §. 152) angeführt. Hier wollen wir nur noch bemerken, daß die Lage der großen Axe einer Planetenbahn, wenigstens so lange die Excentricität derselben nur gering ist, weder auf ihren eigenen, noch auf die anderen Planeten irgend einen wesentlichen Einfluß äußern kann, und daß es daher im Allgemeinen gleichgültig ist, nach welchem Punkte des Himmels dieselbe gerichtet ist. Dieß ist wahrscheinlich auch die Ursache, warum die Bewegung derselben in keine Gränzen eingeschlossen ist, sondern sich mit der Zeit über alle Punkte ihres Umkreises verbreitet.

§. 96. (Säculäre Störung der Excentricität.) Nicht so mag es sich aber mit der Größe der Excentricität dieser elliptischen Bahnen verhalten, da von dieser die mittlere Temperatur der Oberfläche der Planeten, und die Größe der Variation der Jahreszeiten abhängt. Man kann durch eine einfache Rechnung zeigen, daß der mittlere Betrag der Ex-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

wärmung und Erleuchtung, die ein Planet von der Sonne erhält, wenn die große Axe der Bahn dieselbe bleibt, sich wie die kleine Axe dieser Bahn verhält. So wie diese letzte sich ändert, ändert sich auch die Excentricität, und also auch die Temperatur auf der Oberfläche des Planeten.

Bei der Erde z. B. beträgt die Aenderung der Distanz derselben von der Sonne nahe den 30sten Theil ihrer mittleren Entfernung, und die erwärmende Kraft der Sonne im Winter und Sommer wird demnach auf das Doppelte oder auf den 15ten Theil des Ganzen steigen. Wenn daher die Excentricität der Bahn der Erde oder die eines andern Planeten einmal sehr groß werden könnte, so würde dadurch der Unterschied der beiden jährlichen Extreme der Temperatur ebenfalls sehr beträchtlich, und endlich dem Pflanzen- und Thier-Reiche schädlich werden können. Jetzt nämlich hängt die Verschiedenheit der Temperatur unserer Jahreszeiten beinahe ganz nur von der schiefen Stellung der Erdaxe gegen die Ekliptik ab, nicht aber von der Entfernung der Sonne, die sogar in unserem Winter kleiner ist, als im Sommer. Wenn aber die Excentricität der Erdbahn größer und z. B. die Sonne zu einer Zeit zwei- oder dreimal weiter von uns wäre, als zu einer anderen, so würde die große Verschiedenheit der Entfernung der Sonne einen sehr merklichen Einfluß auf unsere Temperatur äußern. Dann würde nämlich, wegen der Bewegung des Periheliums, die Zeit der Sonnennähe oder die Zeit der größten Hitze, nach einander alle Monate des Jahres durchlaufen, und diejenigen beiden Haupturſachen der Temperatur, die schiefe Stellung der Erdaxe und die Verschiedenheit der Entfernung der Sonne von der Erde, würden sich zuweilen gegenseitig aufheben oder neutralisiren, zuweilen aber auch wieder mit einander verbinden und so die Hitze des Sommers, so wie die Kälte des Winters ganz unerträglich machen. Dieß ist aber nicht der Fall, und die Analyse zeigt, daß die Excentricitäten aller Planetenbahnen, so wie oben die Knoten und Neigungen, in Gränzen, und zwar in sehr enge Gränzen eingeschlossen sind, die sie nie übersteigen können. Die folgende Tafel zeigt diese Aenderungen der Excentricitäten in hundert Jahren für die älteren Planeten in unseren Zeiten:

Merkur . .	0.000004	zunehmend
Venus . .	0.000062	abnehmend
Erde . . .	0.000042	abnehmend
Mars . . .	0.000090	zunehmend
Jupiter . .	0.000159	zunehmend
Saturn . .	0.000312	abnehmend
Uranus . .	0.000025	abnehmend.

Man sieht daraus, daß die Excentricität bei Merkur, Mars und Jupiter wächst, während sie bei allen übrigen abnimmt, oder daß die Bahnen der drei ersten Planeten sich jetzt immer mehr von der Kreisgestalt entfernen, während die vier andern sich dieser Gestalt immer mehr nähern. Aber in der Folge der Jahrhunderte wird sich dieses Verhältniß ändern, und die ersten werden sich allmählig wieder zu Kreisen abrunden, während die andern sich davon entfernen, ohne doch je, weder in die Kreisform, noch in die einer stark abgeplatteten Ellipse überzugehen.

Die größten und kleinsten Werthe der Excentricität der Erdbahn haben wir bereits oben angegeben. Sie ist immer zwischen den beiden Gränzen von 0.00393 und 0.01960 enthalten, und sie legt den Weg zwischen ihnen erst in 48000 Jahren zurück. Wenn man eben so bloß die

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gegenseitige Wirkung der zwei größten Planeten unseres Sonnensystems betrachtet und den viel geringeren Einfluß der übrigen Planeten übergeht, so zeigt die Analyse, daß die Excentricität Jupiters zwischen den Gränzen 0.0604 und 0.0261, und die des Saturn zwischen 0.0841 und 0.0134 liegen, so daß die größte Excentricität des einen dieser Planeten immer mit der kleinsten des andern zu gleicher Zeit Statt hat, oder daß die eine wächst, während die andere abnimmt. Die Periode zwischen beiden Extremen beträgt bei beiden Planeten nahe 70000 Jahre. Um das Jahr 16000 vor Chr. G. war die Excentricität Jupiters am kleinsten, oder seine Bahn kam damals einem Kreise am nächsten, während zu derselben Zeit die Bahn des Saturn am meisten von der Kreisform entfernt war. Seit jener Epoche wächst die Excentricität Jupiters, und nimmt die von Saturn ab, bis gegen das Jahr 54000 nach Chr. jene am größten, und diese am kleinsten seyn wird. Aehnliche Erscheinungen zeigen auch die anderen Planeten, aber es ist schwer, sie jetzt schon mit Genauigkeit zu bestimmen, weil die Massen der Planeten noch nicht mit hinlänglicher Schärfe bekannt sind. Wenn aber einmal unsere späten Nachkommen die von den gegenwärtigen sehr verschiedenen säculären Störungen ihrer Zeit beobachtet haben werden, so werden sie zugleich das Mittel besitzen, aus diesen Differenzen der Störungen jene Massen selbst mit der größten Präcision abzuleiten.

Dadurch werden sie sich in den Stand gesetzt sehen, auf die Veränderungen zurückzugehen, welche unser Planetensystem vor vielen Jahrtausenden erlitten hat, so wie sie zugleich mit Sicherheit diejenigen bestimmen werden, welche erst die Folge der künftigen Zeiten herauf führen wird, so daß dann der Geometer durch die Hülfe seiner Analyse alle vergangenen und künftigen Phänomene dieses Systems gleichsam mit einem einzigen Blicke zu übersehen im Stande seyn wird.

§. 97. (Säculäre Störungen als Mittel zur Bestimmung der Massen.) Außer den Mitteln nämlich, die wir oben (Kap. III.) zur Bestimmung der Massen der Planeten angegeben haben, und die sich nur auf die von Satelliten begleiteten Planeten beziehen, geben diese Störungen, welche die Planeten überhaupt von einander erleiden, noch einen andern, und zwar oft sehr sichern Weg, die Massen derselben zu bestimmen. Nach dem Gesetze der allgemeinen Schwere (§. 43) verhält sich die Anziehung jedes Körpers wie seine Masse, dividirt durch das Quadrat der Entfernung desselben von dem angezogenen Körper. Wie mannigfaltig daher auch diese Attraction eines Planeten auf den andern durch äußere Umstände modificirt werden mag, immer wird die eigentliche Größe dieser Anziehung von der Masse des anziehenden Planeten abhängen, oder immer wird der analytische Ausdruck der Störung, welche ein Planet auf den andern ausübt, die Masse des störenden Planeten als Factor enthalten. Wird nun in der Zeitfolge die wahre Größe dieser Störung durch unmittelbare Beobachtung genau bestimmt, so wird man diesen numerischen Ausdruck jenem analytischen Ausdrucke derselben gleich setzen, und dadurch eine sogenannte Gleichung erhalten, in welcher man die Masse des störenden Planeten als die einzige unbekannte Größe anzusehen, und daher dieselbe durch Hülfe dieser Gleichung zu bestimmen hat. Dieses Verfahren läßt sich, wie man sieht, nicht nur bei den säculären, sondern auch bei den periodischen Störungen der Planeten immer dort mit Nutzen anwenden, wo diese Störungen selbst groß genug sind, um durch die Beobachtungen mit Schärfe aufgefaßt und von anderen unterschieden zu werden. Auf diese Weise hat man in den neueren Zeiten die Masse Jupiters durch die Störungen, welche er auf die vier neuen Pla-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

neten ausübt, mit einer viel größeren Schärfe bestimmt, als es früher durch die Beobachtung der vier Satelliten dieses Planeten möglich war, eine Verbesserung von großer Wichtigkeit, da Jupiter unter allen Planeten bei weitem die größte Masse hat, und daher auch auf das ganze Planetensystem den bedeutendsten Einfluß äußert. Künftig wird es daher besser seyn, die Beobachtungen dieser Satelliten nnd der Störungen, die sie von der Sonne erleiden, zur Bestimmung ihrer eigenen Massen zu benützen, wie dieß Laplace mit den vier Monden Jupiters schon gethan hat. Er hat auf diesem Wege die Massen dieser Satelliten, wie folgt, gefunden.

Masse	Jupiter's	. . .	1
»	des	I. Satelliten	0.000017
»	des	II. »	0.000023
»	des	III. »	0.000088
»	des	IV. »	0.000043.

Die Bewegungen der sieben Monde Saturns und noch mehr die der sechs des Uranus, sind uns noch zu wenig bekannt, um sie zu demselben Zwecke anwenden zu können, und zwar, weil sie selbst, besonders die letzten, sehr lichtschwach und demnach nur mit den vorzüglichsten Telescopen zu sehen sind. Es ist überraschend diese kleinen Körper, diese Atome des Himmels in derselben Waage abwägen zu sehen, in welcher wir oben (Kap. III.) das Gewicht der ungeheueren Masse der Sonne bestimmt haben, deren Masse die des kleinsten dieser Satelliten wenigstens fünfzig Millionenmal übertrifft.

Bemerken wir noch zum Schlusse dieses Gegenstandes, daß die Bewegungen, welche durch die gegenseitigen Störungen der Planeten in den Excentricitäten ihrer Bahnen hervorgebracht werden, zu den langsamsten gehören, die wir in der Natur finden. Die Excentricität der Merkursbahn ändert sich in hundert Jahren erst um den 0.000004sten Theil ihrer Halbaxe, d. h. um nahe $31^3/_{10}$ Meilen, so daß also diese Excentricität in einem Tage nur um nahe 20 Fuß zunimmt, während Merkur selbst in dieser Bahn im Mittel täglich sich um 576000 Meilen bewegt, und während das Licht in derselben Zeit 3620 Millionen Meilen zurücklegt, also in der Zeit von einer einzigen Secunde die sogenannte Reise um die Welt, oder den Weg von 5400 Meilen, achtmal gemacht hat, so daß also das Licht nahe vier Billionenmal geschwinder ist, als die Veränderung der Excentricität der Merkursbahn.

Kapitel VIII.

Gestalt und Atmosphären der Planeten.

§. 98. (Anfängliche runde Gestalt der Körper.) Nachdem wir in den beiden vorhergehenden Kapiteln die Wirkungen der gegenseitigen Anziehung der Planeten untersucht haben, welche sie auf die Bahnen und auf

den Ort dieser Körper in ihren Bahnen äußert, wollen wir nun noch kurz den Einfluß betrachten, welchen dasselbe Gesetz der allgemeinen Attraction auf die Gestalt der Planeten sowohl, als auch auf die ihrer atmosphärischen Umgebungen ausübt.

Es ist sehr wahrscheinlich, daß diese Körper nicht auf einmal, sondern daß sie erst nach und nach aus der primitiven Materie, aus dem Urstoffe des Weltalls entstanden sind, in welchem einzelne vorherrschende Punkte die sie zunächst umgebende, anfangs wahrscheinlich noch flüssige Masse anzogen, und in mehr oder weniger regelmäßigen Schichten um sich ablagerten. Wo immer jene Materie nahe gleichförmig vertheilt war, und wo diese Ablagerung in einer bestimmten Ordnung vor sich ging, mußte sich auch der so entstehende und allmählig fortbildende Körper zu einer regelmäßigen Form, im Allgemeinen zur Kugelform ausbilden, deren Dichtigkeit gegen den Mittelpunkt derselben immer größer wurde, weil hier die Kraft der Anziehung des Mittelpunktes sowohl, als auch der Druck der weiter entfernten Schichten größer war, als in bedeutenden Distanzen von dem Mittelpunkte. Wir sehen in der That diese Art der Entstehung und Fortbildung bei allen flüssigen Körpern der Erde, und jeder Regentropfen kann uns als Beispiel für jene großen Tropfen des Himmels dienen.

§. 99. (Abplattung durch Rotation.) Da aber diese Ablagerungen ohne Zweifel nicht in ganz ungestörter Ordnung vor sich gehen, und da während der allmähligen Ausbildung des neuen Weltkörpers, auch andere, ihm benachbarte, auf ihn einwirken konnten, so ist es auch nicht wahrscheinlich, daß diese Kugelgestalt derselben ganz rein erhalten werden konnte. Der anfangs noch weiche Planet, dessen feste und flüssige Theile noch unter einander gemischt waren, und der durch die Anziehung der benachbarten Körper in eine Bewegung um sich selbst, in Rotation gesetzt wurde, mußte durch die Centrifugalkraft (I. §. 21) dieser Rotation an seinem Aequator sich erheben und die Gestalt einer an ihren beiden Polen abgeplatteten Kugel erhalten. Die Beobachtungen zeigen uns in der That diese Gestalt bei allen Himmelskörpern, die uns nahe genug sind, um ihre Abplattung noch zu unterscheiden.

Man kann durch Rechnung streng beweisen, daß eine Masse von durchaus gleicher Dichte durch die Rotation die Gestalt eines Sphäroids, d. h. eines Körpers erhalten müsse, der durch die Umdrehung einer Ellipse um ihre kleine Axe entstanden ist. Wendet man diese Rechnungen unmittelbar auf unsere Erde an, so findet man ihre Abplattung nahe gleich $^1/_{580}$. Allein nach den Beobachtungen ist sie gleich $^1/_{300}$, also nahe doppelt so groß, zum Zeichen, daß die Voraussetzung einer durchaus gleichen Dichte der Erdmasse unzulässig ist.

§. 100. (Rücksicht auf die verschiedene Dichtigkeit der Erdmasse.) In der That ist es auch nebst den so eben angeführten, auch noch aus anderen Gründen sehr wahrscheinlich, daß die Dichte der Erde gegen ihren Mittelpunkt zunimmt. Schon die zur Bewohnbarkeit der Erde für Thiere und Pflanzen so nothwendige Stabilität der Meere fordert es, daß die mittlere Dichte der festen Erde viel größer sey, als die Dichte des Wassers, weil sonst die von Winden bewegten Wellen des Oceans immerwährend aus ihren Gestaden treten, und das Festland überschwemmen würden, wie dieß z. B. der Fall wäre, wenn unsere großen Meeresbeken Quecksilber statt Wasser enthielten. — Bei einer nicht homogenen Erdmasse aber hat die theoretische Bestimmung ihrer Gestalt große Schwierigkeiten. Doch ist man endlich dahin gekommen, zu zeigen, daß auch in diesem Falle noch die Erde eine elliptische Gestalt haben müsse, wenn

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

sie mit sich selbst im Gleichgewichte verbleiben soll. Dieselbe Analyse hat uns zugleich gelehrt, daß die beiden Bewegungen der Erdaxe, die wir oben (I. Kap. 12) unter dem Namen der Präcession und Nutation kennen gelernt haben, eine bloße Folge der Anziehung des Mondes und der Sonne auf die abgeplattete Erde sind. Die nähere Angabe der hieher gehörenden Berechnungen würde aber dem Zwecke dieser Blätter unangemessen seyn.

§. 101. (Entfernung des ursprünglichen Stoßes von dem Mittelpunkte des Planeten.) Es wurde bereits oben (I. Kap. 2 und 4) gezeigt, daß sich die jährliche Bewegung der Erde um die Sonne sowohl, als auch zugleich die tägliche Rotation um ihre Axe aus einem anfänglichen Stoße oder Zuge erklären läßt, dessen Richtung weder durch den Mittelpunkt der Sonne, noch auch durch den der Erde gegangen ist. Wir haben gesehen (§. 64), auf welche Weise durch die Größe eines solchen ursprünglichen Stoßes die Gestalt des Kegelschnittes, in welchem der Planet um die Sonne gebt, näher bestimmt wird. Ganz eben so läßt sich nun auch durch eine sehr einfache Rechnung derjenige Punkt des Halbmessers des Planeten bestimmen, auf welchen jener Stoß gerichtet seyn mußte, damit der Körper eben diese und keine andere Rotation um seine Axe erhalte. Bei der Erde z. B. war dieser Punkt nahe 0.006 eines Erdhalbmessers, also nur sehr wenig von dem Mittelpunkte der Erde entfernt, daher auch die Abplattung der Erde nicht groß, die Umdrehungszeit derselben im Gegentheile noch bedeutend groß ist.

Bei Jupiter aber betrug diese Entfernung nahe 0.38 seines Halbmessers, eine viel größere Distanz, als bei der Erde. Daher auch die Abplattung dieses Planeten $^1/_{14}$ oder sehr groß, und die Umdrehungszeit (nahe 10 unserer Stunden) so ungemein klein ist. Bei dem Monde endlich ist diese Entfernung nur 0.002 seines Halbmessers, also noch viel kleiner, als bei der Erde, daher auch seine Rotation, die bekanntlich seiner Revolution gleich ist, volle $27^3/_{10}$ Tage dauert.

§. 102. (Mittelpunkt der freien Rotation der Planeten.) Sowohl die jährlichen Bewegungen der Planeten um die Sonne, als auch die täglichen Rotationen derselben um ihre Axe, gehen alle in derselben Richtung, von West gegen Ost, vor sich. Und dasselbe gilt auch von den Satelliten dieser Planeten. Es ist dieß eine Eigenheit unseres Sonnensystems, auf die wir später wieder zurückkommen werden, und die, wie es scheint, ganz vorzüglich zur Erhaltung desselben beiträgt. Diesem gemäß, hat also jeder Punkt derjenigen Hälfte der Planeten, die eben der Sonne zugekehrt ist, eine doppelte und in ihrer Richtung entgegengesetzte Bewegung, nämlich erstens die um die Sonne, die überhaupt allen Punkten des Planeten gemein ist und von West nach Ost geht, und zweitens die tägliche um die Axe des Planeten, die in dieser Hälfte von Ost nach West geht, also mit der vorhergehenden eine entgegengesetzte Richtung hat. Diese letzte ist, da sie aus der Rotation entspringt, desto größer, je weiter der Punkt, den man eben betrachtet, von dem Mittelpunkte des Planeten entfernt ist, welcher letzte gar keine tägliche Bewegung hat. Es wird daher in dieser der Sonne zugekehrten Hälfte des Planeten auch irgend einen Punkt geben müssen, dessen jährliche, östliche Bewegung genau gleich der täglichen, westlichen ist, und der daher, während der doppelten Bewegung des Planeten, als vollkommen ruhend betrachtet werden kann. Man nennt in der Mechanik diesen Punkt den Mittelpunkt der freien Rotation, und man findet seine Entfernung von dem Mittelpunkte des Planeten, wenn man die Größe 0.4 durch die so eben betrachtete Entfernung des ursprünglichen

Stoßes dividirt. So hatten wir für die Erde die Entfernung des Stoßes gleich 0.006 gefunden, also ist auch die Distanz des ruhenden Punktes von dem Mittelpunkte der Erde gleich $^{0.4}/_{0.006}$ oder $66^{3}/_{5}$ Halbmessern der Erde, so daß also hier dieser Punkt weit außer die Erde, zwischen sie und die Sonne fällt. Bei Jupiter ist diese Distanz gleich 1.06, so daß also hier der Mittelpunkt der freien Rotation sehr nahe an der Oberfläche des Planeten liegt. Bei dem Monde endlich ist sie gleich 200 Mondhalbmesser, oder nahe 60 Erdhalbmesser, d. h. sehr nahe gleich der mittleren Entfernung des Mondes von der Erde. Für den Mond fällt also jener Punkt sehr nahe in den Mittelpunkt der Erde, ein merkwürdiges Zusammentreffen, das vielleicht noch einmal nähere Aufschlüsse über das geheimnißvolle Band geben wird, welches den Mond mit der Erde verbindet.

§. 103. (Alter der Erde.) Da der ursprüngliche Stoß, von welchem wir oben gesprochen haben, die Bewegung der Erde um die Sonne in der Ebene der Ekliptik erzeugt hat, so muß die Richtung dieses Stoßes mit der Ekliptik selbst parallel, und zugleich nahe senkrecht auf die ursprüngliche Entfernung der Erde von der Sonne gewesen seyn, weil die elliptische Bahn derselben eine so geringe Excentricität hat, oder einer kreisförmigen Bahn so ähnlich ist, in welcher bekanntlich der Halbmesser auf der Tangente des Kreises immer senkrecht steht. Da aber auch derselbe anfängliche Stoß die Ursache der täglichen Rotation der Erde um ihre Axe seyn soll, und da diese Rotation in der Ebene des Aequators vor sich geht, so muß die Richtung desselben aus derselben Ursache auch mit der Ebene des Aequators parallel gewesen seyn. Daraus kann man den Schluß ableiten, daß die Erde zur Zeit ihrer Entstehung in einer ihrer zwei Solstitien gewesen seyn muß, weil nur dort die Ekliptik dem Aequator parallel liegt, und daß sie zugleich in einer ihrer beiden Apsiden gewesen seyn muß, weil nur in diesen beiden Punkten die Bahn der Erde auf ihrer Entfernung von der Sonne senkrecht steht. Die Erde scheint daher in der Nähe einer der beiden Sonnenwenden, und zwar zu einer Zeit entstanden zu seyn, wo die Apsiden der Erdbahn mit diesen Sonnenwenden zusammenfielen. Nimmt man an, daß die Länge des Periheliums der Erde im Jahre 1800 unserer Zeitrechnung 99° 30′, und daß die tropische Bewegung desselben in 100 Jahren 1°.722 beträgt, so fiel die große Axe der Erdbahn oder die Apsidenlinie derselben mit einer der beiden Sonnenwenden zusammen in den Jahren 9204 oder 19656 oder 30108 u. s. w. vor dem Anfange unserer Zeitrechnung. Ueberhaupt aber hat man folgende Lagen des Periheliums der Erdbahn für verschiedene Jahrhunderte (vergl. I. §. 153):

Jahr.		Coincidenz des Perihels der Erdbahn.
19656	vor Chr. G. . .	mit dem Sommersolstitium.
14430	» » » . .	mit dem Herbstpunkt.
9204	» » » . .	mit dem Wintersolstitium.
3978	» » » . .	mit dem Frühlingspunkt.
1248	nach Chr. G. . .	mit dem Sommersolstitium.
6474	» » » . .	mit dem Herbstpunkt.
11700	» » » . .	mit dem Wintersolstitium u. s. w.

Diese Tafel mag unseren allzeitfertigen Geologen Stoff zu neuen Hypothesen geben; wir wollen uns begnügen, sie angezeigt zu haben. Auch mag es dem bloßen Rechner erlaubt seyn, solchen Spekulationen einen Augenblick nachzuhängen, ohne jedoch einen größeren Werth darauf zu legen, als sie in der That verdienen. Uebrigens ist das hohe Alter

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

unserer Erde wohl keinem bedeutenden Zweifel unterworfen, vielmehr vereinigen sich mehrere Erscheinungen für dasselbe. Wir haben bereits oben (I. Kap. 12) von den Thierkreisen zu Esne und Denderah in Ober-Aegypten gesprochen. Aber noch ältere Denkmäler scheint Indien aufzuweisen, welches Land, nach John Call's neuesten Untersuchungen, vom Ganges bis zum Cap Comorin viele Spuren einer sehr frühen Cultur enthält, da diese Gegenden ganz mit Pallästen, Tempeln und den Ruinen derselben bedeckt sind, deren Bauart von einer bereits sehr weit vorgerückten Kunst zeugt. In einem dieser Tempel fand er einen Thierkreis, der das Sonnensolstitium in dem Sternbilde der Jungfrau zeigt, wo dasselbe am Himmel bereits vor 10000 Jahren gestanden hat. Eben so fand A. Humboldt in Amerika auf dem Felsen im Norden der Ruinen von Canur, unter dem siebenten Grad der nördlichen Breite, Zeichnungen und Inschriften, die offenbar das Werk eines sehr gebildeten Volkes gewesen seyn müssen, das aber vor undenklichen Zeiten daselbst gelebt haben mag, da die gegenwärtigen Bewohner dieser Gegenden weder eine Erinnerung an sie aufbehalten haben, noch auch über die Bedeutung dieser Inschriften etwas mittheilen konnten. Nach Pallas findet man in Sibirien nordöstlich vom Baikalsee ähnliche, viele Meilen weit fortlaufende, mit Charakteren und Zeichnungen bedeckte Felsen. Dieses Land enthält in seinem Boden mehr fossiles Elfenbein, als ganz Indien jetzt an lebenden Elephanten hat. Wenn Chevalier's Conjecturen gegründet sind, so müssen die berühmten Eisenminen der Insel Elba und Korsika schon seit vierzig tausend Jahren bebaut worden seyn.

Wie sich aber auch diese und andere Erscheinungen verhalten mögen, die man für das hohe Alter der Erde anführen kann, immer wird man mit dem folgenden Ausspruche eines unserer ersten und ausgezeichnetsten Naturforscher übereinstimmen müssen: Nous voyons l'homme vivre et mourir sur les ruines d'un vaste édifice reconstruit, renversé et reconstruit encore, sans que l'imagination même la plus active puisse atteindre et fixer les premiers bouleversemens.

§. 104. (Höhe der Atmosphäre.) Unsere Erde ist bekanntlich von einer luftförmigen Hülle, von einer Atmosphäre umgeben, deren Daseyn die Beobachtungen auch schon bei Venus, Mars und Jupiter nachgewiesen haben, und die vielleicht bei keinem Himmelskörper fehlt. Es scheint, daß die Elasticität derselben, die an der Oberfläche der Erde dem Drucke der auf ihr lastenden obern Schichten proportional ist, in größeren Höhen viel schneller, als dieser Druck abnimmt, und daß dadurch eine Verdünnung der höheren Luft entsteht, bei welcher sie ganz ohne Elasticität ist, und wo sie daher ihre Gränze haben muß. Diejenige Höhe der Luft, wo sie noch Kraft genug hat, die Sonnenstrahlen zurückzuwerfen, hat man, aus den Erscheinungen der Morgen- und Abend-Dämmerung, zu zehn d. Meilen berechnet. Allein die Sternschnuppen und andere meteorische Phänomene scheinen nach den bisherigen Beobachtungen selbst eine Höhe von dreißig und mehr Meilen über der Oberfläche der Erde zu erreichen, und diejenigen Gegenden der Atmosphäre, in welcher noch Wärme, Licht und Electricität thätig ist, liegen wahrscheinlich in einer noch viel größeren Höhe.

Die eigentliche letzte Gränze der Atmosphäre muß ohne Zweifel dort angenommen werden, wo die Centrifugalkraft der mit der Erde zugleich rotirenden Luft mit der Schwere der Erde gleich groß geworden ist, da sich die Luft jenseits dieser Gränze, wo die Centrifugalkraft überwiegt, von der Erde entfernen müßte und nicht mehr bei ihr bleiben könnte. Wegen dieser Centrifugalkraft wird also auch die Atmosphäre, so wie die

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Erde selbst, an ihren Polen abgeplattet seyn und unter dem Aequator eine erhabene Gestalt annehmen. Wegen der ungemeinen Beweglichkeit ihrer Elemente und der großen Entfernung derselben von der Erde wird diese Abplattung sehr bedeutend seyn können. Die Rechnung zeigt aber, daß diese Abplattung ihre Gränzen habe, die sie nicht übersteigen kann, und daß, bei der größtmöglichen Abplattung, die kleine Axe des Luftsphäroids zur großen sich wie die Zahlen 2 zu 3 verhalten müsse.

§. 105. (Zodiakallicht.) Man hat das Zodiakallicht als die Atmosphäre der Sonne ansehen wollen. Dieses der Milchstraße ähnliche, aber hellere Licht erstreckt sich in der Gestalt eines Kegels, dessen Basis die Sonne ist, und dessen Axe in der Ekliptik liegt, selbst noch weit über die Erdbahn heraus. Man sieht es am deutlichsten, besonders in den Tropenländern, in den Monaten April und Mai gleich nach Sonnenuntergang, und im September und October kurz vor Sonnenaufgang. Es hat die Gestalt einer schmalen Linie, deren große Axe veränderlich scheint, aber wenigstens fünfmal größer ist, als die kleine. Schon dieses Verhältniß der beiden Axen zeigt aber, daß das Zodiakallicht keine Atmosphäre der Sonne seyn kann, bei welcher, nach dem Vorhergehenden, dieses Verhältniß, selbst wenn es am größten ist, nur gleich 3 zu 2 seyn kann. Auch läßt sich durch Rechnung zeigen, daß die Atmosphäre der Sonne, wenn sie existirt, noch lange nicht bis zur Bahn des Merkurs sich erstrecken kann, da doch das Zodiakallicht noch über die Erdbahn herausgeht. Vielleicht besteht dasselbe bloß in dem durch die Nähe der Sonne verdichteten Aether, an dessen Daseyn im Weltraume man jetzt nicht wohl mehr zweifeln kann; vielleicht ist dieses Licht ein Ausfluß, eine Sammlung von Kometenmaterie, die bei dem Durchgange dieser Himmelskörper durch ihr Perihelium abgesetzt wird und sich um die Sonne lagert; vielleicht ist es ein eigenthümlicher, schwacher Nebel, in welchen die Sonne eingehüllt ist, so daß dann dieselbe zu den Nebelsternen gezählt werden müßte. Immer scheint es, daß wir die nähere Untersuchung dieses räthselhaften Gegenstandes unsern Nachkommen überlassen müssen.

Kapitel IX.

Ebbe und Fluth des Meeres und der Atmosphäre der Erde.

§. 106. (Imposantes Schauspiel der Ebbe und Fluth.) Obschon das die Erde bedeckende Meer schon seit Jahrtausenden mit ihr und mit sich selbst im Gleichgewichte zu schweben scheint und die Gestade nicht mehr

verläßt, die es in der Vorzeit so oft durchbrochen hat, um das Festland mit seinen Fluthen zu bedecken, so sieht man doch diese gewaltige Wassermasse in regelmäßiger Oscillation sich täglich auf und nieder bewegen und sich von dem Mittelpunkte der Erde erheben, um bald darauf wieder zu ihm zurücksinken. Es ist in der That ein erhabenes Schauspiel für den stillen Zuschauer am Ufer des Meeres, zu sehen, wie die Fluthen desselben hin und wieder wogen und sich ungestüm an den sie einschließenden Gestaden brechen, die sie wechselweise zu erstürmen und wieder zu verlassen streben. Daß der Mond in jedem Monate um die Erde, daß die Erde in jedem Jahre um die Sonne, und in jedem Tage um sich selbst geht — dieß sind allerdings große und wunderbare Erscheinungen. Aber wir fühlen sie nicht und sind bereits längst daran gewöhnt. Nur das feinere Auge des Geometers und des Astronomen lehrte uns diese Bewegungen kennen, die für den größten Theil der übrigen Menschen beinahe ganz unbemerkt vorüber gehen. Aber dieselben Kräfte, welche diese Phänomene erzeugen, sind auch zugleich die Ursache jenes periodischen und selbst den gleichgültigsten Zuschauer ergreifenden Auf- und Niederwogens des Weltmeeres, in welchem die Natur, die sonst ihre Geheimnisse der allgemeinen Schwere so sorgfältig vor unseren Blicken zu verbergen scheint, uns dieselben mit großen unverkennbaren und selbst den rohesten Wilden verständlichen Charakteren geoffenbart hat.

§. 107. (Erscheinung der Ebbe und Fluth im Allgemeinen.) Zweimal an jedem Tage erheben und senken sich die Gewässer des Oceans in immer wieder kommender regelmäßiger Folge. Die ersten sechs Stunden des Tages sind sie im Steigen begriffen; sie überschwemmen ihre flachen Gestade, suchen die steilen Küsten zu erstürmen und dringen in die Mündungen der Flüsse ein, um sie meilenweit vor ihren Ufern anzuschwellen. Dieß ist die Zeit der Fluth (flux). Wenn das Wasser seine größte Höhe erreicht hat, verweilt es daselbst als Hochmeer (haute mer). Bald darauf sinkt es eben so regelmäßig wieder zu seiner ersten Tiefe herab, die Zeit der Ebbe (reflux), die ebenfalls nahe sechs Stunden dauert, bis es seine größte Tiefe (basse mer) erreicht hat, wo es einige Zeit verweilt, um dann wieder zu seiner früheren Höhe zu steigen und in derselben Ordnung dieselben Veränderungen regelmäßig zu durchlaufen.

Diese Bewegungen des Weltmeeres werden allerdings durch die Wirkung der Winde vermehrt, aber sie entspringen nicht aus ihnen, da man die Ebbe und Fluth auch bei dem stillsten Wetter und dem reinsten Himmel immer in derselben Ordnung abwechseln sieht. Diese Ordnung ist so groß, daß man die verschiedenen Momente dieser Erscheinungen für verschiedene Orte selbst auf ganze Jahre mit derselben Sicherheit voraussagen kann, mit welcher die Astronomen die Finsternisse der Sonne und des Mondes bestimmen.

§. 108. (Perioden der Ebbe und Fluth.) Diese Regelmäßigkeit des Phänomens setzt eine eben so regelmäßige und dauernde Ursache voraus, welche jene Wirkungen hervorbringt. Um diese Ursache zu entdecken, muß man diese Erscheinungen selbst durch eine längere Zeit aufmerksam beobachten und vor Allem die Perioden bestimmen, in welchem sie wiederkehren. Man fand auf diese Art, daß diese Perioden mit dem synodischen Mondmonat (I. §. 98 und 162), das heißt, mit der Zeit des Neu- und Vollmondes in auffallendem Zusammenhange stehen, und daß sie besonders von den Stellungen des Mondes gegen die Erde abhängen. Zwar sind diese Perioden nicht immer gleich unter einander, aber wenn man aus mehreren auf einander folgenden das Mittel nimmt, so erhält

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

man für die Dauer derselben 24 Stunden und 50 Minuten, in welchem Zeitraum immer zwei Ebben und eben so viele Fluthen sich ereignen. Dieß ist aber genau die Zeit, in welcher der Mond, für jeden Beobachter auf der Erde, vermöge der mittleren Bewegung dieses Satelliten, wieder zu seinem Meridian zurückkömmt, eine Zeit, die man den Mondtag nennen kann, so wie man die Zeit von 24 Stunden zwischen zwei nächsten Culminationen der Sonne einen Sonnentag zu nennen pflegt (I. §. 155).

Wenn also für irgend einen Hafen heute das Hochmeer genau in den Mittag dieses Ortes fällt, oder um 12 Uhr Statt hat, so wird es am ersten folgenden Tag um 12 Uhr 50 Minuten Abends, am zweiten um 1 Uhr 40 Minuten, am dritten um 2 Uhr 30 Minuten eintreten, so daß es täglich um 50 Minuten später kommt, und zwischen je zwei solchen Abendfluthen wird immer auch eine Morgenfluth in der Mitte liegen, von welcher die erste um 12 Uhr 25 Minuten Morgens, die am erstfolgenden Tag um 1 Uhr 15 Minuten, am zweiten um 2 Uhr 10 Minuten, am dritten um 3 Uhr 0 Minuten Morgens eintritt u. s. w. Zwar sind diese Intervalle, wie schon gesagt, zuweilen einige Minuten größer oder kleiner, als sie angegeben wurden, aber eben diese Ungleichheiten sind nur wieder ein neuer Beweis, daß die ganze Erscheinung von dem Monde kommt, da auch dieser, wie wir oben (Kap. VI.) gesehen haben, seine Geschwindigkeit sehr stark ändert, und da man, wenn man die Unregelmäßigkeit beider aufmerksam betrachtet, eine sehr genaue Uebereinstimmung zwischen beiden findet.

§. 109. (Ursachen der Ebbe und Fluth.) Doch ist der Mond, zwar die wichtigste, aber keineswegs die einzige Ursache dieser Erscheinungen. Man darf sie in der That nur durch einige Monate beobachtet haben, um zu bemerken, daß die Fluthen, welche zur Zeit des Neu- oder Vollmondes eintreten, durchaus viel größer, und die der Quadraturen im Gegentheile beträchtlich kleiner sind, als die mittleren Fluthen. Wenn man diese Beobachtungen noch weiter fortsetzt, so findet man, daß die Fluth und eben so die Ebbe immer größer wird, wenn der Mond oder die Sonne der Erde näher kömmt, und daß selbst die Declinationen dieser beiden Gestirne noch einen Einfluß auf diese Erscheinungen äußern, wobei jedoch der des Mondes immer als der überwiegende erkannt wird.

§. 110. (Lokalverhältnisse, welche die Ebbe und Fluth bedingen.) Alles Vorhergehende gilt eigentlich nur in seiner ganzen Stärke von großen freien Meeren, von dem eigentlichen Weltmeere. In kleineren Seen, selbst in dem kaspischen Meere, und überhaupt nahe am Ufer oder in engen Häfen werden die Gewässer in ihrem regelmäßigen Laufe aufgehalten und gestört, und der Moment, selbst die Größe des Hochmeeres, wird dadurch oft bedeutend modificirt. An den Küsten von Frankreich sind diese Zeiten, oft selbst schon für zwei benachbarte Häfen, sehr verschieden, obschon sie für einen und denselben Hafen eben so constant sind, wie auf der hohen See. In Dünkirchen z. B. tritt das Hochmeer erst zwölf Stunden nach der Culmination des Mondes ein, und in St. Malo (Breite 48° 39′) sechs Stunden später, während am Cap der guten Hoffnung die Fluth schon $1^1/_2$ Stunde nach der Culmination des Mondes ihre größte Höhe erreicht.

§. 111. (Hafenetablissement und Totalfluth.) Man pflegt die Zeit seit der Culmination des Mondes, wo das Hochmeer am Tage des Neumondes für jeden Hafen eintritt, das Etablissement du port (establishment of the port) zu nennen, und man geht von diesem Augenblicke aus,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

um alle folgenden Momente des Hochmeeres für diesen Monat durch Rechnung zu bestimmen. Dieses Hafenetablissement beträgt in

Hamburg . . .	5	St.	0	Min.	Gröningen . .	11	St.	15	Min.
Amsterdam . .	3	»	0	»	Berg=op=Zom .	3	»	0	»
Flissingen . .	1	»	0	»	Antwerpen . .	4	»	25	»
Ostende . . .	0	»	20	»	Dünkirchen . .	11	»	45	»
Calais . . .	11	»	40	»	Boulogne . . .	10	»	40	»
Dieppe . . .	10	»	30	»	Cherbourg . .	7	»	45	»
St. Malo . .	6	»	0	»	Brest	3	»	45	»
Lissabon . . .	4	»	0	»	Cadix	1	»	15	»
London . . .	2	»	45	»	Portsmouth . .	11	»	40	»
Plymouth . . .	6	»	5	»	Liverpool . . .	11	»	0	»
Dublin . . .	9	»	45	»	Bristol . . .	6	»	45	»

Es wäre sehr wünschenswerth, diese Angaben, so wie auch die Höhen der Fluthen für mehrere Orte mit großer Genauigkeit zu haben, da von ihnen die Berechnung der künftigen Fluthen abhängt, deren Kenntniß für die Bewohner der Meeresufer so nützlich und selbst nothwendig ist, um die Unfälle zu vermeiden, die so oft aus den Ueberschwemmungen dieser Ufer entstehen. Man nennt Totalfluth (marée totale) die halbe Summe zweier nächsten Hochmeere über dem Niveau der zwischen ihnen liegenden tiefsten Ebbe. Beträgt z. B. die Höhe der ersten Fluth 4.4 Toisen über dem Niveau der nächstfolgenden Ebbe, und die der zweiten Fluth 3.6 Toisen, so ist die Totalfluth 4 Toisen. Diese Totalfluth beträgt im Mittel aus sehr vielen Beobachtungen für Brest 3.21, für Cherbourg 2.70, für St. Malo 5.98 und für Dieppe 2.87 Meter. In den französischen Häfen ereignen sich die größten Fluthen immer ein und einen halben Tag nach dem Neumonde und Vollmonde, und diese größten Fluthen sind es, deren Kenntniß besonders interessant ist. Man findet sie aber auf folgende Art.

§. 112. (Berechnung der Ebbe und Fluth.) Laplace hat in seiner Méc. céleste Vol. II. p. 289 einen einfachen Ausdruck gegeben, durch welchen man die Höhe der Fluth für alle Neu= und Vollmondstage eines Jahres berechnen kann. Die Resultate dieser Berechnung werden von den Astronomen in Paris jährlich bekannt gemacht. So hat man z. B. für das Jahr 1834 gefunden:

	Fluthhöhe
10ten März Neumond um 11 Uhr Morgens .	0.84 Meter
25ten „ Vollmond um 6 Uhr Morgens .	1.13 Meter.

Um nun zu wissen, welches die größte Fluthhöhe für Brest im Monat März des Jahres 1834 seyn wird, multiplicirt man die größere der beiden vorhergehenden Zahlen, nämlich 1.13 durch die Totalfluth von Brest, d. h. durch 3.21, wodurch man für die gesuchte größte Fluth 3.63 Meter erhält, und da diese anderthalb Tage nach dem Vollmonde Statt haben soll, so fällt sie auf den 26ten März um 6 Uhr Abends. Für St. Malo findet man an demselben Tage die größte Fluth dieses Monats 6.76 Meter, oder 20.81 Par. Fuß.

§. 113. (Erklärung dieser Erscheinungen.) Da die Vorausbestimmungen dieser Erscheinungen so gut mit den Beobachtungen übereinstimmen, so kann man nicht zweifeln, daß auch die Voraussetzungen, auf welche sich jene Rechnungen gründen, der Wahrheit gemäß sind, daß nämlich diese Erscheinungen eine bloße Folge der Anziehung der Sonne, und besonders des Mondes auf unsere Meere sind.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Sey T (Fig. 92) der Mittelpunkt des Mondes und S der Mittelpunkt der Erde ABmn, also A der nächste, und B der von dem Monde weiteste Punkt der Oberfläche der Erde, wo der Beobachter A den Mond in seinem Zenith, und B in seinem Nadir (Einl. §. 8) hat. Da die Anziehung des Mondes, wie die aller Körper, sich wie verkehrt das Quadrat der Entfernung verhält, so ist diese Anziehung des Mondes für den Punkt A der Erde die größte, und für den Punkt B die kleinste von allen, während sie für die beiden zwischen jenen liegenden Punkte m und n nahe eben so groß, als für den Mittelpunkt S der Erde, also nahe gleich der mittleren Anziehung des Mondes ist. Da also der Punkt A stärker, als der Mittelpunkt S der Erde, von dem Monde angezogen wird, so wird auch dieser Punkt A sich dem Monde T zu nähern, oder von dem Punkte B zu entfernen suchen; der Punkt A und also auch das ihn zunächst umgebende Wasser wird daher steigen. Da aber eben so der Mittelpunkt S von dem Monde T mehr, als der entfernteste Punkt B angezogen wird, so wird sich auch der Punkt S dem Monde mehr nähern, als der Punkt B, oder mit andern Worten, der Punkt B und also auch das ihn umgebende Wasser wird hinter dem Mittelpunkte S der Erde zurückbleiben, sich von ihm entfernen und daher ebenfalls steigen. Dasselbe wird auch, obschon in geringerm Grade, für alle die Punkte der Erde gelten, die mit den beiden Punkten A und B in einerlei Meridian liegen, oder für die der Mond zu derselben Zeit culminirt. Die übrigen Punkte der Erde aber werden sich desto weniger von dem Mittelpunkte derselben entfernen, werden desto weniger steigen, je weiter sie von jenem Meridian entfernt sind. Die Punkte m und n, die den Mond in oder nahe bei ihrem Horizonte sehen, werden nur mit der mittleren Kraft des Mondes, mit derselben Kraft, wie der Mittelpunkt S angezogen und bleiben daher ungestört, oder vielmehr die diese beiden Punkte umgebenden Gewässer müssen an Höhe abnehmen oder sinken, weil ein großer Theil dazu verwendet worden ist, die Gewässer bei A und B zu erhöhen.

Man sieht daraus schon ohne alle Rechnung, daß zwischen je zwei nächsten Culminationen des Mondes auch eine doppelte Ebbe und Fluth Statt haben, und daß die Fluth für jeden Ort der Erde in die Zeit seiner oberen oder unteren Culmination (Einl. §. 26), die der Ebbe aber nahe sechs Stunden vor und nach derselben Statt haben muß.

Was so eben von dem Monde gesagt worden ist, gilt auch von der Sonne, nur wegen ihrer zu großen Entfernung in viel geringerem Maaße. Die Sonnenfluthen werden für jeden Ort in den Augenblick seines Mittags und seiner Mitternacht fallen, und wenn jeden Monat einmal die Culmination des Mondes in dieselbe Zeit fällt, d. h. zur Zeit der Neu- und Vollmonde, so werden die Wirkungen der Sonne und des Mondes ebenfalls zusammenfallen und die Fluthhöhe vergrößern, während im Gegentheile zur Zeit der Quadraturen, wo der Mond in der Linie BST und die Sonne in der verlängerten Linie mSn liegt, die Fluthhöhe des Mondes durch die der Sonne vermindert werden muß. Aus derselben Ursache wird die Fluth des Mondes sowohl, als auch die der Sonne desto stärker seyn, je näher diese Gestirne bei der Erde stehen, was alles mit den Beobachtungen ganz genau übereinstimmt. Daß das Hochmeer an jedem Orte nicht in den Augenblick der Culmination selbst trifft, sondern oft erst mehrere Stunden später Statt hat, kömmt offenbar daher, daß das Wasser, von m und n nach A oder nach B zu kommen und sich in diesen beiden letzten Punkten auf die größte Höhe zu bringen, eine gewisse Zeit erfordert, da die Trägheit des Wassers, die

Reibung seiner Theile, die Unebenheiten des Meerbodens u. dgl. dieser Bewegung desselben mehrere Hindernisse entgegen setzen. Aus derselben Ursache fällt bekanntlich auch die größte Hitze des Tages nicht auf den Mittag, sondern $1^1/_2$ oder 2 Stunden später, so wie die höchste Temperatur des Jahres nicht auf den Augenblick des Sommersolstitiums, wo die Sonne am höchsten steht, sondern mehr als einen Monat später fällt, weil die Accumulation der Wärme ebenfalls nur allmählig fortschreitet und sich selbst nach dem höchsten Stande der Sonne noch einige Zeit durch anhäuft.

Es wurde bereits gesagt, daß alle die Orte, welche mit den Punkten A und B in demselben Meridian liegen, zu gleicher Zeit ihre Fluthen haben, aber in geringerem Grade, offenbar in einem um so geringeren, je weiter sie von den beiden Punkten A und B entfernt sind. Da aber die Sonne und der Mond sich nie sehr weit von der Ebene des Aequators entfernen, so werden auch diese Orte A und B, welche die größten Fluthen haben, immer in der Nähe des irdischen Aequators seyn, oder sie werden in die heiße Zone fallen. Die Fluthen werden also in den Tropenländern am größten seyn und immer kleiner werden, je näher man den beiden Polen der Erde kömmt — Auch dieß ist der Erfahrung vollkommen gemäß. In Ostindien und an den tropischen Küsten Amerika's steigen diese Fluthen gewöhnlich sehr hoch, obschon sie auch durch Localursachen an andern Orten oft sehr erhöht werden. In dem Hafen von St. Malo beträgt diese Höhe gewöhnlich 50 Fuß. In der Nord- und Ostsee ist die Erhebung und Senkung des Meeres schon viel kleiner, und an den nördlichen Küsten von Norwegen bemerkt man sie gar nicht mehr, so wenig als in kleineren oder ringsum eingeschlossenen Meeren, wie in dem schwarzen oder dem kaspischen See.

§. 114. (Bestimmung der Mondmasse und Geschichte der Theorie dieser Erscheinung.) Wenn man den Einfluß, welchen der Mond auf die Fluth hat, von jenem der Sonne geschickt sondert, so geben diese Erscheinungen ein gutes Mittel, die Masse des Mondes zu bestimmen. Man hat auf diesem Wege gefunden, daß die Masse dieses Satelliten nahe den 75sten Theil der Masse der Erde beträgt, übereinstimmend mit anderen astronomischen Bestimmungen.

Die Theorie dieser Erscheinungen, in ihrer ganzen Vollständigkeit aufgefaßt, ist übrigens eine der schwersten, mit welchen sich unsere Geometer bisher beschäftiget haben, wie schon aus den vielen vergeblichen Versuchen folgt, welche seit Newton's Zeiten angestellt wurden, diesen Zweck zu erreichen. Schon Kepler wollte eine solche Theorie liefern, aber die Analyse war damals noch in einem zu unvollkommenen Zustande, um ein so schwieriges Problem genügend aufzulösen. Galilei, der die Ansicht Kepler's bekämpfte, stellte eine andere auf, die aber eben so wenig angenommen zu werden verdiente. Newton, der den Gegenstand zuerst aus dem wahren Gesichtspunkte betrachtete, stellte seine Theorie im Jahre 1687 auf. Allein so richtig auch seine Ideen waren, so bedurften sie doch noch einer großen Entwicklung und Ausbildung, um den Erscheinungen der Natur vollkommen zu genügen. Im Jahre 1738 machte die k. Akademie der Wissenschaften zu Paris dieses Problem zum Gegenstande einer Preisfrage, die vier gekrönte Memoiren zur Folge hatte. Die drei ersten waren von Daniel Bernoulli, Leonhard Euler und Maclaurin, welche alle mit sehr viel Scharfsinn die von Newton schon früher eingeschlagene Bahn verfolgten. Die vierte aber hatte den bekannten Jesuiten Cavalleri zum Verfasser, und dieser suchte die gegebene Frage durch die Anwendung der carteſischen Wirbel zu erklären, eine auf

nichts gegründete Theorie, an welcher aber die Pariser Academie noch viele Jahre festzuhalten suchte, nachdem bereits Newton sein System der allgemeinen Schwere aufgestellt und die Nichtigkeit der Wirbel des Descartes dargethan hatte. Die gegenwärtige hohe Ausbildung dieses Gegenstandes verdanken wir vorzüglich Laplace, der seine tiefen Untersuchungen darüber in den beiden letzten Theilen seiner Méc. céleste mitgetheilt hat.

§. 115. (Ebbe und Fluth der Atmosphäre.) Da die Wirkung der Sonne und des Mondes auf unsere Meere so bedeutend ist, so wird sie wahrscheinlich auf das unsere Erde rings umgebende Luftmeer, wegen der großen Beweglichkeit desselben, noch viel beträchtlicher seyn. An der obersten Gränze der Atmosphäre sind diese Wirkungen ohne Zweifel auch sehr groß. Aber wir bewohnen nur den Grund dieses Meeres und sind in dieser Beziehung in demselben Falle mit den Bewohnern der Tiefe des Oceans, die von den großen Veränderungen, welche an seiner Oberfläche vorgehen, wohl nur sehr wenig fühlen mögen. Indeß erkennen wir diese Fluctuationen unserer Atmosphäre selbst auf der Erde noch durch die täglichen Aenderungen des Barometers und an denjenigen Winden, deren Richtung und Stärke von den Tageszeiten abhängt und die daher periodisch sind. Jene Variationen des Barometers sind allerdings nur klein, da sie selbst unter dem Aequator, wo sie am größten sind, nur etwa drei Zehntheile einer Linie betragen. Demungeachtet hat man sich durch fortgesetzte Beobachtungen an guten Instrumenten, selbst in höheren Breiten, von ihrem Daseyn nicht nur, sondern auch von ihrer Größe überzeugt. Diesen Beobachtungen zu Folge liegt die größte Höhe des Barometerstandes zwischen 9 und 10 Uhr Morgens; hierauf nimmt die Höhe bis 4 Uhr Abends ab, wo sie am kleinsten ist. Von da steigt sie wieder, bis sie um 11 Uhr Abends zum zweitenmale eine größte Höhe erreicht und dann wieder fällt, bis sie um 4 Uhr Morgens zu ihrer zweiten größten Tiefe sinkt. Aus dieser Epoche sieht man aber schon, daß sie sich nicht nach dem Laufe des Mondes, sondern vielmehr nach dem der Sonne richtet. Auch zeigt die Theorie, daß die Anziehung dieser beiden Gestirne auf unsere Atmosphäre, selbst unter dem Aequator, höchstens eine Aenderung von 0.02 Linien in der Höhe des Barometers hervorbringen könnte. Jene beobachtete Aenderung scheint daher mehr eine Wirkung der Temperatur zu seyn, die durch die Sonne in unserer Atmosphäre erzeugt wird.

Kapitel X.

Andere merkwürdige Folgen der Störungen der Planeten.

§. 116. (Bei dem Monde ist die Revolution der Rotation gleich.) Wir haben im Vorhergehenden gesehen, daß sich aus dem einfachen Gesetze

der allgemeinen Attraction nicht nur die elliptische Bewegung der Planeten um die Sonne, und der Satelliten um ihre Hauptplaneten erklären läßt, sondern daß auch die mannigfaltigen Abweichungen dieser Körper von ihren elliptischen Bahnen, daß die periodischen sowohl als die säculären Störungen aus derselben Quelle fließen, die zugleich die Ursache der sphäroidischen Gestalt dieser Planeten und ihrer Atmosphären, so wie derjenigen Erscheinungen ist, welche unter der Benennung der Präcession und der Nutation der Erdaxe, und der Ebbe und Fluth des Meeres bekannt sind. Es gibt aber noch mehrere andere Folgen desselben großen Gesetzes, die zwar eben so wenig, als die bereits angeführten, in diesen Blättern umständlich und mit ihren Gründen mitgetheilt werden können, die aber doch zu wichtig und interessant sind, als daß es erlaubt seyn sollte, sie hier gänzlich zu übergehen.

Da uns der Mond immer dieselben Flecken zeigt, oder da er uns immer dieselbe Seite zuwendet, so muß er sich um seine Axe drehen, und zwar in derselben Zeit, in welcher er sich um die Erde bewegt, so daß also die Rotation des Mondes der Revolution desselben gleich ist. Man wird sich von der Wahrheit dieses Schlusses leicht überzeugen, wenn man sich einen Beobachter außer der Mondsbahn z. B. in der Sonne denkt, für welchen der Mond während jeder seiner Revolutionen um die Erde nach und nach alle Seiten seiner Oberfläche dem Beobachter zuwenden wird. Beide Bewegungen sind also bei dem Monde gleich, und zwar ganz genau gleich, weil schon der geringste Unterschied, indem er mit der Zeit sich anhäufen müßte, uns längst auch die andere Seite des Mondes zugewendet hätte, die doch bisher noch kein menschliches Auge gesehen hat. Diese Uebereinstimmung der Rotation mit der Revolution bei dem Monde ist sehr merkwürdig, und wir werden sehen, daß dieselbe auch bei den Satelliten der anderen Planeten Statt hat. Nicht so bei den Hauptplaneten, wo zwischen diesen beiden Bewegungen die größte Verschiedenheit herrscht. So dreht sich die Erde 366mal, Jupiter 10000mal und Saturn 25000mal um sich selbst, während jeder dieser Körper nur einen einzigen Umlauf um die Sonne macht.

§. 117. (Scheinbare Librationen des Mondes.) Zwar bemerkt man mit einiger Aufmerksamkeit, daß die dem Rande zunächst stehenden Flecken zuweilen auf die von uns abgewendete Hemisphäre des Mondes treten und uns unsichtbar werden, und daß eben so andere, die wir zuerst nicht gesehen hatten, auf der uns zugewendeten Hälfte dieses Satelliten erscheinen. Allein man sieht bald, daß dieß nur scheinbare Bewegungen sind, die von der ungleichförmigen Bewegung des Mondes um die Erde und von unserer Stellung gegen diesen Himmelskörper kommen. Wegen seiner elliptischen Bewegung, so wie auch wegen der großen Störungen, die er von der Sonne erleidet (§. 77), geht er in seiner Bahn bald mit einer größeren, bald wieder mit einer kleineren Geschwindigkeit fort und muß uns daher, die wir im Mittelpunkte seiner Bahn stehen, bald von dem östlichen, bald wieder von dem westlichen Rande einen kleinen Theil seiner von uns im Allgemeinen abgewendeten Seite zukehren. Da ferner die Rotationsaxe des Mondes auf der Ebene seiner Bahn nicht genau senkrecht steht, sondern um einen Winkel von nahe 83 Graden gegen sie geneigt ist, so werden wir, wenn er den höchsten Punkt seiner Bahn einnimmt, von seinem nördlichen Rande etwas weniger, und von seinem südlichen etwas mehr erblicken, als wenn er in dem tiefsten Punkte seiner Bahn stünde. Da endlich derjenige Punkt des Mondrandes, der bei seinem Aufgange am höchsten steht, bei seinem Untergange nahe am tiefsten erscheint, so wird ein Beobachter auf der

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Oberfläche der Erde an dem äußersten Rande des Mondes auch andere Flecken sehen, als der Antipode desselben. Allein alle diese, übrigens sehr geringen Veränderungen, die man die scheinbaren Librationen des Mondes nennt, haben ihren Grund nur in unserer Stellung gegen denselben und sind daher bloß als optische Erscheinungen zu betrachten, die mit den Bewegungen des Mondes selbst in keinem unmittelbaren Zusammenhange stehen. Die erste dieser Librationen, in der Länge, kann, aus dem Mittelpunkte des Mondes gesehen, höchstens 8 Grade, die Libration der Breite 6.8° und endlich die dritte oder die Libration der Parallaxe einen Grad betragen.

§. 118. (Säculäre Aenderungen der Rotation des Mondes.) Wir werden daher annehmen müssen, daß die Rotation des Mondes um seine Axe der mittleren Bewegung desselben um die Erde vollkommen gleich ist. Allein welcher mittleren? — Denn wir haben oben (I. §. 171) gesehen, daß diese mittlere Bewegung des Mondes selbst wieder veränderlich ist, indem sie seit mehr als 20000 Jahren immer zugenommen hat und nahe eben so lange noch zunehmen, dann aber wieder allmählig langsamer werden wird. Wenn daher die Rotation des Mondes eine für alle Zeiten unveränderliche Größe wäre, wie dieß bei der Erde und den Planeten in der That der Fall ist, so müßte sie in der Folge der Jahrhunderte schon längst von der Revolution dieses Satelliten verschieden geworden seyn, und wir würden daher schon seit Jahrtausenden einen großen Theil der von uns noch immer abgewendeten Hemisphäre desselben zu Gesichte bekommen haben. Da dieß gegen die Erfahrung ist, so muß man annehmen, daß auch die Rotation des Mondes einer ähnlichen säculären Veränderung, wie die Revolution, unterworfen sey. Weil aber auf der andern Seite jede freie Rotation eines Körpers ihrer Natur nach nicht anders, als gleichförmig seyn kann, so muß es eine besondere äußere Kraft geben, die auf den Mond einwirkt und ihn zwingt, jeden Augenblick der Erde dieselbe Seite unverwandt zuzukehren.

§. 119. (Ursache dieser Erscheinungen.) Diese Kraft kann aber offenbar nur in der Erde liegen. Nimmt man, wie dieß sehr wahrscheinlich ist, an, daß der Mond zur Zeit seiner Entstehung ein flüssiger Körper war, so wird die Erde, wegen ihrer großen Nähe, den ihr nächsten Punkt, d. h. den Mittelpunkt der uns sichtbaren Scheibe des Mondes, unter allen am stärksten angezogen, und so sich diesen Punkt noch mehr genähert haben. Dadurch erhielt die Oberfläche dieses Satelliten die Gestalt eines Ellipsoids, dessen kleinste Axe die Rotationsaxe, und dessen größte gegen die Erde gekehrt war. Es ist äußerst unwahrscheinlich, daß der primitive Stoß, welcher dem Monde (§. 55) seine Bewegung gab, genau eine solche Beschaffenheit hatte, wodurch die drehende und die fortschreitende Bewegung desselben einander ganz gleich geworden wären. Allein unter der Voraussetzung, daß die große Axe des Mondsphäroids ursprünglich gegen die Erde gerichtet war, ist es schon hinlänglich, diese beiden Bewegungen nur nicht zu sehr verschieden anzunehmen, um daraus jene Erscheinung der Gleichheit beider Bewegungen zu erklären. Wenn nämlich auch diese große Axe des Mondes jeden Augenblick von der Richtung nach dem Mittelpunkt der Erde sich zu entfernen strebt, so wird sie doch durch die Anziehung der Erde selbst immer wieder in ihre frühere Lage zurückgebracht werden, so wie z. B. die Schwere der Erde ein in Bewegung begriffenes Pendel, so oft es sich von seiner Verticallinie entfernt, immer wieder zu derselben zurückführt. Durch diese Attraction der Erde entsteht also eine Art von wahrer, nicht bloß scheinbarer Libration des Mondes, die aber sehr gering seyn muß, da unsere Beob-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

achtungen sie noch nicht zu erkennen gegeben haben. Auch die Abplattung des Mondes an seinen beiden Polen ist so klein, daß sie bisher unsern schärfsten Instrumenten entging und daß wir daher die Gestalt dieses Satelliten ohne merklichen Fehler als vollkommen kugelförmig annehmen können. Nach der Theorie aber ist die kleine Axe desselben gleich 0.9989, wenn die große, gegen den Mittelpunkt der Erde gekehrte Axe für die Einheit angenommen wird, so daß also seine Abplattung nur den tausendsten Theil dieser Axe beträgt.

§. 120. (Der Mond in Verbindung mit Kometen.) Wenn der Mond je einem Kometen nahe gekommen ist, was seit der undenklichen Zeit seiner Existenz wohl geschehen seyn mag, so muß doch die Masse eines solchen Kometen ungemein gering gewesen seyn. Denn wenn sie auch nur den hunderttausendsten Theil der Erdmasse betragen hätte, so würde ein Zusammentreffen dieser beiden Körper, wie die Rechnung zeigt, die wahren Librationen des Mondes schon so groß gemacht haben, daß sie unsern Beobachtungen nicht mehr hätten entgehen können. — Aber vielleicht war der Mond selbst einmal ein Komet, der in der grauesten Vorzeit der Erde nahe gekommen ist, und nun, von ihr festgehalten, sie auf ihrer Bahn um die Sonne begleiten muß? Es hat nicht an Astronomen gefehlt, die diese Meinung aufgestellt haben. Allein wenn man, mit Hülfe der Analyse, auch in die entferntesten Zeiten zurück geht, so findet man, daß der Mond sich immer in einer nahe kreisförmigen Bahn um die Erde, so wie die Planeten um die Sonne, bewegt habe, und daß daher ein solcher Ursprung desselben ganz unwahrscheinlich ist.

§. 121. (Störungen der Kometen von den Planeten und von dem Aether.) Diese Kometen erleiden von den Planeten unseres Sonnensystems, wenn sie aus ihrer weiten Ferne zu denselben herabsteigen, oft große Störungen, die auf eine ganz andere Art berechnet werden müssen, als die Störungen der Planeten unter sich, weil die große Excentricität ihrer Bahnen nicht mehr die Abkürzungen erlaubt, die man bei den Planeten mit so viel Vortheil anzuwenden pflegt. Schon Halley erkannte die großen Wirkungen dieser Störungen an dem nach ihm genannten Kometen, dessen auf einander folgende Umlaufszeiten, in Folge dieser Störungen, mehr als ein ganzes Jahr von einander verschieden waren. Aber erst 75 Jahre später versuchte es Clairaut, diese Störungen der Analyse zu unterwerfen. Die Kometen scheinen selbst noch eine andere Art von Störung zu erleiden, dergleichen wir bei den Planeten noch kein Beispiel gefunden haben. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß die Räume, welche die Körper unseres Sonnensystems von einander trennen, mit einer vielleicht äußerst feinen und durchsichtigen Materie erfüllt sind, und daß die Körper, wenn sie sich in diesem Aether bewegen, von demselben einen Widerstand erfahren. Bei den Planeten, diesen dichten und festen Kugeln, wird ein solcher Widerstand ohne Zweifel nur sehr gering seyn können, wie wir denn auch bisher durch keine Beobachtung die Existenz desselben nachzuweisen vermögen. Allein die Kometen, diese ungemein ausgebreiteten und aus einem so lockeren Gewebe bestehenden Körper, die vielleicht nicht einmal unseren Wolken zu vergleichen sind, würden allerdings einen viel größeren Widerstand von jenem Mittel erleiden können. Man hat eine solche Bewegung der Analyse unterworfen und gefunden, daß, wenn dieses Mittel eine sehr geringe Dichtigkeit, und die elliptische Bahn des Kometen eine sehr kleine Excentricität hat, die große Axe der Ellipse immerwährend abnehmen, also auch die Umlaufszeit des Kometen kleiner, die Winkelgeschwindigkeit desselben aber immer größer werden müßte, während die Excentricität der Bahn und die Lage der

großen Axe periodischen Abwechslungen unterworfen seyn würde, die sich mit jedem Umlaufe des Kometen um die Sonne wieder herstellen. Diese immerwährende Abnahme der großen Axe würde daher eine beständige Annäherung des Kometen zur Sonne und ein endliches Zusammenfallen beider Körper zur Folge haben. Encke hat bei dem nach ihm benannten Kometen von 1200 Tagen Umlaufszeit in der That eine solche Verkürzung der Revolution bemerkt und dadurch Veranlassung gegeben, auf diesen bisher ganz vernachlässigten Gegenstand in der Folge eine größere Aufmerksamkeit zu wenden.

§. **122.** (Unveränderliche Gegenstände des Sonnensystems.) Wir haben bisher gesehen, wie durch die Wirkung der allen Körpern unseres Sonnensystems gemeinsamen Anziehung keiner derselben in absoluter Ruhe, wie vielmehr alles in gegenseitiger, oft durch viele Ursachen zugleich mannigfaltig modificirter Bewegung sich befindet; wie die Ebenen, auf welche wir alle Lagen der himmlischen Körper beziehen, die Ekliptik und der Aequator, ja wie selbst die Punkte dieser Ebenen, von welchen wir diese Lagen zu zählen anfangen, die Aequinoctialpunkte der Himmelssphäre, ähnlichen immerwährenden Aenderungen unterliegen. Zwar sind wir dahin gelangt, von allen diesen Veränderungen strenge Rechenschaft zu geben und zu zeigen, daß diese bloß scheinbaren Unordnungen nur eine Folge, ein unmittelbarer Ausfluß desselben Gesetzes der allgemeinen Schwere sind. Aber je schwerer die Aufgabe ist, deren Lösung hier der menschliche Geist durch die Hülfe der Analyse unternommen und in ihren Hauptpunkten wenigstens glücklich zu Ende geführt hat; je größer und verworrener das Gewühl aller dieser beinahe unübersehbaren Körper ist, das uns von allen Seiten umgibt, desto wünschenswerther muß es uns erscheinen, in diesen zahllosen und sich so wunderbar durchkreuzenden Bewegungen wenigstens einige Punkte aufzufinden, die an dem ewigen Wechsel keinen Theil nehmen, die mitten in diesem beständig auf und nieder wogenden Meere in absoluter Ruhe bleiben, und an die wir daher, als an fixe Punkte, alle anderen anknüpfen und die Bewegungen derselben davon abmessen können.

Wir kennen bisher drei solcher constanten, und, wie es scheint, für immerwährende Zeiten unveränderlichen Dinge: die Stabilität der Drehungsaxe der Erde, die Länge des Tages und die mittlere Entfernung der Erde und aller Planeten von der Sonne. Wir wollen diese drei Gegenstände nach der Reihe näher betrachten.

§. **123.** (I. Unveränderlichkeit der Erdaxe.) Die Tiefe unserer Meere beträgt, den darüber angestellten Versuchen zu Folge, nur einen sehr geringen Theil des Halbmessers der Erde, wie auch schon daraus hervorgeht, daß dasselbe so große Strecken des Festlandes unbedeckt gelassen hat. Man wird ohne merklichen Fehler annehmen können, daß der Boden des Meeres nahe eben so tief unter dem Spiegel des Wassers liegt, als das höchste Festland über demselben steht, eine Größe, die nahe 30000 Fuß beträgt, also selbst noch ein kleiner Theil der Abplattung ist, die über drei Meilen oder gegen 70000 Fuß hat. Obschon es sehr wahrscheinlich ist, daß dieses Meer, in der Vorzeit wenigstens, zuweilen einen großen Theil des Continents bedeckt hat, wie die auf den höchsten Bergen zurückgelassenen Spuren desselben zeigen, so konnte dasselbe doch eben wegen seiner geringen Tiefe, oft große Strecken bedecken und wieder verlassen, ohne jene gewaltsamen Revolutionen anzunehmen, für welche mehrere unserer Geologen sogar eine Versetzung des Aequators in die Gegenden, welche jetzt die Pole einnehmen, zu Hülfe gerufen haben. Man

hat diese extravaganten Hypothesen ausgedacht, um dadurch die Ueberreste von Thieren der Tropenländer, die man in den kalten Zonen fand, zu erklären. So wurde im Jahre 1771 an dem sandigen Ufer des Flusses Wilhui in Sibirien ein ganz gut erhaltenes Rhinoceros einige Fuß tief unter der Erde entdeckt, dessen Haut noch nicht von der Verwesung ergriffen war, und i. J. 1799 wurde am Ausflusse der Lena ein ungewöhnlich großer Elephant, in einen Eisblock eingeschlossen, gefunden, dessen Fleisch noch so frisch gewesen seyn soll, daß die Jakuten ihre Hunde damit füttern konnten. Diese und ähnliche Erscheinungen wollte man aus einer solchen Versetzung des Aequators, der früher durch jene Gegenden gegangen seyn soll, und durch den dadurch verursachten Sturz des Weltmeers von Süd nach Nord erklären, ohne zu bedenken, daß diese Thiere unmittelbar nach ihrem Tode hätten einfrieren müssen, um vor der Fäulniß bewahrt zu bleiben.

§. 124. (Erklärung dieser Erscheinungen.) Eine solche plötzliche Versetzung des Aequators der Erde könnte nur von irgend einer fremden äußern Kraft gekommen seyn, und man sieht da nichts, als etwa einen Kometen, der in der Vorzeit mit der Erde zusammengetroffen seyn mag. Allein wir haben bereits oben gezeigt, wie unwahrscheinlich ein solches Zusammentreffen, und wie noch viel unwahrscheinlicher eine so bedeutende Folge dieses Conflictes ist, da die Massen aller Kometen so ungemein klein sind.

Aber ist es nicht möglich, daß vor Zeiten auch in dem gegenwärtigen Klima Sibiriens Elephanten in der That gelebt haben? — Der an der Lena gefundene war allerdings, seiner Größe und Gestalt nach, denen gleich, die wir noch jetzt im südlichen Asien finden. Seine beiden Hauzähne hatten neun Fuß Länge, und sein Kopf wog vier Zentner. Aber seine Haut war mit einer dichten braunen Wolle bedeckt, aus der starke, schwarze Haare hervorragten, und der Hals des Thieres war mit einer löwenartigen Mähne besetzt. Eben so war die Haut jenes Rhinoceros mit steifen, drei Zoll langen Borsten oder Haaren bedeckt. Unter einem solchen Pelze konnten diese Thiere das Klima Sibiriens sehr wohl ertragen, während die ihres Gleichen, in Indien, wenn sie das anders sind, jene strenge Kälte nicht ertragen würden. Uebrigens wandern auch diese Thiere des Südens zur Sommerszeit oft sehr weit gegen Norden hin, und man sieht den sogenannten Königstiger Indiens seine Excursionen bis an den westlichen Abhang des Altaiberges, nahe bei Barnul (53° nördlicher Breite) ausdehnen. Dasselbe konnte auch in der Vorzeit mit den Elephanten geschehen seyn, und dann war ein Einsinken desselben im leichten Grunde, oder ein Erdfall mit einer darauf folgenden strengen Kälte schon hinreichend, diese Thiere zu begraben und ihre Körper vor der Verwesung zu schützen, ohne erst, wie unsere Geologen wollen, die Pole der Erde aus ihren Angeln zu heben. Auf eine ähnliche Weise wollte auch Halley die Kälte in Nordamerika erklären, die nach dem Zeugnisse aller Reisenden viel größer ist, als in denselben Breiten Europas. Nach seiner Ansicht wurde der Pol der Erde, der früher in der Nähe der Hudsonsbay gelegen war, durch den Stoß eines Kometen in diejenige Gegend, die er jetzt einnimmt, versetzt, und die einer so großen Kälte ausgesetzte Gegend des früheren Nordpols hat seitdem noch keine Zeit gehabt, sich zu erwärmen. Allein die beobachtete größere Kälte Amerika's gilt nur von der östlichen Seite, während man auf der westlichen Küste des großen Oceans diese Differenz nicht mehr bemerkt. Aber wohl tritt dieselbe Erscheinung wieder im nordöstlichen Asien hervor, wo eine viel strengere Kälte herrscht, als unter derselben Breite in Europa,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

so daß sowohl in der alten, als auch in der neuen Welt der östlichere Theil bei weitem der kältere ist.

§. 125. (Andere Beweise für die Unveränderlichkeit der Erdaxe.) Ueberhaupt sind diese Versetzungen der Pole, so oft man sie auch bei geologischen Erklärungen zu Hülfe gerufen hat, und zwar nicht nur jene gewaltsamen und plötzlichen, sondern selbst geringe und langsam fortschreitende Veränderungen derselben, durch nichts erwiesen, und mit den Beobachtungen, so wie mit der Theorie in directem Widerspruche. Seit der Zeit, wo man durch die Erfindung der Fernröhre die Polhöhen so vieler Orte mit großer Genauigkeit bestimmt hat, wurde auch nicht an einem derselben eine Aenderung bemerkt, die größer wäre, als die bisher noch unvermeidlichen Beobachtungsfehler. Das die Erde zum Theil bedeckende Meer stört die Lage der Erdaxen so wenig, daß es vielmehr, durch seine große Beweglichkeit, der Erde erst den sichern und dauernden Zustand des Gleichgewichtes gibt, der sonst, bei einer ganz starren Masse der Erde, durch die kleinste äußere Einwirkung schon gestört werden könnte.

§. 126. (Freie Axen der Rotation.) Wir haben bereits oben (§. 23) von der Schwungkraft gesprochen, durch welche jedes Element eines Körpers, der sich um eine gerade Linie als um seine Axe dreht, sich in senkrechter Richtung von dieser Axe zu entfernen strebt. Da aber diese Elemente, durch den Zusammenhang des Körpers, an dieser Entfernung gehindert werden, so entsteht daraus ein Druck auf die Rotationsaxe. Dieser Druck liegt, so wie die Centrifugalkraft, in der Richtung der Linie, die von dem Elemente senkrecht auf die Axe gezogen wird, und ist offenbar desto größer, je größer diese Linie, d. h. je weiter das Element von der Rotationsaxe entfernt liegt. Ist nun der Körper, in Beziehung auf diese Axe, nicht zu allen Seiten derselben symmetrisch gestellt, so wird dieser Druck ein Wanken der Rotationsaxe und eine Störung der sonst gleichförmigen Drehung des Körpers erzeugen. Ist aber der Körper so gebaut und die Rotationsaxe durch ihn so gestellt, daß jedes Element desselben, auf der einen Seite der Axe, ein anderes gleich großes und gleich entferntes auf der andern Seite derselben hat, so wird zwar jedes dieser zwei Elemente einen Druck auf die Axe erzeugen, aber beide Pressungen werden erstens gleich groß, und zweitens auf einandrr in ihrer Richtung entgegengesetzt seyn, d. h. beide Pressungen werden sich gegenseitig aufheben, und die Axe wird durch dieses Elementenpaar keinen Druck erleiden. Da dasselbe von jeden zwei anderen eben so gegen einander gestellten Elementen gilt, und da, der Voraussetzung gemäß, der ganze Körper nur aus solchen Elementenpaaren besteht, so wird auch die Drehungsaxe eines solchen Körpers von keinem Elemente desselben einen Druck erleiden, oder sie wird eine sogenannte freie Axe seyn. Für eine Kugel z. B. sind alle Durchmesser derselben solche freie Axen, und eben so ist für ein Ellipsoid, das durch die Umdrehung einer Ellipse um seine große oder kleine Axe entsteht, diese große oder diese kleine Axe eine freie, weil in der That alle auf diese Rotationsaxe senkrechten Schnitte des Ellipsoids Kreise sind, deren Mittelpunkte sämmtlich in dieser Axe liegen, wie dieß bei der Kugel für jeden ihrer Durchmesser der Fall ist.

Weitere geometrische oder vielmehr mechanische Untersuchungen haben gezeigt, daß jeder Körper, so unregelmäßig er auch geformt seyn mag, immer wenigstens drei solche freie Axen habe, und daß sich dieselben in dem Schwerpunkte des Körpers unter einander senkrechten Richtungen durchschneiden. Bei der Kugel sind, wie gesagt, alle Durchmesser derselben freie Axen, und bei dem so eben erwähnten Ellipsoid ist nicht nur

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

diejenige Axe, um welche die Ellipse gedreht wird, sondern auch noch jeder Durchmesser des Aequators des Körpers eine freie Axe.

§. 127. (Anwendung auf die Erde.) Wenden wir das Vorhergehende auf die Erde oder überhaupt auf die Planeten an, die zur Zeit ihrer Entstehung wahrscheinlich die Gestalt einer Kugel hatten. Der primitive Stoß, dem sie ihre Bewegung verdanken, gab ihnen eine Rotation um einen ihrer Durchmesser, d. h. also um eine freie Axe. Durch die so entstehende Rotation der Kugel wurde sie an ihren Polen abgeplattet, die Kugel wurde in ein Ellipsoid verwandelt, das durch die Umdrehung einer Ellipse um ihre kleine Axe entsteht. Dadurch hörte also die ursprüngliche Drehungsaxe nicht auf, eine freie Axe zu seyn. Die Planeten bewegen sich also um solche vollkommen freie Axen, die keinen Druck erleiden, daher sie auch ihre Rotation um diese, immer dieselbe Lage beibehaltenden Axen, ungestört und ohne Ende fortsetzen. Ja diese Abplattung der Erde trägt selbst wesentlich dazu bei, die Lage der Rotationsaxe derselben immer in derselben Lage zu erhalten, da sie, wenn sie auch durch äußere Kräfte etwas aus ihrer Richtung gelenkt werden sollte, eben durch diese Abplattung sogleich wieder in ihre frühere Lage zurückgebracht werden müßte, während im Gegentheile, wenn die große Axe der erzeugenden Ellipse die Rotationsaxe des Körpers geworden wäre, schon die geringste Störung derselben hinreichend gewesen seyn würde, diese Axe immer mehr von ihrer früheren Lage zu entfernen, ohne sie je wieder in ihre erste Stellung zurückführen zu können.

§. 128. (II. Unveränderlichkeit der Länge des Tages.) Dieselben Gründe, welche wir so eben für die Unveränderlichkeit der Lage der Erdaxe angegeben haben, sprechen auch für die immer gleichförmige Rotation der Erde um diese Axe, d. h. für die Unveränderlichkeit der Länge des Tages. Die genauesten theoretischen Untersuchungen über die Störungen, welche die tägliche Drehung der Erde um ihre Axe erleiden könnte, haben durchaus keine, unseren Sinnen bemerkbare Aenderung in der Geschwindigkeit dieser Drehung erkennen lassen, und die schärfsten astronomischen Beobachtungen haben sich mit der Theorie vereinigt, diesen Grundpfeiler der gesammten Sternkunde, die Unveränderlichkeit der Dauer des Sterntages (I. §. 159), über allen Zweifel zu erheben.

§. 129. (Aus den Umlaufszeiten der Planeten.) Die alten Griechen haben ihre Bestimmungen der Umlaufszeiten der Planeten um die Sonne mit einer so großen Genauigkeit vorgenommen, daß wir, nach so viel tausend neuen, mit den besten Instrumenten angestellten Beobachtungen, nichts Wesentliches daran zu ändern gefunden haben. Da diese Umlaufszeiten, wie wir bald sehen werden, selbst für alle Zeiten unveränderlich sind, so müssen wir annehmen, daß auch die Länge des Tages, in welchen jene Umlaufszeiten ausgedrückt werden, seit jener Zeit bis auf unsere Tage, keine Aenderung erlitten hat, weil sich diese sofort in den Revolutionen der Planeten gezeigt haben würde. Wenn unser Tag um eine Secunde kleiner oder größer wäre, als der zur Zeit der Griechen, so würden wir die Revolution Jupiters, welche die Alten gleich **4332.5848** Tage fanden, um **0.05** Tage oder um eine Stunde und zwölf Minuten anders finden, während wir doch in unseren neuesten Bestimmungen kaum einige Secunden von jener alten abweichen. Selbst wenn der Tag sich nur um den hundertsten Theil einer Secunde seit jener Zeit geändert hätte, so würden wir jetzt die Revolution Jupiters um volle **43** Zeitsecunden anders finden, als die Griechen, was mit allen Beobachtungen aus jenen und aus unseren Zeiten in directem Widerspruche steht.

Man hat geglaubt, daß die Passatwinde, welche zwischen den Wende-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

kreisen beständig von Ost nach West ziehen, oder daß das Herabsteigen des Polar-Eises gegen den Aequator, und andere Versetzungen großer Massen auf der Oberfläche der Erde oder des Meeres, daß Erdbeben, Vulkane u. dgl. die Geschwindigkeit der Rotation derselben verändern könnten. Allein eine nähere Betrachtung dieses Gegenstandes hat die Zweifel zerstreut, und man kennt durchaus keine Ursache, welche großen Theilen der Erdmasse so beträchtliche Ortsveränderungen geben könnte, um dadurch die Länge des Tages auf eine uns merkbare Weise zu stören.

§. 130. (Aus der säculären Gleichung der mittleren Mondesbewegung.) Wir haben oben (§. 88) gefunden, daß die mittlere Bewegung des Mondes seit undenklichen Zeiten immer schneller wird, und daß dadurch die Länge des Mondes in t Jahrhunderten um $10.72\,tt$ Secunden zunimmt. Wer das Verfahren näher kennt, wie man zu dieser Kenntniß kam, wird ohne Anstand zugeben, daß diese Zahl 10.72 wenigstens bis auf eine Secunde genau ist. — Nehmen wir nun an, daß die Dauer des Tages jetzt z. B. um eine Secunde größer sey, als zu Hipparch's Zeiten (150 Jahre vor Chr. G.). Dieß vorausgesetzt, würde also auch ein Jahrhundert oder 36525 Tage um eben so viele oder um 36525 Secunden, d. h. um 10 Stunden, 8 Minuten, 45 Secunden größer seyn, als zur Zeit Hipparch's. In 10 Stunden, 8 Minuten, 45 Secunden beschreibt aber der Mond in seiner mittleren Bewegung einen Bogen von 5 Grad, 34 Minuten, 13 Secunden oder von 20053 Secunden. Daraus folgt, daß bloß durch diese kleine Vergrößerung des Tages von einer Secunde die gegenwärtige Säcularbewegung des Mondes um 20053 Secunden größer erscheinen müßte, als zur Zeit Hipparch's. Allein dann müßte zugleich der vorhergehende Faktor von tt, nicht 10.22 Secunden, sondern 542 Secunden, also über 50mal größer seyn, da er doch, wie wir bereits gesagt haben, den neuesten Beobachtungen gemäß höchstens um eine einzige, nicht aber um 530 und mehr Secunden unrichtig seyn kann. Es ist also ganz und gar unwahrscheinlich, daß die Länge des Tages seit dem Anfange unserer Zeitrechnung, nicht bloß um eine ganze, sondern auch nur um den hundertsten Theil einer Secunde sich geändert habe.

Wenn man sich aus dem Vorhergehenden (I. §. 123) erinnert, mit welcher ungemeinen Präcession die Umlaufszeiten der Planeten bestimmt werden können, und in der That auch schon von den Alten bestimmt worden sind, so wird man es nicht nur nicht übertrieben, sondern vielmehr sehr billig finden, daß die Astronomen die Unveränderlichkeit der Länge des Tages nur zwischen den Gränzen des hundertsten Theiles einer Secunde angenommen haben, da sie, wie die vorhergehenden Schlüsse zeigen, mit Sicherheit noch viel engere Gränzen hätten annehmen können.

§. 131. (III. Unveränderlichkeit der großen Axen der Planetenbahnen.) Wir haben oben (im siebenten Kapitel) die säculären Störungen der Planeten betrachtet und die Aenderungen angegeben, welche, durch den gegenseitigen Einfluß dieser Körper, die Neigung und die Lage ihrer Knoten sowohl, als auch die Excentricität und die Länge der Apsidenlinie ihrer Bahnen erleidet. Wir haben daselbst gesehen, daß diese Größen sämmtlich veränderlich sind und zwischen bestimmten Gränzen in sehr großen Perioden von mehreren Jahrtausenden hin und wieder gehen, die Apsiden allein ausgenommen, die in keine solche Gränzen eingeschlossen sind und in der Folge der Zeiten ihren ganzen Kreis um die Sonne zurücklegen. Diese Ausnahme scheint ihre Ursache darin zu haben, daß es für die Erhaltung des ganzen Systems offenbar gleichgültig ist, nach welcher Seite der Himmelssphäre hin die große Axe der Planetenbahnen gerichtet seyn mag, um so mehr, da diese Bahnen ohnehin nur sehr wenig

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

von Kreisen verschieden, und da sie überdieß durch so große Zwischenräume von einander getrennt sind.

Allein es gibt noch ein anderes und sehr wichtiges Element dieser Bahnen, von dessen säculären Störungen wir bisher noch nicht gesprochen haben. Die große Axe der Bahn, oder die sogenannte mittlere Entfernung des Planeten von der Sonne hängt, wie das dritte Gesetz Kepler's (I. §. 146) zeigt, unmittelbar mit der Umlaufszeit desselben um die Sonne zusammen, so daß beide zugleich wachsen oder abnehmen müssen.

§. 132. (Folgen, die eine Aenderung dieser Axen haben würde.) Welche Folgen würde aber eine solche Zu- oder Abnahme dieses Elementes nach sich ziehen? — Es ist leicht einzusehen, daß eine Aenderung desselben, auch die geringste, wenn sie einmal Statt hat, nicht mehr in einem periodischen Wachsen und Abnehmen bestehen kann, sondern daß sie, seiner Natur nach, immer in demselben Sinne fortgehen und sich mit der Zeit anhäufen muß. Ein solcher Planet, dessen mittlere Entfernung sich auch nur einen Augenblick ändert, wird daher immerwährend der Sonne näher kommen oder sich immer weiter von ihr entfernen, und jeder von diesen beiden Fällen wird ohne Zweifel von dem größten und wichtigsten Einflusse auf den Planeten und die ihn bewohnenden Geschöpfe seyn.

Wir haben oben (§. 64) gesehen, daß es von der Geschwindigkeit in seiner ursprünglichen Entfernung von der Sonne abhängt, ob die Bahn des Planeten eine Ellipse, oder aber eine Hyperbel ist. In jener krummen Linie wird er eine geschlossene, in sich selbst wiederkehrende Bahn um die Sonne beschreiben: in dieser aber, so wie in der Parabel wird er, wenn er einmal sein Perihelium zurückgelegt hat, sich immer weiter von der Sonne entfernen und endlich die Anziehungssphäre derselben gänzlich verlassen, und in fremde Fixsternsysteme eintreten, ohne je wieder zu unserm Systeme zurückzukehren. Wenn nun auch ein Planet, vermöge seiner anfänglichen Geschwindigkeit, die er in einer bestimmten Entfernung von der Sonne erhalten hat, eine Ellipse beschreibt, so wird er doch, wenn seine mittlere Distanz sich ändert, und er das nächstemal wieder zu derselben Entfernung von der Sonne gelangt, eine ganz andere Geschwindigkeit haben, mittelst welcher er fortan keine Ellipse mehr um die Sonne beschreiben kann. So bewegt sich z. B. Jupiter in seinem Perihelium während einer Secunde durch 1.85 Meilen, während Saturn in seiner Sonnennähe während derselben Zeit nur 1.38 Meilen zurücklegt. Diese beiden Geschwindigkeiten sind zugleich ihre anfänglichen gewesen, wenn anders diese Planeten im Perihelium entstanden. Wenn aber Saturn in dieser seiner kleinsten Entfernung von der Sonne einmal die erwähnte Geschwindigkeit Jupiters haben sollte, so würde die früher elliptische Bahn Saturns in eine Parabel übergehen und daher sich immer weiter von der Sonne entfernen, und er würde sammt seinem Ringe und seinen sieben Monden endlich ganz aus unserem Systeme verschwinden. Eben so könnte schon eine geringe Vergrößerung der anfänglichen Geschwindigkeit die Bahn eines Planeten, wenn sie auch keine Hyperbel wird, zu einer sehr excentrischen Ellipse machen und so den Himmelskörper ganz aus der Reihe der eigentlich sogenannten Planeten entfernen und ihn unter die Kometen versetzen. Durch diese Erweiterung der Planetenbahnen würden diese Himmelskörper, die jetzt, durch so große Räume von einander getrennt, ihre Wege friedlich, und ohne einander bedeutend zu stören, zurücklegen, einander näher gerückt werden, sich auf ihren Bahnen begegnen, Unordnungen und selbst Zerstörungen verursachen und endlich das schöne Verhältniß, welches jetzt unter ihnen be-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

steht, gänzlich aufheben und vielleicht das ganze System seiner Auflösung entgegenführen. Noch wichtiger würde eine Verminderung dieser Geschwindigkeit seyn, da sie den Planeten der Sonne immer näher bringen und endlich ganz mit ihr vereinigen müßte. Der Planet würde nämlich, wenn die Tangential-Geschwindigkeit, mit welcher er jetzt nahe einen Kreis um die Sonne beschreibt, immer kleiner würde, von der immer mehr überwiegenden Centralkraft der Sonne auch immer mehr zu ihr hingezogen werden, er würde in stets engeren Windungen und mit stets wachsender Winkelgeschwindigkeit eine Spirale um die Sonne beschreiben und endlich auf sie stürzen.

§. 133. (Geschichte dieser Entdeckung.) Durch eine in der That bewunderungswürdige Einrichtung unseres Sonnensystems ist diesen beiden Extremen dadurch vorgebeugt worden, daß die großen Axen, also auch die Umlaufszeiten sämmtlicher Planeten um die Sonne, eine für alle Zeiten constante und unveränderliche Größe sind.

Der berühmte Geometer Lagrange hat nämlich die merkwürdige Entdeckung gemacht, daß man, wenn man in dem durch die Rechnung gegebenen allgemeinen analytischen Ausdruck der säculären Störungen der großen Axe eines Planeten diejenigen Zahlen substituirt, welche den einzelnen Planeten zukommen, alle Glieder dieses Ausdrucks sich aufheben, woraus folgt, daß diese große Axe selbst, durch die Einwirkung der anderen Planeten, keine Störung leidet, oder daß sie, und unter allen Elementen der Bahn sie allein, unveränderlich ist. Laplace hat diese Theorie noch weiter ausgebildet, und Poisson hat erst in unseren Tagen gezeigt, daß diese Unveränderlichkeit der großen Axen der Bahnen oder der mittleren Bewegungen der Planeten auch dann noch Statt hat, wenn man bei den Berechnungen der Störungen derselben auf die kleinen Glieder Rücksicht nimmt, die man bisher vernachlässigen zu können glaubte. Zwar fand der letzte, daß der analytische Ausdruck der großen Axe einige Glieder enthält, die eine säculäre Veränderung derselben darstellen, aber auch zugleich, daß diese Glieder so ungemein klein sind, daß sie noch viele Jahrtausende hindurch den schärfsten Beobachtungen unmerklich seyn werden.

§. 134. (Erklärung dieser Erscheinung.) Durch welches Mittel aber hat die Natur diesen für die Erhaltung ihres Werkes so wichtigen Zweck erreicht? — Durch eine Einrichtung, die auf den ersten Blick eben so geringfügig als zufällig erscheint.

Die Umlaufszeiten aller Planetenbahnen sind unter sich incommensurabel, d. h. es gibt auch nicht zwei solcher Umlaufszeiten, die sich zu einander genau, wie zwei ganze Zahlen verhalten. — Dieß ist das Geheimniß, dieß ist der feine Faden, an welchen die Natur die Dauer des Planetensystems geknüpft hat.

Die Umlaufszeit Jupiters z. B. beträgt nahe 4332 und die des Saturn 10759 Tage, und diese beiden Zahlen verhalten sich beinahe, wie 2 zu 5. Wenn sie sich aber genau wie 2 zu 5 verhielten, wenn z. B. die erste 4312 und die zweite 10780 Tage betrüge, so würde daraus eine immer weiter gehende Aenderung der Axen dieser beiden Planetenbahnen entstehen: die eine derselben würde zu- und die andere abnehmen, und die Folge davon würde eine endliche Zerstörung dieser beiden größten Planeten unseres Sonnensystemes seyn. In der That hat auch schon der Umstand, daß diese beiden Umlaufszeiten sich nur beinahe, wie die Zahlen 2 und 5 verhalten, die Folge, daß diese beiden Planeten von einander eine viel größere Störung, die bei Saturn bis auf 2950 Secunden geht, erleiden, als man bei allen anderen Planeten findet, und diese

Störung würde noch viel größer seyn, wenn jenes Verhältniß dem der Zahlen 2 zu 5 noch näher wäre, ja sie würde endlich in ein immerdauerndes Wachsen der Axe der Jupitersbahn, und in eine stets abnehmende Entfernung Saturns von der Sonne übergehen, wenn jenes Verhältniß vollkommen hergestellt wäre. Wir haben bereits oben (§. 84) von den aus dieser Quelle entspringenden großen Störungen dieser beiden Planeten gesprochen und gezeigt, daß sie in bestimmte Gränzen eingeschlossen sind, zwischen welchen sie während einer Periode von 930 Jahren auf und nieder gehen. Je näher die Umlaufszeiten dieser Planeten jenen Verhältnissen kommen, desto mehr würden sich diese Gränzen sowohl, als auch die Dauer dieser Periode erweitern, bis endlich die Zügel, welche die beiden größten Himmelskörper unseres Systemes in ihren Bahnen gehalten haben, nachgeben, und das Ganze seinem unvermeidlichen Untergange entgegen eilen müßte.

§. 135. (Die Erde war anfänglich in einem flüssigen Zustande.) Die vorhergehenden Betrachtungen über die Unveränderlichkeit der Länge des Tages stehen noch mit einem andern Gegenstande in naher Verbindung, der zu interessant ist, als daß er hier ganz übergangen werden könnte.

Wir hatten schon öfter Gelegenheit, zu erwähnen, daß unsere Erde zur Zeit ihrer Entstehung in einem Zustande der Flüssigkeit gewesen ist. Die Abplattung derselben an ihren Polen ist dafür ein hinlänglicher Beweis. Wäre die Erde ursprünglich ein fester Körper gewesen, so würde sie, ihrer Rotation ungeachtet, ihre erste Gestalt im Allgemeinen beibehalten haben. Die Theorie zeigt uns bei der gegebenen Größe der Erde und der Geschwindigkeit ihrer Rotation, vorausgesetzt, daß sie anfangs flüssig war, — nicht nur die Größe ihrer Abplattung, sondern auch die sphäroidische Gestalt ihrer Oberfläche, und die Resultate dieser Theorie stimmen zu wohl mit unsern Beobachtungen, mit unsern Meridianvermessungen und Pendellängen zusammen, als daß man an der Richtigkeit der Voraussetzung, worauf jene Theorie gebaut ist, weiter zweifeln könnte.

§. 136. (Ursache dieses ursprünglichen Zustandes der Erde.) Welches ist aber die Ursache dieses ursprünglichen Zustandes unserer Erde? — In der Antwort auf diese Frage haben sich unsere Geologen von jeher in zwei Klassen getheilt, die sich, wie es bei allen Spaltungen, die sich auf Meinungen gründen, zu geschehen pflegt, nicht immer sehr freundlich begegneten. Die Neptunisten behaupten, daß zur Zeit der Entstehung der Erde die festen und flüssigen Theile unter einander gemengt, daß jene durchaus im Wasser aufgelöst gewesen sind, und daß die feste Rinde und überhaupt alle soliden Theile der Erde, die wir jetzt auf derselben bemerken, nur auf dem Wege der Austrocknung und der Präcipitation, des Bodensatzes, erhalten werden konnten. Die Plutonisten im Gegentheile wollten von allen diesen Auflösungen und Niederschlägen nichts wissen und erklären daher den in der Vorzeit flüssigen Zustand der Erde, den beide Parteien als eine Thatsache zugeben müssen, für eine Folge des Feuers oder der hohen Temperatur, mit welcher anfänglich die ganze Erde durchdrungen gewesen sey, und welche sich, seit so vielen Jahrtausenden, gegen den Mittelpunkt der Erde zurückgezogen habe, während die äußeren Theile derselben erkalteten, erstarrten und dadurch in den festen Zustand geriethen, in welchem wir sie jetzt erblicken.

Diese beiden Parteien stritten lang und heftig genug, aber die Beweise, welche sie für und gegen die aufgestellten Meinungen vorbrachten, waren nicht der Art, um die Sache zu entscheiden und den langen Kampf zu einem glücklichen Ende zu führen. Zu diesem Zwecke gab es nur ein

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Mittel: die Spuren jenes Centralfeuers aufzusuchen, welche doch wohl zu finden seyn mußten, wenn anders die Hypothese der Plutonisten gegründet seyn sollte.

§. 137. (Centralfeuer der Erde.) Man weiß, daß in einer mäßigen Tiefe unter der Oberfläche der Erde, in unsern Kellern z. B., die Temperatur den ganzen Tag und das ganze Jahr immer unverändert dieselbe ist. Aber in größeren Tiefen? — Auch darüber hat man lange genug gestritten, ob in diesen größern Tiefen die Temperatur sich ändere, und wenn sie dieß thut, in welchem Verhältnisse sie es thue. Das Eintreten der äußeren Luft in unsere Bergwerke, die Luftzüge, die daselbst herrschen, selbst das Verweilen mehrerer Menschen in denselben, verbunden mit den Schwierigkeiten der Beobachtungen, alles erregte Zweifel und ließ lange zu keinem stehenden Resultate gelangen. Endlich wurde es durch zweckmäßig angestellte Versuche in unsern Minen ausgemacht, daß die Temperatur der Erde mit der Annäherung zu ihrem Mittelpunkte steige, und zwar in allen Breiten und zu allen Jahreszeiten nahe um einen Grad Reaumur für je 60 Fuß Vertiefung. Nachdem diese Thatsache einmal über alle Zweifel erhoben war, war auch das Recht der Plutonisten hergestellt, da diese Erscheinung, deren Daseyn nicht weiter geläugnet werden konnte, nicht anders, als durch eine sehr hohe Temperatur im Mittelpunkte der Erde sich erklären ließ, die sich allmählig gegen diesen Punkt zurückgezogen habe, während die anfangs flüssige Oberfläche derselben durch Verkühlung sich erhärtete.

Diese Verkühlung, welche bisher bloß auf die Oberfläche und die ihr zunächst liegenden Theile der Erde gewirkt hat, mußte aber auch noch eine andere Wirkung, die sich über die ganze Erde erstreckte, gehabt haben. Alle Körper dehnen sich bekanntlich aus, wenn sie erwärmt werden, so wie sie sich wieder durch die Kälte zusammen ziehen. Dasselbe mußte also auch mit der Erde geschehen seyn. Zu der Zeit ihrer Entstehung, wo sie von einem sehr hohen Grad der Temperatur durchdrungen war, muß sie auch viel größer gewesen seyn, als jetzt, sie muß sich durch die seit so vielen Jahrtausenden auf ihrer Oberfläche vorgegangene Verkühlung auf einen viel kleineren Raum zurückgezogen haben, als der ist, den sie ursprünglich eingenommen hat. Wir werden weiter unten noch einen anderen, wichtigern Grund für diese allmählige Zusammenziehung der Erde finden. Daß aber die anfängliche Temperatur der ganzen Erde sehr hoch gewesen seyn muß, wird man nicht leicht in Abrede stellen können, wenn man bemerkt, daß nach dem angegebenen Verhältnisse der Zunahme der Wärme in größeren Nähen bei dem Mittelpunkte der Erde, für eine Tiefe von einer deutschen Meile unter der Oberfläche der Erde die Zunahme der Temperatur schon 381 Grad Reaumur betragen müsse, bei welcher Hitze schon das Blei im flüssigen Zustande sich erhält. In der Tiefe von $3^{7}/_{10}$ Meilen unter der Oberfläche der Erde würde Gold, und in einer Tiefe von 34 Meilen würde selbst Eisen und Platin schmelzen, und wahrscheinlich nimmt die Temperatur in den größern Tiefen noch schneller zu, als in den geringen, in welchen allein wir sie bisher zu beobachten Gelegenheit hatten, so daß man also mit Recht in dem Mittelpunkte der Erde auch jetzt noch eine ungemein große Hitze annehmen kann.

§. 138. (Wirkung dieser Abnahme der Temperatur der Erde auf ihre Rotation.) Diese mit der Zeit an Volum abnehmende kugelförmige Erde dreht sich aber um ihre Axe. Welches immer die Kraft gewesen seyn mag, die diese Drehung hervorgebracht hat, ihre Wirkung auf die Rotation der Erde, d. h. die Geschwindigkeit dieser Rotation mußte, nach

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

dem Gesetze der Trägheit (§. 20) dieselbe bleiben, so lange die Größe, das Volum der Erde dieselbe blieb. Aber eben dieses Volum nahm, durch die allmählige Verkühlung der Erde, immerwährend ab, und was ist die Folge dieser Abnahme? — Offenbar eine Vermehrung der Geschwindigkeit, eine schnellere Drehung der Erde um ihre Axe. Ganz eben so wird ein Rad, mit derselben Kraft angestoßen, sich desto geschwinder drehen, je kleiner dasselbe ist, und umgekehrt. — Die Erde muß also, wenn alles Vorhergehende richtig ist, sich jetzt schneller drehen, als in der Vorzeit, der Tag muß jetzt kürzer seyn, als er ehedem gewesen ist, und wenn wir wissen könnten, wie viel der Tag kürzer geworden ist, so würden wir auch ein Mittel haben, zu messen, wie viel die Erde kleiner, ja selbst wie viel sie kälter geworden ist, als sie vor einer bestimmten Anzahl von Jahrtausenden gewesen seyn mag.

§. 139. (Diese Wirkung der Temperatur auf die Rotation der Erde ist unmerklich.) Dieß würde uns demnach auf eine andere, so oft aufgeworfene Frage führen: ob es wahr ist, wie die älteren Leute vorzüglich so gern klagen, daß unsere Sommer nicht mehr so warm sind, als sie in der Vorzeit gewesen seyn sollen.

Es könnte seyn, wenn nämlich der Tag jetzt in der That um vieles kürzer ist, als er früher war. Allein wir haben oben (§. 130) gefunden, daß die Länge des Tages seit dem Anfange unserer Zeitrechnung gewiß nicht einmal um den hundertsten Theil einer Secunde kleiner geworden ist. — Nehmen wir an, daß die mittlere Temperatur der ganzen Erde, nicht bloß die der Oberfläche derselben, seit zwei Jahrtausenden um einen Grad des Thermometers R. sich vermindert habe. Nehmen wir noch an, daß die Masse, aus welcher die Erde besteht, sich im Allgemeinen nur so wenig, als das Glas, d. h. um seinen hunderttausendsten Theil für jeden Grad des Thermometers ausdehne, daß also auch das ganze Volum der Erde seit jener Zeit um seinen hunderttausendsten Theil kleiner geworden sey. Die Mechanik lehrt uns, daß bei einer solchen Verminderung der Erdkugel die Geschwindigkeit der Umdrehung derselben um ihre Axe um ihren $^1/_{50000}$ Theil vergrößert, daß also auch der Tag von 86400 Secunden um seinen $^{86400}/_{50000}$sten Theil, das heißt, um $1^7/_{10}$ Secunde verkürzt würde. Allein er wurde, wie wir gesehen haben, in der That nicht einmal um den hundertsten Theil einer Secunde verkürzt, eine Größe, die 170mal kleiner ist, als $1^7/_{10}$ Secunden. Also ist auch die oben angenommene Abkühlung der Erde, ein Grad für 2000 Jahre, 170mal größer, als man sie diesen Schlüssen gemäß, annehmen kann, oder mit andern Worten: die mittlere Temperatur der Erde kann seit den letzten zwei Jahrtausenden noch nicht um den $^1/_{170}$sten Theil eines Grades Reaumur abgenommen haben. Die Klagen, welche unsere alten Leute, diese laudatores temporis acti, über die Abnahme der Wärme der Erde so gern anstimmen, sind daher ungegründet, so weit nämlich diese Abnahme von der seitdem Statt gehabten Abkühlung der ganzen Masse der Erde, und von dem Zurückziehen jenes Centralfeuers gegen den Mittelpunkt der Erde kommen soll.

§. 140. (Verhalten der Temperatur auf der Oberfläche der Erde.) Ganz anders aber verhält es sich auf der Oberfläche der Erde. Hier bewirkt nicht bloß jenes Centralfeuer, sondern auch die Gegenwart der Sonnenstrahlen, und zwar diese letzten in einem viel höheren Grad, als jenes, die von uns auf dieser Oberfläche beobachtete Temperatur. Zwar behaupteten Mairan, Buffon und Bailly, daß der Beitrag, den dieses Centralfeuer zu der Temperatur der Oberfläche der Erde liefere, denjenigen, welcher von der unmittelbaren Wirkung der Sonnenstrahlen komme, im

Sommer 30 und im Winter 400mal übertreffe. Diese Herren brauchten aber diese Zahlen zur Unterstützung ihrer schönen Romane von der Atlantis, und von dem berühmten Urvolke, das vor undenklichen Zeiten in den Hochebenen des mittleren Asiens alle Wissenschaften, und besonders die Astronomie bis zu einem bisher unerreichten Grad der Vollkommenheit ausgebildet haben soll. Allein Fourier hat diesen Gegenstand nicht einer leeren Declamation, sondern einer strengen Rechnung unterworfen, und gefunden, daß der Beitrag, den das Centralfeuer der Erde zu der auf der Oberfläche derselben herrschenden Temperatur liefert, gegenwärtig nur den dreißigsten Theil eines Grades Reaumur betrage. Dieß ist also sehr weit entfernt, die so sorgfältig ausgeschmückten Träume jener Geologen zu bestätigen. Jene Centralwärme der Erde, so groß sie auch in beträchtlichen Tiefen unter der Oberfläche derselben ist, hat sich doch schon so sehr gegen den Mittelpunkt zurückgezogen, daß sie die mittlere Temperatur der Oberfläche kaum mehr auf eine für unsere Instrumente merkbare Art vergrößert.

Die gänzliche Verschwindung dieses Centralfeuers, welche die Folge der Zeiten einmal heraufführen wird, kann daher auch nicht im Stande seyn, die von der Einbildungskraft jener Schriftsteller aufgestellten Besorgnisse zu unterstützen, nach welchen dann die Oberfläche der Erde einer entsetzlichen, alles Leben und jede Vegetation zerstörenden Kälte ausgesetzt werden soll. Uebrigens, wenn die Erde bei ihrer Entstehung, wie es sehr wahrscheinlich ist, in der That in einem Zustande der Incandescenz, die sich auch auf ihre Oberfläche erstreckte, gewesen ist, welche Reihe von Jahrtausenden mag erforderlich gewesen seyn, diese Temperatur bis auf die des dreißigsten Theils eines Grades herab zu bringen?

§. 141. (Wirkung der Sonne auf die Temperatur der Erdoberfläche.) Die Sonne ist daher bei weitem die vorzüglichste, man kann sagen, die einzige Ursache der Temperatur, welcher sich die Oberfläche der Erde erfreut. Diese Wirkung der Sonne auf die Erde ist aber eine doppelte. Die erste ist periodisch und geht bloß zu einer Tiefe von nahe fünfzig Fuß. Hart unter der Oberfläche und noch mehr über derselben ist diese Wirkung täglichen sowohl, als auch jährlichen Variationen unterworfen, die wir an unseren sogenannten Tages- und Jahreszeiten erkennen. Diese Variationen nehmen mit der Tiefe ab, und fünfzig Fuß unter der Oberfläche sind sie schon nicht mehr bemerkbar. Die zweite Wirkung der Sonne auf die Erde fängt im Gegentheile erst mit der Tiefe von 100 Fuß an, fühlbar zu werden. Hier gießt die Sonne täglich ihre Wärme aus, die sich dann in diesen tiefen Gegenden sammelt und vorzüglich die dem Aequator nahen Orte durchdringt, aber auch von da allmählig zu den Polen hin sich verbreitet.

Von den Wärmestrahlen der Sonne, welche die Erde erreichen, gehen die einen durch die Atmosphäre und die Gewässer des Oceans, während andere von diesen Flüssigkeiten absorbirt und wieder andere von ihnen in den Weltraum zurückgeworfen werden. Dieser letzte, unermeßliche Raum ist der Sammelplatz aller Wärme, die seit dem Anfange aller Dinge von den Himmelskörpern, von der Sonne, den Planeten und Kometen und von den Fixsternen ausströmte. Jeder dieser Körper hat seine ihm eigenthümliche, ursprüngliche Wärme, die er in Folge der Zeit durch Verkühlung immer mehr verliert. Aber auch jener Weltraum selbst, in welchem sich diese Körper bewegen, scheint seine eigene Wärme zu besitzen, die nicht bloß das Resultat jener Wärmeausstrahlung der Himmelskörper ist. Wenn dieser Raum ohne alle Wärme wäre, so würden die Pole unserer Erde einer ungemeinen Kälte ausge-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

setzt seyn, die Temperatur von dem Aequator zu den Polen würde viel schneller abnehmen, die kleinsten Variationen in der Entfernung der Sonne von uns würden die Wärme auf der Oberfläche der Erde sehr stark ändern, und der Wechsel des Tages mit der Nacht würde einen plötzlichen, den meisten Thieren und Pflanzen unerträglichen Wechsel der Temperatur erzeugen. Da bei unserer Erde, wie wir gesehen haben, und wahrscheinlich auch bei den andern Planeten, die ursprüngliche Centralwärme derselben beinahe keinen Einfluß mehr auf die Oberfläche derselben äußert, so werden die Pole dieser Weltkörper nahe die Temperatur des Weltraumes haben, während die dem Aequator nahen Gegenden von der Sonne in einer viel höheren Temperatur erhalten werden. Aber für die äußersten Planeten unseres Systems, für Uranus z. B., ist ohne Zweifel der Einfluß der Sonne schon so gering, daß die Temperatur der ganzen Oberfläche eines solchen Planeten von jener des Weltraumes wohl nur unbedeutend verschieden seyn wird.

§. 142. (Wirkung der Sonne auf andere Planeten.) Die Sonne ist also die Quelle, nicht nur der Bewegungen so vieler Planeten und Kometen, sondern auch des Lichtes und der Wärme, deren sich die Bewohner dieser Himmelskörper erfreuen. Ihr wohlthätiger Einfluß ist es, der die Thiere und Pflanzen belebt, welche die Erde bedecken, und die aller Wahrscheinlichkeit nach, wenn auch anders gestaltet und organisirt, auf den übrigen Planeten wieder gefunden werden. Wie dürfte man auch annehmen, daß die Natur, deren Fruchtbarkeit wir hier so sehr zu bewundern Gelegenheit haben, auf so viel größeren Planeten unthätig seyn sollte, auf Jupiter z. B., der so, wie unsere Erde seine Tage und Nächte und seine Jahreszeiten hat, und auf dessen Oberfläche wir selbst in der großen Ferne, die uns von ihm trennt, noch Veränderungen vorgehen sehen, die von einer ungemeinen Kraft und Thätigkeit der Natur in jenen Gegenden zeugen. Der Mensch allerdings ist nur für die Temperatur dieser Erde geschaffen, von der er kömmt, und zu welcher er wieder zurückkehrt, aber anderen Himmelskörpern werden ohne Zweifel auch andere Organisationen nicht weniger angemessen seyn. Wenn auf unserer Erde der einzige Unterschied des Klimas schon so viele Abwechslungen in die Producte derselben gebracht hat; welche noch viel größere Verschiedenheiten dürfen wir bei allen diesen Planeten und den Satelliten derselben erwarten? Die lebhafteste Imagination kann sich diese Variationen nicht mehr vorstellen, aber das Daseyn derselben scheint dessenungeachtet nicht minder gewiß.

§. 143. (Ueberblick des Vorhergehenden.) Alles Vorhergehende zeigt, daß die Bewegungen unseres Sonnensystems sehr zusammen gesetzt sind, und daß ein seltener Scharfsinn und die Vereinigung der höchsten geistigen Kraft aller Jahrhunderte nöthig war, diese Verwicklungen zu entfalten, und in dem Ganzen ein einziges, Alles beherrschende Gesetz zu entdecken. Der Mond beschreibt seine beinahe kreisförmige Bahn um die Erde; allein, von der Sonne gesehen, scheint er eine Reihe von Epicykeln zu beschreiben, deren Mittelpunkte auf der Peripherie des großen Kreises liegen, in welchem die Erde ihre jährliche Bahn um die Sonne vollendet. Aber auch diese Sonne bewegt sich in dem unermeßlichen Weltraume und wird auf diesem Wege, wie der Mond von der Erde, von allen ihren Planeten und Kometen begleitet. Also auch diese Erde und alle Planeten beschreiben wieder andere Epicykeln, deren Mittelpunkte auf der Peripherie der Bahn liegen, welche die Sonne um den Schwerpunkt desjenigen Sternensystems zurücklegt, von dem sie selbst, mit allen ihren Begleitern, nur als ein kleiner, aber integrirender Theil

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

zu betrachten ist. Diese Sonne selbst wieder beschreibt neue Epicykeln, deren Mittelpunkte auf der Bahn liegen, die der Schwerpunkt jenes Sternensystems um den gemeinschaftlichen Schwerpunkt eines Aggregats von ähnlichen Systemen bildet, und so fort und fort ohne Ende, wie wir annehmen müssen und wie es allein dem selbst unendlichen Urheber der Natur würdig und angemessen gedacht werden kann.

§. 144. (Gegenstände der Untersuchung für künftige Jahrhunderte.) Die Astronomie hat uns die Bewegung der Erde und die Epicykeln kennen gelehrt, die der Mond und die übrigen Satelliten um ihre Hauptplaneten beschreiben. Sie hat uns mit dem Gesetze, dem großen Regulator aller dieser Bewegungen bekannt gemacht, und sie hat selbst die scheinbaren Störungen und Ausnahmen von diesem Gesetze wieder unter die Herrschaft desselben zurückgeführt. Große Schritte, fürwahr! — Aber wenn es volle sechs Jahrtausende, denn so lange etwa währt unsere Menschengeschichte, gebraucht hat, diese Bewegungen der Planeten und ihrer Satelliten zu erkennen, welche Zeit wird erfordert werden, um auch die Bewegungen der Sonne und die der Fixsterne zu bestimmen? Schon fangen die Beobachtungen an, uns wenigstens die Existenz derselben erkennen zu lassen. Die sogenannte eigene Bewegung der Fixsterne scheint, wenigstens größtentheils, von einer Veränderung des Orts der Sonne im Weltraume zu kommen, und die erst seit Kurzem entdeckten Bewegungen der doppelten und vielfachen Sterne sind gleichsam die ersten Blicke des menschlichen Geistes jenseits der Gränze unseres Sonnensystemes, dessen Eigenschaften und Wunder uns bisher allein beschäftiget haben.

Aber selbst in diesem unserem Systeme, wie viel ist noch übrig, wie viele Arbeiten sind noch zu vollenden, die wir kaum angefangen haben. Die Satelliten Saturns sind uns nur wenig und die des Uranus beinahe ganz und gar nicht bekannt. Gibt es nicht jenseits des Uranus oder zwischen Mars und Jupiter noch mehrere Planeten? Die Störungen der vier neu entdeckten Planeten, die sie durch Jupiter erleiden, sind so groß, daß die bisherige Entwicklung der Theorie der Perturbationen nicht mehr hinreicht und daß neue Bereicherungen unserer Analyse erfordert werden, um die Bewegungen derselben mit der unseren gegenwärtigen Beobachtungen angemessenen Genauigkeit darzustellen. Auch die säculären Störungen der anderen Planeten werden erst in der Folge mit mehr Genauigkeit bestimmt werden, wenn wir zu einer genaueren Kenntniß der Massen dieser Himmelskörper gelangt sind. Die Theorie der Gestalt der Erde erwartet ebenfalls noch wichtige Verbesserungen, und ohne Zweifel wird einst ganz Europa mit einem großen Netze von Dreiecken überzogen seyn, die uns die Lage, Größe und Krümmung eines jeden Punktes dieses Welttheils kennen lehren werden. Zahlreiche und genaue Beobachtungen der Pendellängen an allen Orten der Erde, so wie der Ebbe und Fluth an allen Meeresküsten; die Entdeckung neuer und die genauere Bestimmung schon bekannter Kometen; die Berechnung der Störungen, welche diese Himmelskörper von den Planeten erleiden; der Einfluß, den die nächsten Fixsterne und vielleicht auch der Aether, in dem sich die Himmelskörper bewegen, auf die Planeten ausüben — alle diese und noch so viele andere Eigenschaften unseres Sonnensystemes müssen den Untersuchungen, dem Fleiße und der Einsicht der Nachwelt überlassen bleiben.

Und wenn sie einst diese Arbeiten vollendet haben wird, welche ganz neue Wege der Forschung werden sich ihr erst dann jenseits dieses unseres Sonnensystemes eröffnen! — Die Bestimmung der Entfernung der Fixsterne von einander und von der Sonne; die Bewegung der doppelten

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

und vielfachen Sterne und die der Sterngruppen um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt; die periodischen Lichtabwechslungen der sogenannten veränderlichen, und die wunderbaren Erscheinungen der neuen Sterne; ein vollständiges Verzeichniß aller Gestirne des Himmels, die genaue Bestimmung der Gestalt der Nebelflecken und der Veränderungen, welche die Zeit an ihnen erzeugt — dieß sind die Gegenstände jenseits unseres Sonnensystems, mit denen sich unsere späten Nachkommen mit Nutzen und mit Freuden beschäftigen werden, so lange der Sinn für Wissenschaft und für Alles, was gut und groß ist, unter ihnen nicht erstirbt, und so lange der Genius der europäischen Kultur die Fackel nicht auslöscht, deren Strahlen uns bisher so wohlthätig erleuchtet haben.

Kapitel XI.

Ursprung des Weltsystems.

§. 145. (Bisher aufgestellte Geologien.) Die Erde, die wir bewohnen, und selbst das ganze Sonnensystem, das uns von allen Seiten umgibt, ist ohne Zweifel nicht immer in dem Zustande gewesen, in dem wir es jetzt erblicken. Wie Alles, was wir um und selbst in uns bemerken, verschiedene Stufen seiner Ausbildung durchgeht, bis es den höchsten Gipfel derselben erreicht, von welchem es dann wieder allmählig zurückschreitet, und dann einer, wenigstens scheinbaren Vernichtung, einer gänzlichen Umformung seines Wesens entgegen geht, so kann auch wohl der gegenwärtige Zustand unseres Sonnensystems nur eine der vielen Verwandlungen seyn, die dasselbe durchzugehen hat, um den ihm von der Natur gesetzten Zweck zu erreichen.

Es kann nicht unsere Absicht seyn, die Stufenleiter aller dieser vergangenen und künftigen Metamorphosen zu verfolgen, da deren nächste Sprossen schon so weit von uns abliegen, daß ein Unternehmen solcher Art, für einen menschlichen Geist, nicht nur verwegen, sondern rein unmöglich erscheint. Dessenungeachtet können wir es uns kaum versagen, wenigstens einige Blicke rückwärts in die dunkle Nacht zu werfen, aus der Alles, was wir um uns sehen, aus der wir selbst hervorgegangen sind, und daselbst einige lichte Punkte aufzusuchen, die vielleicht dazu dienen können, unsern eigenen und den Stammbaum des ganzen großen Hauses, dem wir angehören, wenn auch nicht bis zu seinen Wurzeln, doch bis zu den uns zunächst umgebenden Stellen etwas näher kennen zu lernen.

Diese Lust, seine Abstammung zu erfahren und sie auf so viele Generationen, als nur immer möglich, auszudehnen, diese dem menschlichen Geschlechte, wie es scheint, angeborene Sucht hat, nebst einer anderen

bekannten Kaste, ganz besonders die Sekte unserer sogenannten Geologen ergriffen. Ueber keinen Gegenstand hat man, in unserer hypothesenreichen Zeit, so viele, und man darf es kühn hinzusetzen, so alberne Theorien aufgestellt, als über die Entstehung der Erde. Nur die drei letzten Decennien haben ihrer mehr als ein halbes Hundert ausgebrütet, so daß auf jedes Jahr wenigstens zwei derselben kommen, und man ist dabei auf eine Art zu Werke gegangen, daß man sich eigentlich nur darüber wundern muß, warum man nicht noch mehr, warum man in derselben Zeit nicht wenigstens Tausend und Eines dieser Mährchen zu Tage gefördert hat. Allerdings wagt man es in unserer Zeit nicht mehr, mit einem großen Geologen des siebenzehnten Jahrhunderts, der auch zugleich ein großer Theolog gewesen seyn soll, zu behaupten, daß die großen Zähne, die man an den Ufern des Ohio gefunden hat, die Backenzähne der gefallenen Engel seyn sollen. Solche Behauptungen sind nicht mehr nach dem Geschmacke unserer Zeit, woraus aber im Geringsten nicht folgt, daß die neuen Moden auch zugleich besser oder vernünftiger sind, als jene, denen wir kaum mehr ein gutmüthiges Lächeln gönnen. Macht es doch der Quäcker Burnett, aus der letzten Hälfte des achtzehnten Jahrhunderts, um kein Haar besser, als sein Vorgänger, und benimmt sich dabei so dreist, als ob er selbst bei der Schöpfungsgeschichte einer der allernächsten Zuschauer gewesen wäre. Der berühmte Woodward nahm, um die Revolutionen, welche die Erde in der Vorzeit erfahren hat, zu erklären, ohne Weiteres an, daß einige der ewigen Gesetze der Natur auf gewisse Zeit aufgehoben seyn mußten, und er geht dabei so weit, daß man, um die Revolutionen, die in seinem eigenen Kopfe vorgegangen seyn mußten, zu erklären, die nicht minder ewigen Gesetze des Denkens, wenigstens wieder auf einige Zeit, aufzuheben gezwungen wird. Daß endlich erst in unseren Tagen die Erde als ein lebendes Thier dargestellt wurde, mit Eingeweiden und Sinnen versehen, und allen animalischen Verrichtungen des Einathmens, der Verdauung, Absonderung u. s. unterworfen, wird unsern Lesern bekannt genug seyn, um hier keine weitere Erläuterung dieser geistreichen Hypothese zu suchen. Wir wollen uns nicht damit befassen, die Meinungen aller dieser Gelehrten hier umständlich anzuführen, und noch weniger, sie zu widerlegen, was doch, wenigstens in Beziehung auf sie selbst, unmöglich wäre. Man muß diese Leute nicht stören, man muß sie gehen lassen, ja man soll sie vielleicht sogar um ihr Glück beneiden. Wir andern, die wir die Autokratie der sogenannten Vernunft anerkennen und an den Fesseln der Denkgesetze liegen, wir Armen sind gar nicht im Stande zu begreifen, wie glücklich ein Mann seyn muß, der ohne alle Gesetze und ohne allen Zwang, so allein für sich, in den Tag hineindenken darf.

§. 146. (Hypothese des Leibnitz und Whiston.) Da man die vorzüglichsten Meinungen, welche über diesen Gegenstand aufgestellt worden sind, ihrer Sonderbarkeit wegen, wenigstens historisch kennen soll, so wollen wir uns begnügen, dieselben hier so kurz als möglich mitzutheilen.

Leibnitz stellte (Protogea. Götting. 1749) die Ansicht auf, daß alle Planeten und Kometen, die Erde nicht ausgenommen, in der Vorzeit eben so viele wahre Sonnen gewesen seyen, die aber, nachdem sie älter geworden waren, ihre frühere jugendliche Kraft und mit ihr auch ihr selbstständiges Licht verloren haben. Woher aber jene Sonnen kamen und warum die noch scheinende Sonne nicht auch älter und schwächer geworden ist, fand er nicht für gut, uns zu erklären, wie denn überhaupt seine ganze Kosmogenie nur eine der vielen hingeworfenen Ideen war, mit welchen der große Mann sich in den Stunden zu vergnügen pflegte,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

in welchen er das Feld der sichern Geometrie verließ, um auf dem etwas weicheren Moorboden der Phantasie auszuruhen.

Whiston im Gegentheile machte diese Speculationen zu dem eigentlichen Gegenstande seines Lebens und brütete darüber mit einer Vorliebe und mit einem Eifer, der einer bessern Sache würdig gewesen wäre. Er hatte sich in die Kometen verliebt und mußte auch aus ihnen Alles, seine eigenen Thorheiten nicht ausgenommen, mit der bündigsten Schärfe abzuleiten. Nach seiner Meinung war die Erde anfangs selbst ein Komet, aber ohne Axendrehung, daher auch ohne Bewohner, ein todter Klotz, der sich indeß doch um die Sonne bewegte. Nach vielen Millionen von Jahren stieß er zufällig mit einem andern Kometen zusammen, wodurch er anfing, sich um seine Axe zu drehen. Der Wechsel des Tages und der Nacht, der dadurch auf der Erde entstand, lockte Pflanzen und Thiere auf ihre Oberfläche hervor. Jahrtausende durch dauerte auf derselben eine paradiesische Zeit, die unser Gelehrter mit nicht minder lebhaften Farben schildert, als die darauf folgende Periode einer allgemeinen Verderbniß, die endlich so sehr überhand genommen hatte, daß es eines neuen Kometen bedürfte, um das ganze verruchte Geschlecht in seinem Wasser zu ersäufen. Seitdem geht es, wie wir alle wissen — und da es, wie ebenfalls bekannt, bereits stark Berg ab geht, so steht in Kurzem ein vierter und letzter Komet zu erwarten, der aber weder so stößig wie der zweite, noch auch so wässerig wie der dritte, sondern der vielmehr ganz feuriger Natur seyn und die arme Erde mit Allem, was in und auf ihr ist, zu Staub und Asche verbrennen wird.

Bemerken wir noch zur Ehre unseres Geschlechtes, daß das Werk Whistons (Astronomical principles und a new theory of the earth. Cambridge 1708), in welchem er uns diese Dinge zum Besten gibt, bei seiner Erscheinung als eines der höchsten Producte des menschlichen Scharfsinnes bewundert und von Klein und Groß mit einer Gierde gelesen wurde, deren sich wohl nicht leicht ein anderer Roman bisher zu erfreuen das Glück gehabt hat.

Burnett (Telluris theoria sacra. Lond. 1816) suchte die Schöpfungsgeschichte der Genesis auf eine oft sehr sonderbare Weise mit seinen eigenen excentrischen Ideen in Uebereinstimmung zu bringen. Cartesius (Princip. Philosophiae. Amst. 1685) ließ die von jeher existirende chaotische harte Urmasse in Stücke zerspringen, die sich sofort in wirbelnde Bewegung versetzten, woraus endlich, man sieht nicht recht auf welche Weise, Sonne, Mond und Planeten herausgewirbelt wurden. Lazaro Moro wurde durch die Entstehung des Monte nuovo bei Neapel i. J. 1538 auf eine neue Schöpfungsgeschichte geführt, in welcher das Centralfeuer die Hauptrolle spielt und die man in seinem Werke (De crostacei. Venezia 1740) nachsehen kann. Pallas (Observations sur la formation des montagnes. Pétersbourg 1777) leitete die Entstehung der Welt ohne Hülfe des Feuers, aus dem Wasser des Urmeeres ab. Marschall von Bieberstein (Ueber den Ursprung des Weltgebäudes. Gießen 1802) zeigte, daß die Planeten und ihre Monde bloße Conglomerate von Meteorsteinen, also desselben Ursprungs mit unseren sogenannten Sternschnuppen sind, und was dergleichen Behauptungen mehr sind, die z. B. von Silberschlag, Scheuchzer, Hollmann, Plüche, Bourguet, Maillet und erst in den neuesten Zeiten von Wrede, Lamark, Hutton u. A. aufgestellt worden sind.

§. 147. (Buffon's Hypothese.) Auch Buffon, der Plinius unserer Zeiten, versuchte seine Kraft an diesem interessanten Gegenstande. Nach ihm war im Anfang aller Dinge bloß die Sonne und eine Unzahl von

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Kometen da, welche letztere in allen möglichen Richtungen um die erste schwärmten. Einige von diesen Kometen mußten mit der Zeit der Sonne näher kommen, als es ihnen vielleicht selbst lieb seyn mochte. Da geschah von zwei Dingen eines: entweder begegnete der Komet der Sonne beinahe in einer auf die letzte senkrechten Richtung, und dann blieb er an der Sonne hängen, um ihre Masse zu vermehren und den Verlust zu ersetzen, den sie durch das Ausströmen ihres Lichtes erleidet — oder der Komet begegnete der Sonne nur in schiefer Richtung, er streifte bloß die Oberfläche derselben und riß daher ein größeres oder kleineres Stück der Sonne ab, um es fortan auf seiner großen Bahn mit sich weiter zu führen. Da die Sonne ihrer Natur nach, die Buffon sehr genau kennt, flüssig ist, und da alle Kometen, wie er ebenfalls mit Sicherheit bestimmen kann, von der Westseite kommen müssen, wenn sie an die Sonne stoßen wollen, so erklärt sich daraus ohne allen Anstand die Entstehung sowohl, als auch die Bewegung aller unserer Planeten. Jenes abgerissene Stück der flüssigen Sonne schleppte nämlich der Komet in Form eines Baches, eines Wasserschweifes, hinter sich her, und dieser Strom trennte sich in mehrere Theile, in verschiedene größere und kleinere Kugeln, die je nach ihrer Entfernung von der Sonne, in welcher sie entstanden, eine verschiedene Geschwindigkeit um diese Sonne und auch zugleich eine Rotation um ihre eigene Axe hatten. Auf diese Weise sind also die Planeten, und auf eine ganz ähnliche sind auch die Satelliten dieser Planeten entstanden. Und weil der Komet, wie gesagt, von West gen Ost zur Sonne kam, so ist dadurch auch sofort erklärt, warum die jährliche sowohl, als auch die tägliche Bewegung der Planeten in derselben Richtung, von West gen Ost, vor sich geht.

Da man zu Buffon's Zeiten die oben erwähnte Hypothese Whiston's schon wieder vergessen hatte, so wurde diese neue Darstellung des großen französischen Naturforschers sehr lange als die beste, ja als die einzig wahre, allgemein angenommen.

Dazu trug eben sowohl der blühende Styl, mit welchem er seinen Roman auszustatten wußte, als auch die verwegene Sicherheit bei, mit welcher er den Gegenstand bis in das kleinste Detail verfolgte, als ob er bei der Schöpfung der Welt ein naher Zuschauer gewesen wäre. So behauptete er z. B., daß jenes von dem Kometen abgerissene Stück der Sonne, mit welcher unsere Erde entstand, volle 3000 Jahre in dem Zustande des Glühens und weitere 34000 Jahre durch die Wirkung der Hitze im Flusse gewesen sey; selbst nach dieser Zeit sey das Meer noch ganz mit der Atmosphäre vermengt gewesen, weil die Erde noch immer so heiß war, daß sie alles Wasser in Dämpfe verwandelte. Nach ferneren 25000 Jahren fiel endlich dieses Wasser aus der Luft herab und bedeckte die Erde bis auf 12000 Fuß Höhe. In den folgenden 20000 Jahren verlief sich dieses Wasser allmählig in die Tiefen der Erde, vorzüglich in den Gegenden um den Aequator, wohin es von beiden Polen strömte, welche letzten daher zuerst trocken und kühler wurden, daher auch in den Polarländern die ersten Spuren des vegetabilischen und animalischen Lebens getroffen wurden, und was dergleichen Dinge mehr sind, die er seinen Lesern als unbezweifelbare Wahrheiten und als Resultate, die unmittelbar aus seinen Berechnungen (!) hervorgegangen sind, aufzudringen sich bemüht.

§. 148. (Franklin's Hypothese.) Franklin's Ansicht dieses Gegenstandes hat uns Lichtenberg mitgetheilt, und was Männer, wie diese beiden, auch nur in Nebenstunden und gleichsam im Vorbeigehen, aufzunehmen der Mühe werth finden, kann auch keinem Anderen unwillkommen seyn,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

daher wir sie hier mit den Worten des Letzteren, nur etwas abgekürzt, wieder mittheilen wollen.

Zum besseren Verständnisse von Franklin's Idee wird man sich der bereits früher (I. §. 183) erwähnten Entdeckung Mariotte's erinnern, nach welcher unsere atmosphärische Luft, wenn sie zusammen gedrückt wird, an Dichtigkeit gerade so zunimmt, wie die Gewichte, durch welche der Druck bewirkt wird, so daß also ein doppelter oder dreifacher Druck auch die Luft zwei- oder dreimal so dicht macht. Die Physiker haben die hieher gehörenden Experimente schon sehr weit getrieben, und man kann sagen, daß sich die Luft endlich so stark zusammendrücken läßt, daß z. B. das Gold auf ihr schwimmen würde. Denkt man sich eine senkrechte, oben offene Höhle im Innern der Erde, und nimmt man an, daß die Luft in der Höhle mit der außer derselben, mit welcher sie im freien Zusammenhange ist, gleiche Temperatur habe und daß endlich das Mariotte'sche Gesetz durchaus für jede Tiefe, für jede Dichte der Luft gelte, so würde die Luft in der Höhle immer dichter werden, je tiefer sie läge, und bei einer Tiefe unter der Oberfläche der Erde von $7\frac{1}{2}$ deutschen Meilen würde das Wasser, von $10\frac{1}{2}$ Meilen das Zinn, von 11 Meilen das Silber und von $11\frac{1}{2}$ Meilen das Gold in dieser Luft schwimmen. Würde z. B. das Gold durch irgend eine Kraft noch unter diese Tiefe von $11\frac{1}{2}$ Meilen, in eine noch dichtere Luft gebracht und dann sich selbst überlassen, so würde es, gleich einem unter dem Wasser ausgelassenen Korkholze, bis zu der vorigen Tiefe von $11\frac{1}{2}$ Meilen hinauffahren.

Nun geht Franklin von dem Gedanken aus, daß die Zerstörungen, die wir auf der Erde bemerken, zu groß sind, als daß sie hätten entstehen können, wenn die ganze Erde, auch in unsern gegenwärtigen Zeiten, eine durchaus solide Masse wäre. Er meint also, sie bestehe in ihrem Innern aus einer Flüssigkeit, die dichter ist, als alle feste Körper, die wir auf der Erde kennen, und auf der daher diese festen Körper schwimmen können. Da nun die Luft, wie wir gesehen haben, durch Vermehrung des auf ihr lastenden Druckes einer so großen Dichtigkeit fähig werden kann, so wäre es möglich, daß die Erde selbst aus einer solchen Luft entstanden ist, die sich gegen den Mittelpunkt hin, etwa nach dem Mariotte'schen Gesetze, immer mehr und mehr verdichtet habe. In dieser Luft werden sich alle festen Körper, die entweder in sie gerathen, oder die aus ihr selbst und ihren ursprünglichen, heterogenen Bestandtheilen entstehen, jeder in eine bestimmte Entfernung von dem Mittelpunkte der Erde setzen, und wenn ihrer mehrere in gleichen Entfernungen von dem Mittelpunkte zusammen kommen, auch wohl eine Art von harter Kruste bilden, eine Rinde oder Kugelschaale, welche die innere, noch dichtere Luft ringsum einschließt, und die an manchen ihrer Stellen so dünn seyn kann, daß sie durch eine von Innen auf sie wirkende Kraft leicht dem Zerbrechen ausgesetzt wird.

Nimmt man also mit Franklin an, daß alle Materien mit ihren Kräften anfänglich wie ein Dunst durch den Weltraum verbreitet gewesen sind, so mußten sich, wenn die Anziehung der einzelnen Theile dieser Materie zu wirken anfing, die schweren Dunsttheilchen dem Mittelpunkte mehr nähern, und da sie sich, vermöge ihrer Elasticität, auch einander abstoßen, zugleich immer dichter werden, je mehr sie sich anhäuften, wodurch denn eben die erwähnte Luftkugel entstanden seyn kann, in welcher sich die übrigen Körper auf die angegebene Weise festsetzten. Viele dieser Körper, die anfangs zu tief in die Luft durch ihren Fall eingesunken waren, stiegen nachher wieder auf, schlossen sich an die übri-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gen an und bildeten endlich diese Kruste, diese Oberfläche der Erde, die wir bewohnen und die jetzt so tief in die ganze Luftkugel eingesenkt ist, daß bloß unsere gegenwärtige Atmosphäre darüber noch hervorsteht. Chemische Prozesse, Gasentwickelungen, Explosionen von Dämpfen, die unter dieser Kruste in der so stark verdichteten Luft Statt haben, werden diese Kruste an einzelnen Stellen durchbrechen, wodurch die neptunischen und vulkanischen Revolutionen erklärt werden können, die unsere Erde schon so oft erlitten zu haben scheint, oder sie werden, wenn sie jene Kruste nicht zerbrechen können, in der untern Luft Wellen verursachen, die sich auf Tausende von Meilen erstrecken und uns als Erdbeben fühlbar seyn werden.

Dieser ursprüngliche Dunst, dieser Nebel, diese chaotische Urmaterie, oder wie man sie sonst nennen will, ist nicht mit unserer atmosphärischen Luft identisch, da diese letzte gleichsam nur ein Produkt, oder der feinste Theil von jener ist. Wir haben bereits oben, bei Betrachtung der Sterngruppen und Nebelmassen des Himmels gesehen, daß die Annahme einer solchen nebelartigen Urmasse sehr viel Wahrscheinlichkeit für sich habe, eine Meinung, die schon Newton hatte, indem er behauptete, daß die ganze Welt sich aus einem flüchtigen Wesen niedergeschlagen zu haben scheine, wie sich Wasser aus Dampf niederschlägt, und daß dann dieser Niederschlag zu den mannigfaltigsten Formen zusammen geronnen sey, die wir jetzt an den Körpern der Erde bemerken.

Wem der Ausdruck, daß alle, auch die festen Körper, in letzter Analyse, aus Luft bestehen, zu auffallend erscheint, der erinnere sich nur, daß inflammable Luft, mit dephlogistisirter vermischt, Wasser gebe, und daß aus Wasser Eis werden kann, zu welchem sich jene gemischte Luft unmittelbar nicht verdichten läßt. Dieses Wasser auf gebrannten Gyps gegossen, verhärtet sich mit ihm zu einem steinförmigen Körper, aus dem wir Statuen machen, welche letztere also im Grunde aus zwei Luftarten bestehen. Wasser entsteht aus Luft, viele Pflanzen entstehen aus dem Wasser, und unzählige Thiere leben allein vom Wasser, Luft und Pflanzen, also von Luft und von solchen festen Körpern, die früher auch Luft gewesen sind. Was sind daher diese Thiere selbst gewesen? — So steht mit Eins der Elephant mit aller seiner Majestät und seinem Elfenbein da, aus Dunst zusammen geronnen, wie Franklin's Welt. — In der That, da die Natur die Pflanzen und Thiere nicht baut, wie wir unsere Häuser bauen, sondern sich derjenigen Kräfte dabei bedient, die sie in die kleinsten Elemente der Körper gelegt hat, und da diese Kräfte nur in den kleinsten Distanzen wirksam sind (§. 12), so ist immer Flüssigkeit nöthig, damit sich Alles finden und an einander fügen kann. Da aber auch diese sich bald verlieren oder durch ihre eigene Schwere nach den tiefsten Stellen ziehen würde, so müssen diese flüssigen Körper auch in elastische übergehen, d. h. in luftförmige Körper, auf die wir daher immer wieder in letzter Instanz zurück zu kommen gezwungen sind.

§. 149. (Besondere Eigenschaften des Planetensystems.) Obschon die Elemente des Planetensystems, wie es scheint, ganz willkührlich sind, so haben sich doch mehrere sehr merkwürdige Eigenheiten, die allen Bahnen gemeinschaftlich sind, und die daher auch eine besondere Betrachtung verdienen.

Man bemerkt nämlich nicht ohne Verwunderung, daß sich alle Planeten ohne Ausnahme in einer und derselben Richtung, von West nach Ost bewegen. Auch die Satelliten gehen in derselben Richtung um ihre Hauptplaneten. Ja selbst die täglichen Umdrehungen dieser Körper gehen sämmtlich von West nach Ost. Dieß ist in der That sehr auffallend.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Unser System, so weit wir es jetzt kennen, besteht aus eilf Planeten und achtzehn Satelliten. Von denjenigen, deren tägliche Rotation durch die Beobachtungen bereits ausgemacht ist, kennen wir sechs Planeten, die Sonne selbst, unsern Mond, vier Monde Jupiters und einen Mond so wie den Ring Saturns. Dieß gibt demnach zusammen dreiundvierzig Bewegungen, die alle nach derselben Seite gerichtet sind. Eine so große Anzahl kann nicht gut die Folge eines bloßen Zufalls seyn. Wendet man darauf die bekannten Regeln der Wahrscheinlichkeit an, so findet man, daß man mehrere Millionen gegen Eins wetten kann, daß dieser auffallenden Uebereinstimmung so vieler Bewegungen eine einzige gemeinschaftliche Ursache zu Grunde liege. Eine so große Wahrscheinlichkeit besitzt aber vielleicht keine einzige aller unserer sogenannten historischen Wahrheiten. Wir sind daher beinahe gezwungen, anzunehmen, daß irgend eine uns unbekannte Kraft diese Bewegungen hervorgebracht hat.

Eine andere nicht minder auffallende Eigenschaft unseres Sonnensystems ist die geringe Excentricität, die wir bei allen Planetenbahnen bemerken. Die sieben älteren haben alle sehr nahe eine kreisförmige Bahn; von den vier neuen fügt sich auch Ceres und Vesta demselben Verhältnisse, während Juno und Pallas bereits eine etwas größere, aber doch noch lange nicht eine so große Excentricität haben, wie die Kometenbahnen. Ueberhaupt sind die Bahnen der Planeten und die der Kometen durch diese zwei Eigenschaften wesentlich und zwar so stark von einander unterschieden, daß selbst der Uebergang von der einen zu der andern gänzlich vermißt wird. Von den Planeten kennt man keinen, dessen Bewegung nicht von West gen Ost gerichtet wäre. Wenn nur einer derselben sich z. B. nahe von Süd gen Nord oder umgekehrt bewegte, wo man ihm dann weder eine westliche, noch eine östliche Bewegung zuschreiben könnte, so würde dieser gleichsam ein Verbindungsglied, einen Ring zwischen den zwei Ketten bilden, an deren einer die Planeten und an der andern die Kometen angereiht sind. Aber man kennt keinen solchen Planeten, wohl aber mehrere Kometen, die sich auf diese Weise, und sehr viele, die sich von Ost gen West bewegen. Dasselbe gilt von der Excentricität. Alle Planetenbahnen haben eine sehr kleine Excentricität; selbst die der Juno, die größte unter allen, beträgt nur den vierten Theil ihrer großen Halbaxe, während im Gegentheile diejenige Kometenbahn, welche unter allen uns bekannten noch dem Kreise am nächsten liegt, die des Biela'schen Kometen schon eine Excentricität hat, die drei Viertheile ihrer halben großen Axe beträgt.

Dasselbe gilt endlich auch von den Neigungen dieser Bahnen gegen die Ekliptik oder vielmehr gegen den Sonnenäquator. Diese ist bei allen älteren Planeten ungemein klein, und selbst bei den meisten neuen noch immer sehr gering, während im Gegentheile die Neigungen der Kometenbahnen alle Grade des Halbkreises von 0° bis 180° durchlaufen.

Dieß sind aber offenbar Erscheinungen ganz anderer Art, als diejenige, welche wir bisher beobachtet haben. Die Bewegungen der Planeten in ihren Bahnen, ja selbst die sogenannten Störungen, welche diese Planeten erleiden, sind, wie wir gesehen haben, eine bloße und zugleich eine nothwendige Folge des Gesetzes der allgemeinen Schwere, und jene lassen sich auch aus Diesem vollkommen erklären. Allein die drei Erscheinungen, von welchen hier die Rede ist, sind offenbar in keinem weiteren Zusammenhange mit jenem Gesetze und müssen daher aus einer ganz anderen Quelle abgeleitet werden. Denn welches auch dieses Gesetz der Schwere seyn mag, so wird sich doch ein ihm unterworfener Planet

eben so gut von West gen Ost, als umgekehrt, um die Sonne bewegen können. Wenn daher alle, ohne Ausnahme, nur in einer und derselben Richtung sich bewegen, so kann die Ursache davon nicht in jenem Gesetze, sondern sie muß in der primitiven Einrichtung des Systems, in einer Anordnung gesucht werden, die zur Zeit der Entstehung dieses Systems getroffen worden ist. Die Richtung der Bewegung eines Planeten, die Neigung der Ebene seiner Bahn, die größere oder kleinere Excentricität dieser Bahn — dieß sind gleichsam die willkührlichen Größen des Systems, mit denen der Urheber desselben nach seinem Willen und nach Zwecken verfügt hat, von welchen es uns vielleicht gegönnt ist, einige aufzufinden.

§. 150. (Laplace's Hypothese.) Diese drei, allen Planeten zukommenden Eigenschaften, die jährliche und tägliche Bewegung von West gen Ost, die geringe Excentricität und die ebenfalls sehr kleine Neigung ihrer Bahnen, von denen man bisher noch keine Rechenschaft geben konnte, scheinen nämlich auf eine das ganze System umfassende, gemeinschaftliche Kraft zu deuten, die bei dem Entstehen dieses Systems wirksam gewesen ist, und aus deren Kenntniß wir vielleicht etwas Näheres über diese Entstehung selbst ableiten können. Diesen Weg hat Laplace genommen, um den Ursprung des Planetensystems zu erklären, wie wir sogleich näher sehen wollen.

Welches auch die Ursache, die jene drei Erscheinungen erzeugte, gewesen seyn mag, so muß sie doch offenbar alle Planeten umfaßt haben, und da diese letzten durch so große Zwischenräume von einander getrennt sind, so kann sie nur in einer, anfänglich vielleicht bloß luftförmigen Flüssigkeit von ungeheurer Ausdehnung gesucht werden. Da sie allen Planeten eine beinahe kreisförmige Bewegung, in einer und derselben Richtung, um die Sonne gegeben hat, so wird diese Flüssigkeit die Sonne in Gestalt einer Atmosphäre umgeben haben. Diese Atmosphäre der Sonne, die vielleicht ursprünglich nur eine Fortsetzung des eigenen Sonnenkörpers war, hatte also anfänglich, wahrscheinlich durch die Wirkung einer in ihr herrschenden außerordentlichen Hitze, eine Ausdehnung, die noch weit über die Bahn des Uranus herausreichte, und die sich späterhin, in Folge ihrer Abkühlung, bis auf die gegenwärtige Gränze der Sonne zurückgezogen hat.

Damals glich also unsere Sonne einem jener Nebelsterne (II. §. 241), einem großen Lichtkern, umgeben von einer sphärischen Dunsthülle. Vor dieser Zeit mag selbst jener lichte Kern noch nicht da gewesen seyn und das Ganze bloß einem äußerst dünnen, weit verbreiteten, chaotischen Nebel geglichen haben.

Wenn jener lichte Kern, der Embryo der künftigen Sonne, durch irgend eine Kraft, wozu schon die Anziehung der benachbarten Theile außer der Sonnenatmosphäre hinreichend war, eine Bewegung, eine Rotation um sich selbst hatte, so mußte an dieser Rotation auch die ganze Atmosphäre der Sonne allmählig Theil nehmen. Wenn nun die anfangs so große Hitze aus den oberen Theilen oder Schichten dieser Atmosphäre entfloh, so mußte dadurch eine Trennung der Atmosphäre in einzelnen Schichten Statt finden, deren Bestandtheile sich, wie zuvor, so auch jetzt noch um die Sonne bewegten. War ferner irgendwo in diesen Schichten eine dichtere Masse vorhanden, so zog diese nach und nach die benachbarten Theile der Schichten an sich, rundete ihre Masse zu einer Kugelform ab und die Planeten entstanden. Man sieht, daß bei einer solchen Entstehung dieser Körper die Richtung der Bewegung derselben um die Sonne mit derjenigen übereinstimmen mußte, welche die Sonne selbst

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

hatte, daß also dadurch die gemeinschaftliche jährliche Bewegung dieser Planeten von West gen Ost sehr gut erklärt wird.

Da ferner die von der Sonne entfernteren Theile eines auf diese Weise entstandenen Planeten, wegen der Rotation des ganzen Sonnenkörpers, eine größere Geschwindigkeit hatten, als die dem Kern näheren Theile, so mußte hieraus auch eine Rotation dieser Planeten um ihre Axe, und zwar in der Richtung ihrer jährlichen Bewegung folgen, wodurch auch die gemeinschaftliche Richtung der täglichen Rotation dieser Planeten auf eine sehr einfache Weise dargestellt wird.

Diese Planeten, die aus der Verdichtung der benachbarten Theile einer Schichte der Sonnenatmosphäre entstanden, werden anfangs, wo die ihrem Innern zukommende Temperatur noch immer sehr hoch gewesen seyn mag, einen viel größeren Raum eingenommen, und sich, wie oben die Sonnenatmosphäre selbst, durch allmählige Abkühlung zu einem dichtern Kern, mit einer eigenen Dunsthülle, ausgebildet haben, wo dann die allmählige Abkühlung der äußersten Schichte dieser Planetenatmosphäre ganz auf dieselbe Art die Satelliten erzeugen konnte, wie oben die Planeten selbst aus der Sonnenatmosphäre erzeugt wurden.

Bei der Absonderung der sich allmählig abkühlenden Schichten von der übrigen, inneren Atmosphäre der Sonne, mußte die Masse, aus welcher diese Schichten bestanden, durch die Rotation der Sonne gegen den Aequator derselben hingetrieben werden, wodurch die oben erwähnte Erscheinung erklärt wird, daß nämlich die Bahnen aller Planeten nur in der Nähe des Sonnenäquators angetroffen werden, oder daß ihre Neigungen gegen die Ebene dieses Aequators sämmtlich sehr klein sind.

Wenn sich die äußerste Kugelschaale der Sonnenatmosphäre in Gestalt einer bereits mehr erkalteten, aber immer noch sehr erwärmten Flüssigkeit, durch die Rotation des Sonnenkörpers, auf eine für alle Theile dieser Schichte gleichmäßige Art zu dem Aequator herabsenkt, ohne sich in ihren einzelnen Partien zu trennen, und wenn auch die Conglomeration der Masse dieser Schichte um ihren neuen Kern mit ungestörter Regelmäßigkeit vor sich geht, so wird ein flüssiger, später durch weitere Abkühlung sich consolidirender Ring um diesen Kern entstehen. Aber die Regelmäßigkeit, die zur Bildung eines solchen Ringes nothwendig ist, wird eine Erscheinung dieser Art immer sehr selten machen, daher wir auch in unserem ganzen Sonnensysteme nur ein einziges Beispiel eines solchen Ringes, bei Saturn, antreffen. In den meisten Fällen wird der Ring schon in den ersten Zeiten seiner Bildung in mehrere abgesonderte Massen bersten, die dann für sich, als die Satelliten des neuen Planeten, ihren Weg um denselben zurücklegen.

Dieselbe Regelmäßigkeit der Bildung der Planeten würde, wenn sie in der That Statt gehabt hätte, die Planeten vollkommen in die Ebene des Sonnenäquators, und die Satelliten genau in die Ebene der Aequatoren ihrer Hauptplaneten gelegt haben, so wie sie auch die Bahnen aller dieser Körper zu vollkommenen Kreisen gemacht haben würde. Jede kleine Störung dieser Regelmäßigkeit wird aber Veränderungen in den Neigungen sowohl, als auch in den Excentricitäten dieser Bahnen hervorgebracht haben, und es scheint, daß diese Störungen nie groß genug gewesen sind, um das eine oder das andere dieser beiden Elemente zu stark von ihrem ursprünglichen Zustande zu entfernen, daher wir die Neigungen sowohl, als auch die Excentricitäten aller Planetenbahnen in so enge Gränzen eingeschlossen finden.

Nach dieser Hypothese, die mit den früher (II. §. 256) mitgetheilten Erscheinungen bei den Nebelmassen des Himmels sehr wohl übereinstimmt,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

befand sich also die Sonne, oder wenigstens die nächste Umgebung, die Atmosphäre ihres Kerns, ursprünglich in einem luftförmigen Zustande. Die Masse dieser Atmosphäre mag nahe den siebenhundertsten Theil der ganzen Sonnenmasse betragen haben, da die Massen aller Planeten und Satelliten, die aus dieser Atmosphäre entstanden sind, dasselbe Verhältniß zur gegenwärtigen Masse der Sonne haben.

§. 151. (Rücksicht auf die Kometen bei dieser Hypothese.) Bei dieser Darstellung des Ursprungs unseres Planetensystems ist, wie man sieht, auf die Kometen keine Rücksicht genommen worden. Wenn aber die Kometen den Nebelmassen des Himmels ähnliche Körper sind, mit denen sie so Vieles gemein zu haben scheinen, so kann man annehmen, daß diese kleineren Nebelmassen von einem Sonnensysteme zu dem anderen in dem Weltraume umherirren und daß sie durch die Condensation des Urnebels entstehen, der in so erstaunenswürdiger Menge in dem Universum zerstreut ist. Aus diesem Gesichtspunkte betrachtet wären daher die Kometen für das Sonnensystem das, was die Aerolithen für unsere Erde sind, da diese der Erde eben so fremd zu seyn scheinen, als jene der Sonne. Diese Kometen sehen jenen Nebelmassen zuweilen so täuschend ähnlich, daß man sie oft genug mit ihnen verwechselt hat und daß man sie nur durch ihre eigene Bewegung von jenen unterscheiden. Auch zeigen sie uns, wie ihre in den Aphelien vielleicht sehr feste Masse durch die hohe Temperatur, welcher sie in ihren Sonnennähen ausgesetzt sind, sich bis zu einer luftförmigen Dunstwolke von einer so geringen Dichtigkeit verbreitet, daß man durch dieselbe, ihres großen Volums ungeachtet, doch noch die feinsten Sterne durchblicken sieht. Warum sollte ein Zustand, den diese Körper bei jedem ihrer Durchgänge durch das Perihelium erfahren, nicht auch einmal bei der Sonne selbst zur Zeit ihrer Entstehung möglich gewesen seyn?

Man kann daher annehmen, daß unser Sonnensystem anfänglich bloß aus dem Hauptkörper, aus der Sonne selbst, die aber damals einen viel größeren Raum einnahm, bestanden habe, und daß dieselbe von den in allen Gegenden des Weltraums zerstreuten, ihr selbst aber fremden Kometen umkreist worden sey. Da diese Kometen auf ihren Bahnen der Sonne mit verschiedenen Geschwindigkeiten und in verschiedenen Richtungen begegneten, so mußten auch ihre Neigungen alle möglichen Lagen gegen die Ekliptik haben, wie dieß den Beobachtungen vollkommen gemäß ist.

Nicht minder genügend wird auch dadurch die große Excentricität der Bahnen dieser Kometen erklärt. Wenn sie elliptisch sind, so müssen sie auch zugleich sehr länglich seyn, weil ihre großen Axen wenigstens eben so groß, als der Durchmesser der Sonne zu der Zeit seyn mußten, da dieser Centralkörper selbst noch so stark ausgedehnt war. Viele dieser Bahnen sind aber auch ohne Zweifel hyperbolisch; allein da wir die Kometen nur dann sehen können, wenn sie der Erde, also auch der Sonne näher kommen, so wird in dieser Nähe der hyperbolische Bogen der Bahn, wegen der ungemeinen Größe seiner Axe, einem parabolischen immer sehr nahe kommen und daher leicht mit ihm verwechselt werden können.

Dieß mag die Ursache seyn, warum wir noch keinen Kometen gefunden haben, dessen Bahn ganz sicher als eine hyperbolische erkannt wurde, da im Gegentheile bei den meisten derselben die Parabel hinreicht, die Beobachtungen dieser Himmelskörper darzustellen.

Einige dieser Kometen sind auch wohl in die Atmosphäre der Sonne zu der Zeit gestürzt, als diese noch in ihrer Bildung begriffen war. In diesem Falle mußten sie, in dem widerstehenden Mittel dieser Atmosphäre,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Spiralen beschreiben und entweder sich mit dem Kern der Sonne vereinigen, oder, wenn sie früher einem Planeten begegneten, durch ihren Stoß die Ebene der Bahn und des Aequators dieser Planeten von der Ebene des Sonnenäquators entfernen, wodurch die verschiedenen Neigungen dieser Bahnen und die schiefe Stellung ihrer Rotationsaxen erklärt werden kann.

§. 152. (Bemerkungen über diese Hypothese.) So schön und sinnreich diese Erklärung erscheint, so kann sie doch, wie auch Laplace selbst bemerkt, nur mit demjenigen Mißtrauen vorgetragen werden, dem Alles ausgesetzt bleiben muß, was nicht unmittelbares Resultat einer strengen Berechnung ist. Sie setzt voraus, daß die Masse, aus welcher unser Planetensystem entstanden ist, anfänglich in einem flüssigen Zustande gewesen ist. Dieß ist allerdings sehr wahrscheinlich, da zur Zeit der ersten Entwicklung dieses Systems die festen und flüssigen Körper, aus denen es bestand, noch nicht gesondert seyn konnten. Für die Erde wurde dieß schon oben §. 135 gezeigt; für den Mond läßt sich, wie wir §. 119 gesehen haben, die Gleichheit seiner Revolution und Rotation ebenfalls nicht wohl anders erklären, als wenn wir die Masse desselben zur Zeit seiner Entstehung flüssig annehmen, und selbst die merkwürdigen Verhältnisse, welche zwischen den Umlaufszeiten und den mittleren Längen der drei ersten Satelliten Jupiters Statt haben (I. §. 177), müssen ihren Ursprung in einer ähnlichen Ursache haben. Wenn nämlich diese Verhältnisse zur Zeit der Entstehung dieser Satelliten nicht ganz genau Statt hatten, was äußerst unwahrscheinlich ist, wenn diese Längen und Umlaufszeiten auch nur beinahe das gegenwärtige Verhältniß hatten, so war, wenn anders die Masse dieser Satelliten ursprünglich flüssig war, die bloße Anziehung ihres mächtigen Hauptplaneten schon hinreichend, durch die Verlängerung der gegen diesen Planeten gerichteten Monddurchmesser, jenes Verhältniß in seiner ganzen Strenge herzustellen und zu erhalten.

Demungeachtet wird eine nähere Betrachtung dieser Hypothese bald finden, daß auch hier noch einige Zweifel zu lösen sind, um sie in allen Beziehungen als vollkommen befriedigend anzuerkennen. Ohne davon sprechen zu wollen, wo und was diese in einem so weiten Raum ausgedehnte Sonne vor jener Zeit gewesen ist, sieht man doch keinen Grund, warum die sich von der Sonne allmählig absondernden Theile ihre Kraft der Selbstleuchtung verloren haben, die dem übrigen Theile der Sonne, so wie wir sie jetzt sehen, noch beiwohnt. Die Kometen werden bei dieser Hypothese als dem Systeme fremde Körper betrachtet, da sie sich doch eben so, wie die Planeten, und nach denselben Gesetzen, um dieselbe Sonne bewegen. Zudem sind eben sie es, die, wie wir oben (I. §. 155) gezeigt haben, die eigentliche Bevölkerung unseres Sonnenstaates ausmachen, da ihre Anzahl die der wenigen Planeten vielleicht Millionenmal übertrifft. Diese Kometen aber lassen sich, in Beziehung auf ihre Excentricität, auf ihre Neigung und auf die Richtung ihrer Bewegung durchaus nicht mit jener Hypothese in Uebereinstimmung bringen, mit der sie vielmehr in directem Widerspruche stehen. Endlich läßt sich auch das Verhältniß der Dichtigkeiten der Planeten und der Sonne selbst nicht wohl mit jener Hypothese vereinigen, da diese Dichtigkeiten nach irgend einem Gesetze von der mittleren Entfernung der Planeten von der Sonne abhängen sollten, wenn sie in der That auf die oben erwähnte Weise entstanden sind. Allein nach der in §. 54 gegebenen Tafel ist die Dichte des Uranus größer, als die des Saturn, und Saturn hat wieder eine kleinere Dichte, als Jupiter. Merkur, der nächste Planet an der

Sonne, hat die größte Dichte unter allen älteren Planeten, und diese Sonne selbst, die doch vor allen übrigen die dichteste Masse haben sollte, besteht aus einem mehr als fünfzehnmal lockerern Gewebe, als Merkur.

Endlich wollen wir noch bemerken, daß dieselbe Hypothese mit allen ihren Hauptmomenten schon früher von einem Manne aufgestellt worden ist, auf den unser deutsches Vaterland stolz zu seyn Ursache hat. Kant hat in seiner Schrift: „Allgemeine Naturgeschichte und Theorie „des Himmels. Königsberg 1755“ aus denselben drei allgemeinen Erscheinungen unseres Planetensystems dieselben Folgerungen abgeleitet und auf eine seinem Geiste würdige Art ausgeführt, so daß die Nachwelt diese Entdeckung, wenn sie sich bewährt, mit Recht nach seinem Namen nennen wird.

Kapitel XII.

Dauer des Weltsystems.

§. 153. (Welche Art von Störungen hier betrachtet werden.) Nachdem wir in dem vorhergehenden Kapitel es gewagt haben, unsere Untersuchungen über den Zustand des Sonnensystems in der grauen Vorzeit auszudehnen, wollen wir nun auch unsern Blick in die ferne Zukunft richten und zusehen, was wir da zu hoffen oder zu fürchten haben.

Wir haben in diesem Systeme mehrere Eigenheiten entdeckt, die uns in den Stand setzten, auf den Zustand desselben in einer Epoche, von welcher der Anfang unserer Menschengeschichte ohne Zweifel sehr weit entfernt ist, wenigstens mit einiger Wahrscheinlichkeit zurückzuschließen. Sollte es nicht auch einige andere Eigenheiten dieses Systems geben, die uns Mittel darbieten, das Schicksal desselben in der fernen Zukunft wenigstens so weit zu entschleiern, um daraus einige Beruhigung für die fernere Dauer dieses großen und wunderbaren Gebäudes abzuleiten? Wenn auch wir selbst und Alles, was mit uns auf dieser Erde lebt, wieder zu dem Staube zurückkehren müssen, von dem wir genommen sind, und wenn wir uns willig in dieses allen lebenden Wesen gemeinsame Loos ergeben, so können wir doch den Wunsch nicht unterdrücken, daß nach unserem Abtreten von diesem Schauplatze wieder andere Wesen, in immer fortgehender Reihe, auf derselben Bühne sich ihres Lebens freuen, daß der Himmel, der jetzt über uns ausgespannt ist, bleiben und bestehen, und daß dieselbe Sonne und derselbe Mond, die uns in unserem Leben oft so freundlich geleuchtet haben, auch noch die Blumen bescheinen möge, die in der fernsten Zukunft über unsern Gräbern blühen werden.

Man sieht ohne mein Erinnern, daß bei Untersuchungen dieser Art

nicht von solchen Störungen die Rede seyn kann, die durch unvorherzusehende, äußere Kräfte bewirkt werden. Vielleicht wird ein uns noch unbekannter Komet unsere Erde zertrümmern, oder in seinen Fluthen ersäufen, oder sie zu Asche verbrennen und die Trümmer derselben in den Weltenraum zerstreuen. Vielleicht wird einst dieses ganze System, wie jener Fixstern in der Cassiopeia, durch irgend eine uns ebenfalls unbekannte Ursache in Brand gerathen und auflodern, so daß von allem, was uns jetzt umgibt, keine Spur mehr zu finden seyn wird. Solche Katastrophen, sie mögen nun möglich seyn oder nicht, sind nicht vorauszusehen, und stehen in keinem weitern Zusammenhange mit einer in der Folge der Zeiten auf natürlichem Wege nothwendigen oder vorauszuberechnenden Zerstörung, von der hier allein die Rede seyn kann. Daß ein Mensch vom Blitze getödtet wird, kann keinen Einfluß auf die kürzere oder längere Dauer des ganzen Geschlechts haben. Aber daß alle Menschen und überhaupt alle lebende Wesen immerwährenden Reibungen und Abnutzungen ihrer Körper unterworfen sind, dieß läßt uns nur gar zu gewiß auf einen endlichen Stillstand der ganzen Maschine schließen. Und jene große, bewunderungswürdige Maschine über uns — trägt sie auch solche Spuren, aus denen wir, wenn auch in der fernsten Zukunft, auf ihren Stillstand, auf ihre Auflösung schließen können?

Man sieht, daß hier vorzüglich von denjenigen Störungen die Rede ist, welchen die einzelnen Körper unseres Sonnensystems unterworfen sind. Wir haben bereits oben (§. 76) gesehen, daß diese Störungen zweierlei Art sind. Die periodischen, welche bloß den Ort der Planeten in seiner Bahn angeben, und die säculären, welche diese Bahn selbst mit der Zeit verändern. Die ersten können offenbar keinen Einfluß auf eine einstige Zerstörung des Ganzen haben. Aber die zweiten? — Sie könnten es, und sie würden es auch, wenn anders diese Aenderungen der Bahnen mit der Zeit, also ohne Ende, und immer nach derselben Richtung fortgingen. Allein das thun sie nicht, wie wir bereits oben gezeigt haben. Und so scheint denn auch, von dieser Seite wenigstens, nichts zu fürchten.

§. 154. (Vorzügliche Rücksicht auf drei Elemente der Planetenbahnen.) Da diese Sache schon an sich, und besonders in Beziehung auf uns selbst von so großer Wichtigkeit ist, so wird es nicht unangemessen seyn, sie etwas näher zu betrachten.

Es ist bereits oben (I. §. 142) gesagt worden, daß jede Bahn eines Planeten oder Kometen sechs Bestimmungsstücke oder Elemente hat, an denen man sie erkennen und von allen andern unterscheiden kann. Diese Elemente sind: 1) die große Axe oder die Umlaufszeit; 2) die Excentricität; 3) die Neigung der Bahn; 4) die Länge des Perihelium; 5) die Länge der Knotenlinie und 6) die Epoche oder der Ort des Planeten in seiner Bahn zu einer gegebenen Zeit.

Es wird nicht nothwendig seyn, hier umständlich zu zeigen, daß die drei letzten der sechs genannten Elemente in Beziehung auf die längere Fortdauer des ganzen Systems ganz gleichgültig und ohne allen Einfluß sind. Ob die große Axe nach dieser oder nach einer andern Gegend des Himmels gerichtet ist, ob die Planetenbahn die Ebene der Ecliptik in dieser oder in einer anderen Linie schneidet, das kann die Stabilität des Ganzen im Allgemeinen eben so wenig stören, als dieselbe von dem Orte des Planeten in seiner Bahn zu irgend einer Zeit abhängig seyn kann.

Nicht so ist es aber mit den drei erstgenannten Elementen. Die große Axe darf durchaus gar keiner Aenderung unterworfen seyn, selbst nicht einer periodischen, weil eine solche, der Natur der Sache nach, so

fort in ein immerwährendes Wachsen oder Abnehmen derselben übergehen würde, deren zerstörende Folgen für das Ganze wir bereits oben (§. 132) näher angegeben haben. Die beiden anderen Elemente aber, die Excentricität und die Neigung der Bahn, können wohl solche Aenderungen leiden, aber diese Aenderungen müssen in bestimmte Grenzen eingeschlossen seyn, wenn sie das System in die Länge nicht gefährden sollen. Wenn z. B. die Excentricität der Erdbahn mit der Zeit immer größer, oder wenn diese Bahn selbst immer ovaler werden, oder wenn der Mond in seinem Laufe der Erde immer näher kommen möchte, so würde in dem ersten Falle, wie wir bereits oben (§. 96) gezeigt haben, unser Jahr seinen Charakter in Beziehung auf die Temperatur gänzlich ändern, und in dem zweiten Falle würde der Mond endlich auf die Erde stürzen müssen. Wenn die Excentricitäten der andern Planeten ähnlichen Veränderungen unterworfen wären, so würden mehrere von ihnen der Erde einmal sehr nahe kommen, unsere und auch ihre Jahre würden bald sehr kurz, bald wieder sehr lang seyn, unsere Jahreszeiten würden sich an keine bestimmte Temperatur mehr binden, die jetzt scheinbar nur kleineren Planeten und die Monde derselben würden, wenn sie uns näher kämen, zu einer ungeheuren Größe erwachsen, und wieder andere sich unserem Anblicke gänzlich entziehen; die Fluthen des Meeres würden, gleich so vielen Sündfluthen, von Zeit zu Zeit die ganze Erde überschwemmen, und die am Ende unvermeidliche Colliſion unserer Erde mit einem der andern Himmelskörper würde alle Organisation auf beiden, und vielleicht beide Körper selbst zerstören.

Nun zeigt die Analyse, daß z. B. die Entwicklung der meisten dieser Elemente aus Reihen besteht, deren Glieder alle, bis auf eines, nur Sinus von Winkeln enthalten, die mit der Zeit fortgehen. Da aber die Sinus bekanntlich selbst nur periodisch zu- und abnehmende Größen sind, so würden auch jene drei Elemente dergleichen Größen seyn, wenn jene Reihe nicht noch ein Glied enthielte, das der Zeit selbst proportional ist. Vermöge dieses letzten Gliedes können also jene Elemente selbst ohne Gränzen wachsen, und sie thun dieses auch, doch, wie gesagt, ohne alle Gefahr für die Stabilität des ganzen Systems. Die drei ersten Elemente aber zeigen, wenn sie ebenfalls in Reihen entwickelt werden, durchaus nur Glieder, welche die Cosinus jener Winkel, und kein der Zeit selbst proportionales Glied enthalten, woraus man denn den Schluß gezogen hat, daß auch diese drei Elemente keine mit der Zeit fortgehende, sondern nur periodisch wiederkehrende Aenderungen erleiden können.

§. 155. (Berichtigung der vorhergehenden Betrachtung.) Allein dieser Schluß, mit welchem man sich lange begnügte, ist nicht ganz richtig. Poisson hat zuerst gezeigt (Conn. des tems 1830), daß es nicht genug ist, wenn diese Reihen bloße Cosinus enthalten, damit jene Elemente nicht ohne Aufhören wachsen, oder abnehmen können, sondern daß auch noch diese Reihen convergent seyn, d. h. daß ihre auf einander folgenden Glieder immer kleiner seyn müssen, wenn jener auf sie gebaute Schluß vollkommen streng seyn soll.

Was nun die Reihe für die große Axe der Bahnen betrifft, so ist sie, wie man zeigen kann, immer convergent, und überdieß der Art, daß ihre Veränderung, wenn man statt der in ihr enthaltenen allgemeinen Zeichen die numerischen Werthe für jeden Planeten substituirt, immer gleich Null ist, wie schon oben (§. 133) gesagt wurde. Von dieser Seite, und sie ist die wichtigste von allen, ist also für eine Störung der Stabilität unseres Sonnensystems weiter nichts zu besorgen.

Die Entwicklung für die Excentricität und die Neigungen der Bahnen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

aber gibt Reihen, von welchen es sehr schwer ist, mit Bestimmtheit zu sagen, ob sie convergiren oder nicht. Poisson hat jedoch gefunden, daß die Beschaffenheit dieser beiden Elemente auch von zwei Gleichungen abhänge, die in Beziehung auf unsern Gegenstand von der größten Wichtigkeit sind. Wenn nämlich diese Gleichungen auch nur zwei reelle und gleiche, oder auch wenn sie zwei imaginäre Wurzeln haben, so mögen jene Reihen immerhin convergent seyn: diese beiden Elemente können doch proportional mit der Zeit, d. h. ohne Ende wachsen, und die endliche Zerstörung des Systems würde darum nicht weniger gewiß heraufgeführt werden.

Nun hat aber schon früher Laplace gezeigt, daß die Wurzeln dieser beiden Gleichungen in einem bestimmten Falle immer reell und unter sich ungleich seyn werden, und dieser Fall tritt dann ein, wenn die Planeten alle sich nach derselben Richtung um die Sonne bewegen. Dieß hat aber glücklicher Weise in unserem Systeme statt, wo sich alle Planeten ohne Ausnahme von West nach Ost bewegen, und die unmittelbare Folge davon ist, daß die Excentricitäten sowohl, als auch die Neigungen der Bahnen dieser Planeten nicht mehr ohne Ende wachsen, sondern daß sie immer nur zwischen zwei Gränzen, und zwar zwischen zwei sehr engen Gränzen auf und nieder gehen können, oder mit anderen Worten, daß die Stabilität unseres Systems gesichert, und die Fortdauer desselben gleichsam für immerwährende Zeiten bedingt wird.

Eine nähere Betrachtung dieses Gegenstandes läßt uns selbst noch mehrere andere Einrichtungen entdecken, die, da sie der Rechnung nicht unterworfen werden können, mehr das Gepräge des Zufalls tragen, während sie vielleicht in der That absichtlich zu demselben Zwecke dienen. So haben von den ältern Planeten Merkur und Mars die größte Excentricität, aber auch die kleinsten Massen, und von den vier neuen Planeten sind die Excentricitäten sehr groß, aber auch die Massen äußerst gering. Wenn Jupiter, der größte aller Planeten, eine solche Excentricität seiner Bahn hätte, wie Juno oder Pallas, so würde es um die Stabilität unseres Sonnensystems wahrscheinlich sehr schlimm stehen. Die Erde und andere kleinere Planeten würden durch die äußerst ungleichen Attractionen Jupiters, ihre jetzt nahe kreisförmigen Bahnen in sehr langgedehnte Ellipsen verwandeln, und entweder in die Sonne stürzen oder auch von ihr in immer weiter entfernte Gegenden des Himmels sich verlieren. Noch viel auffallender endlich erscheint diese Verbindung großer Excentricitäten mit sehr kleinen Massen bei den Kometen, die, wenn sie mit beträchtlicheren Massen versehen wären, bei ihrer großen Anzahl und der Ungebundenheit ihrer Bewegungen nach allen Richtungen des Himmels, nicht anders als zerstörend auf unser Sonnensystem einwirken könnten.

§. 156. (Merkwürdige, hieher gehörende Gleichungen.) Derselbe große Geometer nämlich, dem wir so viele schöne Entdeckungen in diesen höheren Gefilden der Sternkunde verdanken, hat gefunden, daß zwischen den drei Elementen, von welchen hier vorzüglich die Rede ist, und zwischen den Massen der Planeten mehrere Gleichungen existiren, deren Grund wir zwar hier nicht näher angeben können, die aber zu wichtig und zu interessant sind, um ganz übergangen zu werden.

Man denke sich von irgend einem Planeten, z. B. von Merkur das dreifache Produkt, dessen Faktoren die Masse dieser Planeten, das Quadrat seiner Excentricität, und die Quadratwurzel seiner großen Axe sind. Nennt man dieses Produkt für Merkur a, für Venus a', für die Erd ea'' u. s. w., so zeigen jene höheren Rechnungen, daß die Summe aller dieser

Grösser a, a', a''.. für alle Zeiten eine constante oder unveränderliche Grösse seyn müsse. Nun ist die Masse eines jeden Planeten, wenn man die Sonnenmasse als Einheit annimmt, so wie auch das Quadrat der Excentricität, wenn man die halbe große Axe der Bahn als Einheit voraussetzt, den Beobachtungen gemäß, bei allen Planeten eine sehr kleine Größe, also muß auch die Größe a, a', a''.. und daher auch jene Constante, wenigstens bei dem gegenwärtigen Zustande unsers Planetensystems, eine sehr kleine Größe seyn. Allein da diese Constante, wie gesagt, eine für alle Zeiten unveränderliche, also auch immer nur eine sehr geringe Größe ist, so müssen auch die einzelnen Glieder a, a', a''.. jener Summe immer nur sehr klein seyn. Diese Glieder bestehen aber aus den Massen und den halben Axen der Bahnen, die, wie bereits bekannt, immer dieselben bleiben, und endlich aus den Excentricitäten dieser Bahnen, welche letztere daher ebenfalls immer sehr klein bleiben müssen, weil die Glieder a, a', a''.. wie wir gesehen haben, nur sehr kleine Werthe haben können.

In der That, wenn auch nur ein einziges dieser Glieder a, a', a''.. mit der Zeit sehr groß werden könnte, d. h. also, wenn nur eine einzige Excentricität unseres Sonnensystems ohne Ende wachsen könnte, so würde dadurch jene Summe, oder, was dasselbe ist, jene Constante selbst unendlich groß werden. Allein sie ist jetzt, wie die Beobachtungen zeigen, sehr klein, und muß daher, da sie eine Constante ist, immer sehr klein bleiben, also kann auch nicht eine einzige jener Excentricitäten über alle Gränzen hinaus wachsen, sondern alle müssen vielmehr immer zwischen zwei engen Werthen, über welche sie sich nie entfernen können, eingeschlossen bleiben, — *vorausgesetzt* nämlich, daß alle jene Glieder a, a', a''... *positive* Größen sind. Wenn auch nur eines derselben einen negativen Werth erhielte, so würden die obigen Schlüsse offenbar nicht mehr angewendet werden können. Dann könnten nämlich zwei dieser Glieder ohne Anstand in's Unendliche zunehmen, und ihre Summe doch noch eine sehr kleine Größe bleiben, wenn nur das eine dieser Glieder positiv, und das andere negativ wäre. Allein dieser Fall kann in unserem Planetensystem nie eintreten. Und warum nicht? — Aus dem bereits oben angegebenen Grunde: weil nämlich die Bewegungen aller Planeten durchaus nach derselben Richtung vor sich gehen. In diesem Falle muß man nämlich von den beiden Zeichen, die jeder Quadratwurzel, also auch der oben erwähnten Wurzel der großen Axe eigen sind, in allen Gliedern a, a', a''.. immer *dasselbe* Zeichen nehmen, so daß die positiven Werthe dieser Größen genommen werden müssen, wenn die Planeten von West nach Ost, und die negativen, wenn sie von Ost nach West gehen. Da nun in unserem Sonnensysteme alle Planeten von West nach Ost sich um die Sonne bewegen, und da überdieß die Massen derselben, so wie die Quadrate der Excentricitäten ihrer Bahnen, schon an sich positive Größen sind, so sind auch alle jene Glieder a, a', a''.. selbst positiv, und der angeführte Schluß, daß diese Excentricitäten für immerwährende Zeiten nur kleine Größen bleiben müssen oder nie über bestimmte Gränzen hinauswachsen können, ist daher hier in seiner ganzen Stärke anwendbar.

Einen ganz ähnlichen Ausdruck erhält man auch für die Neigungen der Bahnen gegen die Ecliptik. Nennt man nämlich wieder b das dreifache Produkt der Masse eines Planeten in das Quadrat der Tangente der Neigung, und in die Quadratwurzel der großen Axe der Bahn, und bezeichnet man für einen zweiten Planeten dasselbe Produkt durch b', für einen dritten durch b'' u. s. w., so zeigt die Analyse, daß die Summe der Größen b, b', b''.. in unserm Systeme eine für alle Zeiten unver-

änderliche Größe ist. Diese Größe ist aber jetzt, den Beobachtungen gemäß, sehr klein, also muß sie auch immerfort sehr klein bleiben, und zwar aus derselben Ursache, weil die Größen b, b′, b″.. alle positiv, oder, mit andern Worten, weil die Bewegungen der Planeten alle nach derselben Seite gerichtet sind.

§. 157. (Folgerungen aus dem Vorhergehenden.) Wir sehen daher, daß vermöge einer sehr einfachen Einrichtung unseres Sonnensystems die großen Axen der Bahnen völlig unveränderlich sind, und daß die Excentricitäten und die Neigungen derselben sich zwar ändern, aber daß auch diese Aenderungen in bestimmte, meistens sehr enge Gränzen eingeschlossen sind, welche diese beiden Größen nie überschreiten können. Da aber die Beständigkeit dieser drei Elemente es vorzüglich ist, von welcher die Erhaltung unsers Systems und die ungestörte Ordnung desselben für die Folgezeit abhängt, so dürfen wir daraus den Schluß ziehen, daß es bei der Entstehung dieses Systems in der Absicht der Natur lag, ihm diese Erhaltung zu sichern, und demselben das Siegel einer immerwährenden Dauer aufzudrücken. Diesen Zweck hat sie vorzüglich durch zwei, auf den ersten Blick nur geringfügig scheinende Mittel erreicht, indem sie nämlich für die großen Axen, oder was dasselbe ist, für die Umlaufszeiten dieser Planeten keine andere, als incommensurable Zahlen (§. 134) gewählt hat, wodurch sie die Unveränderlichkeit der großen Axe, dieses für die Stabilität des Ganzen wichtigsten Elementes (§. 132) sicherte, und indem sie die Bewegungen der Planeten so eingerichtet hat, daß sie sich alle nach derselben Seite um die Sonne bewegen.

§. 158. (Andere Gründe für die Stabilität des Sonnensystems.) Eine andere schon der geringsten Aufmerksamkeit auffallende Einrichtung des Planetensystems scheint denselben Zweck zu haben. Der Sonnenstaat ist, wie schon früher bemerkt wurde, nicht nur in seinem Ganzen, sondern selbst in den einzelnen Theilen desselben wesentlich monarchisch geordnet. Die Sonne, der Mittelpunkt der Bewegungen der Planeten, überwiegt alle diese Planeten zusammen genommen an Masse, d. h. an eigener intensiver Stärke mehr als siebenhundertmal, und eine ähnliche Präponderanz bemerken wir auch bei allen Hauptplaneten in Beziehung auf ihre Satelliten. Die Masse der Erde ist 70mal größer als die des Mondes, und die Masse Jupiters übertrifft die aller seiner vier Monde sogar gegen 6000mal. Die daraus folgenden mächtigen Anziehungen der Sonne auf die Planeten, und der Hauptplaneten auf ihre Satelliten lassen keine so beträchtliche Störungen in diesem Staate aufkommen, von denen man eine Zerrüttung oder auch nur eine größere Unordnung des Ganzen besorgen könnte. Wenn z. B. Jupiter plötzlich aus diesem Systeme ausgeschieden würde, so würden wir seine Monde, die wir jetzt in so schöner Ordnung um ihn gehen sehen, sich sofort in dem Raume zerstreuen, und den einen in Ellipsen um die Sonne gehen, den andern aber in hyperbolischen Bahnen sich von derselben entfernen sehen. Aber das Daseyn mächtiger, alle andern so weit überwiegender Kräfte ist ein wesentlicher Schutz für ein System, das in allen seinen Theilen beisammen bleiben, und in der Regelmäßigkeit seiner Bewegungen nicht wesentlich gestört werden soll.

Selbst auf unserer Erde bemerken wir ähnliche Spuren dieser Absicht der Natur, ihren Werken Bestand und Dauer zu geben. Dahin gehört vorzüglich die bereits oben (§. 123) betrachtete Stabilität der Pole auf der Oberfläche der Erde, und das durch die Beobachtungen so vieler Jahrtausende bestätigte Gleichgewicht der Meere, die einen so großen Theil dieser Erde bedecken. Diese beiden Erscheinungen, die zur Erhaltung

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

organischer Wesen unumgänglich nothwendig sind, können als ein einfaches Resultat der Rotation der Erde, verbunden mit der allgemeinen Schwere aller Körper betrachtet werden. Denn durch jene Rotation wurde die Erde an ihren Polen abgeplattet, und durch diese Abplattung ist die Rotationsaxe der Erde eine freie (§. 126) und invariable Axe derselben geworden. Durch die Wirkung der allgemeinen Schwere aber mußte die Erdmasse gegen ihren Mittelpunkt viel dichter werden, als in der Nähe ihrer Oberfläche, so daß jetzt die mittlere Dichte der ganzen Erde die des Meerwassers weit übertrifft, was allein schon hinreicht, diese Meere selbst in stetem Gleichgewichte zu erhalten und der Wuth ihrer Fluthen einen Zügel anzulegen.

Nach allen diesen Beobachtungen scheint es daher, daß der große Urheber der Natur es absichtlich so eingerichtet habe, daß die Dauer seines schönen und großen Werkes gesichert bleibe, und daß er in seiner Anlage zu dem Sonnensystem von denselben Ansichten ausgegangen ist, die er auf der Erde, zur Erhaltung ihrer selbst sowohl, als auch der auf ihr lebenden Geschöpfe beobachtet hat.

§. 159. (Bewegung der Himmelskörper im widerstehenden Mittel.) Schon die allgemeine Verbreitung des Lichts in dem Weltraume zeigt, daß dieser Raum nicht ganz leer seyn kann, sondern daß er mit einer, wenn gleich äußerst feinen Materie erfüllt seyn muß. Bei den äußerst compacten Körpern der Planeten ist uns der Widerstand, welchen ein solches Mittel der Bewegung dieser Körper entgegensetzt, noch nicht bemerklich geworden, aber bei dem Encke'schen Kometen hat man bereits (II. §. 175) eine ähnliche Wirkung bemerkt und den Beobachtungen zu Folge soll jede Revolution dieses Kometen um nahe einen Tag kleiner seyn, als die vorhergehende. Man kann übrigens durch eine strenge Rechnung zeigen, daß in Folge eines solchen widerstehenden Mittels die große Axe, also auch die Umlaufszeit des Kometen um die Sonne immer kleiner werden, und daß daher der Körper selbst endlich in die Sonne stürzen muß. Die Excentricität der Bahn aber und die Länge des Periheliums werden durch diesen Widerstand bestimmten Veränderungen ausgesetzt, die mit der Folge der Zeit oder mit der Annäherung der Kometen zur Sonne immer kleiner werden, deren Periode aber dieselbe mit der jedesmaligen Umlaufszeit des Kometen ist. Nach den Beobachtungen nimmt die Geschwindigkeit des erwähnten Kometen nahe um ihren tausendsten Theil während der Zeit von zehn Revolutionen zu. Wenn diese Zunahme gleichförmig bliebe, so würde diese Geschwindigkeit in 16000 Jahren das Doppelte von dem gegenwärtigen seyn. Wenn Jupiter während einem Zeitraume von einer Million Jahren den milliarten Theil seiner Geschwindigkeit gewinnen möchte, so würde er erst in 70 Millionen Jahren den tausendsten Theil gewonnen haben, und es würde eine noch 700 mal längere Zeit erfordert werden, die ursprüngliche Geschwindigkeit dieses Planeten auf das Doppelte derselben zu bringen. Aber, so groß auch diese Perioden erscheinen, die Folge davon würde doch eine immerwährende Annäherung und endlich ein Herabstürzen dieses Planeten in die Sonne seyn. Eben so wird also auch im Laufe der Zeiten, nach Millionen von Jahren, die Umlaufszeit der Erde nur mehr die Hälfte, oder noch ein kleinerer Theil der gegenwärtigen seyn, und endlich wird auch sie, so wie alle Planeten, wieder zu der Sonne zurückkehren, von der sie genommen worden ist. Die große Entfernung jener Epoche wird das endliche Eintreffen derselben und die Erfüllung unseres Schicksals nicht hindern. Sobald es ausgemacht ist, daß die himmlischen Körper sich in einem widerstehenden Mittel bewegen, so ist eine immerwährende Bewegung

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

derselben und eine ewige Dauer des ganzen Systems, so wie es jetzt besteht, unmöglich.

§. 160. (Nothwendige Beschränkung der durch die vorhergehenden Betrachtungen erhaltenen Resultate.) Wenn daher die oben erwähnten, bewunderungswürdigen Einrichtungen der Natur uns über die weitere Dauer ihres Werkes vollkommen beruhigen können, und wenn, wie wir gesehen haben, wenigstens das Innere dieses Systems keine Spur von einer künftigen Zerstörung an sich trägt, so ist doch eine auch noch so lange — noch immer keine ewige Dauer. Wir können uns nicht vermessen, die innere Einrichtung des Weltalls, und noch weniger die Absicht ihres erhabenen Gründers, auch nur mit einiger Vollständigkeit zu erforschen.

Aber wir sehen, daß allen Dingen dieser Erde nur eine, oft sehr kurze Periode ihres Daseyns angewiesen ist, nach welcher sie alle verschwinden, und, wenigstens in dieser Gestalt, nicht mehr wieder kommen. Jeder kommende Winter zerstört die schönen Gebilde unserer Fluren. Zahlreiche Familien und ganze Geschlechter von Thieren sind bis auf die letzten Reste derselben verschwunden, und selbst ganze Völkerschaften, weltbeherrschende Nationen ziehen vor uns vorüber, wie Bilder eines Schattenspieles an der Wand, und Alles, Alles, was uns hier unten umgibt, wird von dem Strome der Zeit fortgerissen, und eilt unaufhaltsam seinem Endzustande der Auflösung und Zerstörung entgegen. Die Erde, die wir betreten, ist mit den Ruinen und mit dem Staube von Pflanzen und Thieren der Vorwelt bedeckt, und es wird eine Zeit kommen, wo man über die Pyramiden, über die Hauptstädte Europa's wie jetzt über Babylon und Karthago hingehen wird, ohne eine Spur derselben zu erblicken.

Von diesem, wie es scheint, nicht minder allgemeinen Gesetze der Natur, deren zerstörende Wirkungen uns von allen Seiten in der Nähe umgeben — soll davon diese Erde selbst und der über sie ausgespannte Himmel eine Ausnahme machen? Welches Recht hätten sie zu solchen Ansprüchen? Oder welches Recht haben wir, selbst nur von gestern her, und morgen schon nicht mehr, die ewige Existenz dieses unseres Wohnortes zu fordern? Haben wir nicht Sterne am Himmel verschwinden, und ganze Sonnensysteme daselbst auflodern sehen? — Schreckliche Schauspiele fürwahr, gegen die unsere Wasserfluthen und Erdbeben und der Tod von Tausenden in einer Stunde ganz verschwinden. Aber, so groß uns auch eine Catastrophe dieser Art erscheinen mag — sie *scheint* uns nur so groß, weil wir selbst so klein sind. In jenen Höhen wird mit einem andern Maaß gemessen, und unser Planetensystem, ja unsere Milchstraße selbst — was ist sie anderes, als ein unmerklicher Punkt der ganzen, großen, endlosen Welt!

Wenn daher dieser, schon gegen das übrige Planetensystem gleichsam verschwindende Punkt, wenn diese unsere Erde, gleich den Früchten ihrer Fluren, auch allmählig ihrer Bestimmung entgegen reifen und altern, wenn sie vielleicht von denselben Kräften, die sie erzeugt und so lange erhalten haben, auch einmal wieder zerstört werden sollte — wollen wir uns auflehnen gegen das ewige Gesetz der Natur? Sind wir denn nicht uns selbst und alles das Unsrige, diese Erde selbst nicht ausgenommen, den Elementen schuldig? — Wenn diese nun wieder aufwachen und das ihrige zurückfordern; wenn Feuer und Wasser und Winde, die unsere Erde bewohnt und fruchtbar gemacht haben, in ihrem Laufe fortschreiten, und sie auch wieder zu zerstören beginnen; wenn diese Sonne, die uns so lange erleuchtet und erwärmt hat, die alles Lebende so viele Jahr-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

tausende auferzog und an goldenen Seilen um ihr erfreuendes Antlitz lenkte, wenn sie die alternde Kraft der Erde, die sich nicht mehr zu erhalten vermag, nun endlich wieder herab zieht in ihren brennenden Schooß — ja wenn sie selbst, die Königin unserer Tage, wenn auch sie ihre Zeit gelebt und ihre Bestimmung erfüllt hat, wenn endlich sie selbst erlischt und verschwindet aus der Reihe der erschaffenen Wesen — so entsetzlich dieß auch uns scheinen mag — was geschähe dann anders, als was nach dem ewigen Gesetze der Natur geschehen muß?

Denn überall, wo wir in dem Weltraume Entstehen, Wachsthum und Zunahme bemerken, da muß auch Abnahme und Tod seyn, und wo immer im Wechsel der Dinge Fortgang ist, da ist auch Untergang: scheinbarer Untergang wenigstens, Abwechslung von Gestalten und Formen. Alles, was Körper, das heißt, was sterblich ist, eilt seiner Auflösung entgegen, und kann von keiner Kraft davon zurück gehalten werden. Und wie auf den Gipfeln unserer Berge, und in den Abgründen der Erde die Versteinerungen und Ueberreste der Pflanzen und Thiere einer längst verschwundenen Vorwelt zerstreut liegen, so werden auch vielleicht dereinst die morschen Trümmer des großen, himmlischen Baues über uns, in dem Weltenraume zerstreut werden. Diese Sonne, diese Sterne werden erlöschen, und von ihnen wird dort oben, wie von den Denkmälern der Vorzeit hier unten keine Spur mehr seyn. Auch diese Blumen des Himmels werden verblühen und abfallen, wie welke Blätter, mit denen die Winde spielen, und dieselbe Welle, die sie so lange getragen hat, wird sie dereinst auch herabziehen in die Tiefe des Weltmeers, in den Abgrund der ewigen Nacht. Nur Einer, den kein Name nennt, Einer nur wird bleiben, hoch über dem Ocean der Welten, der zu den Füßen seines Thrones rauscht, dessen Wogen immer wechselnd vor ihm auf und nieder ziehen, während Er allein unwandelbar und ewig ist.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Zweiter Abschnitt.

Beobachtende Astronomie

oder

Beschreibung und Gebrauch

der

astronomischen Instrumente.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

§. 161. (Ueber die Genauigkeit der astronomischen Bestimmungen.) Wir haben bisher das Vorzüglichste von Demjenigen angezeigt, was uns die Astronomen von den Körpern des Himmels und von den Bewegungen derselben kennen gelehrt haben, und unsere Leser werden, wie wir glauben, oft genug Gelegenheit gehabt haben, sich über die Genauigkeit jener Angaben von Gegenständen zu verwundern, die so ungemein weit von uns entfernt sind, daß sie sich unseren Untersuchungen beinahe ganz zu entziehen scheinen. In der That kennen wir von den meisten Dingen, die uns in unserer nächsten Nähe umgeben, ihren gegenwärtigen Standpunkt und die Veränderungen, welche mit ihnen vorgegangen sind und in der Folge noch vorgehen werden, viel weniger, als uns die Orte der himmlischen Körper, und ihre Bewegungen in der Vor- und Folgezeit bekannt geworden sind. Die Astronomen pflegen die Orte der Gestirne am Himmel mit der Genauigkeit von einer Sekunde anzugeben. Allein ein gewöhnliches Menschenhaar bedeckt mit seiner Dicke, wenn es in der Entfernung von dem Auge gehalten wird, wo es am reinsten und dunkelsten erscheint, schon 15 bis 20 Sekunden am Himmel, so daß man also jene Orte der Gestirne an der Sphäre des Himmels mit einer Schärfe angeben kann, welche die Dicke eines solchen Haares weit übertrifft. Eben so haben wir gesehen, daß man die Entfernung des Mondes und mehrerer Planeten von der Erde, so schwierig dieselbe auch anfangs zu bestimmen schien, im Verhältnisse zu der Größe dieser Entfernungen, genauer angeben kann, als man dieß bei den meisten größeren Städten der Erde, selbst unseres Welttheiles, zu thun im Stande ist (I. §. 66). Die Finsternisse der Sonne und des Mondes, die man mit derselben Leichtigkeit und Sicherheit für das nächste Jahr, als für irgend ein anderes der nächst vorhergegangenen oder der nächstfolgenden Jahrhunderte berechnen kann, und die, wie jeder Kalender bezeugt, auf das genaueste zutreffen — sind nicht sie allein schon ein hinreichender Beweis von der in der That bewunderungswürdigen Schärfe, mit welcher die Astronomen die Bewegungen und alle die mannigfaltigen Veränderungen kennen müssen, welche mit diesen beiden Gestirnen in der Folge der Zeiten vorgehen? Haben wir nicht schon öfter gesehen, daß uns die ferne Wiederkunft von Kometen vorausgesagt wird, die nur wenige Wochen in unserer Nähe sichtbar waren, und die dann, in ihren weiten Bahnen jenseits unseres Planetensystems volle siebenzig und mehr Jahre unseren Blicken unsichtbar, die fernsten Räume des Himmels durchwandern, bis sie endlich wieder, nach ihren langen Reisen, zu uns hernieder steigen, um sich zum zweitenmale unseren erstaunten Augen zu zeigen? — Sie

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

sind, folgsam dem Rufe ihrer Berechner, an dem bestimmten Tage zu uns herab gekommen, und sie werden, so lange sie denselben Gesetzen gehorchen, auch in der Folge der Zeiten wieder kommen, und zwar auf derselben Straße wieder kommen, welche ihnen die Astronomen durch ihre Berechnungen vorzeichnen. — Und was soll man endlich von denjenigen nicht minder gewissen Vorherbestimmungen sagen, mit welchen uns die Gestalt und die gegenseitige Lage der Planetenbahnen, eine Folge ihrer Störungen unter einander, verkündet wird, Veränderungen, welche zu einer Zeit statt gehabt haben, die dem Anfange unserer Menschengeschichte weit vorhergeht, oder die, erst nach neuen Jahrtausenden, unsere späten Enkel sehen und durch eigene Anschauung bestätiget finden werden?

Aber wie ist man zu allen diesen Kenntnissen gekommen? Wie ist es dem menschlichen Geiste möglich geworden, sich bis zu dieser Höhe zu erheben, und in dieser Wissenschaft, der schwersten unter allen, eine Genauigkeit zu erreichen, die ihm in beinahe allen andern für immer versagt zu seyn scheint? Welches sind die Mittel, deren er sich bediente? Welches sind die Instrumente, und welcher Art ist ihr Gebrauch, um damit diesen Zweck, und diese in allen andern Wissenschaften unübertroffene Schärfe in ihren Beobachtungen zu erreichen? Denn auf Beobachtungen muß doch am Ende alles beruhen, und von ihnen muß alles ausgehen, was uns zur Kenntniß der Dinge außer uns, was uns zur Kenntniß der Natur führen soll.

Es wird nicht uninteressant, ja es wird nothwendig seyn, diese Instrumente und die Art ihres Gebrauches kennen zu lernen, weil es nur dadurch möglich wird, die Wahrheit der Theorien, welche auf den mit diesen Instrumenten gemachten Beobachtungen erbaut wurden, zu erkennen, und dadurch den Grad der Verläßlichkeit zu beurtheilen, der ihnen zukömmt. In der That ist wohl jede unserer Beobachtungen, welcher Art sie auch seyn mag, wie überhaupt jedes Menschenwerk, Fehlern unterworfen; diese Fehler mögen ihre Quelle in der Beschränktheit unseres Geistes oder unserer Aufmerksamkeit, in der Unvollkommenheit unserer Sinne oder auch derjenigen Werkzeuge haben, deren wir uns bei diesen Beobachtungen bedienen. Was uns, bei dieser Lage der Dinge, übrig bleibt, ist nur, zuzusehen, daß diese an sich unvermeidlichen Fehler so klein werden, als es unter diesen Umständen eben seyn kann, und daß wir uns von dem größtmöglichen Fehler, den wir bei jeder bestimmten Beobachtung und unter jeden gegebenen Verhältnissen noch begehen können, eine deutliche Rechenschaft zu geben wissen. Denn nur dann sind wir mit Bestimmtheit anzugeben im Stande, ob eine aus unseren Beobachtungen abgeleitete Hypothese oder eine darauf erbaute Theorie mit den Erscheinungen der Natur, welche wir dadurch darstellen oder erklären wollen, so weit übereinstimmt, daß wir sie als ein wahres Gesetz der Natur betrachten dürfen.

Wir werden uns daher in dem Folgenden mit der Beschreibung der vorzüglichsten astronomischen Instrumente, und mit der Art, sie zu gebrauchen, beschäftigen, um dadurch die Leser in den Stand zu setzen, die Mittel, welche man bei jenen Beobachtungen anwendet, näher kennen zu lernen, und sich von der hohen Genauigkeit, welche man dabei erreichen kann, gleichsam durch eigene Ansicht zu überzeugen.

§. 162. (Schwierigkeit der Verfertigung genauer Instrumente.) Unter allen unsern mechanischen Künstlern haben es die Verfertiger der astronomischen Instrumente wohl am weitesten gebracht, und die Genauigkeit, mit welcher in unseren Tagen diese Werkzeuge gearbeitet werden, kömmt der zum Sprüchworte gewordenen geometrischen Schärfe am nächsten.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Wer mit dem Zwecke, um den es sich hier handelt, nicht näher bekannt ist, mag es wohl für etwas sehr Leichtes halten, auf der Drehbank ein Stück Metall kreisförmig abzudrehen, und die Peripherie desselben in 360 gleiche und jedes dieser Intervalle wieder in eine Anzahl kleinerer, unter sich ebenfalls gleicher Intervalle einzutheilen, dann das Ganze in seinem Mittelpunkte aufzustellen und in irgend einer geforderten Lage zu befestigen. Allein die praktische Ausführung dieser Aufgaben gehört zu den schwierigsten der gesammten Mechanik, wie sich schon daraus schließen läßt, daß man, aller Bemühungen und aller darauf verwendeten Kosten ungeachtet, doch erst in der zweiten Hälfte des vergangenen achtzehnten Jahrhunderts dahin gekommen ist, sich dieser Auflösung so weit zu nähern, als es das Bedürfniß der Wissenschaft in dieser Zeit erforderte. Die Alten, sowohl die Griechen in der alexandrinischen Schule, als auch die Araber, so viel Fleiß und Mühe sie auch auf ihre oft sehr großen und kostbaren Instrumente verwendet hatten, konnten doch Fehler von fünf und oft selbst von zehn Minuten in ihren Beobachtungen nicht vermeiden, und sie mußten mit diesen Fehlern zufrieden seyn, da sie, mit unbewaffneten Augen, am Himmel eben nicht mehr oder nicht genauer sehen konnten, als an ihren Instrumenten. Was würde es ihnen auch genützt haben, an den letzten selbst die einzelnen Sekunden noch mit Genauigkeit zu lesen, während sie am Himmel Winkel von mehreren Minuten nicht mehr unterscheiden konnten.

Allein alles dieß änderte sich, sobald das Fernrohr und das mit ihm so nahe verwandte Mikroscop erfunden war, und sobald man auf die glückliche Idee gerieth, diese beiden wunderbaren optischen Werkzeuge mit den astronomischen Instrumenten in eine unmittelbare Verbindung zu bringen. Diese Erfindung, vielleicht die schönste und nützlichste, deren der menschliche Geist sich rühmen kann, erweiterte unsere Kenntniß der sichtbaren Welt, zu beiden Gränzen derselben, beinahe in's Unendliche, und brachte Gegenstände, die uns zuvor durch ihre zu große Entfernung, oder auch durch ihre Kleinheit für immer unsichtbar geblieben wären, in den Bereich unserer Sinne, und dadurch in den Kreis unserer Beobachtungen. Besonders aber war es in der Astronomie, daß diese Erfindung eine für alle Zeiten merkwürdige Epoche constituirte. Fortan konnte man an dem gestirnten Himmel, die den Alten ganz unmerkbaren Winkel von einer, oder doch von einigen wenigen Sekunden deutlich unterscheiden, während man zugleich, durch das Mikroscop, auf der Oberfläche der astronomischen Instrumente dieselben kleinen Winkel klar zu erkennen vermochte. Jetzt erst drängte sich daher auch das Bedürfniß auf, diese Instrumente so einzurichten, und sie so genau einzutheilen, daß man auf ihnen diese kleinen, früher ganz unkennbaren Winkel auch mit Sicherheit zu messen im Stande seyn könnte. Jeder Fehler in dieser Eintheilung, jede Unvollkommenheit in der Ausarbeitung dieser Instrumente, auch jene kleinen, welche unsere Vorgänger mit Recht übergehen mochten, und sogar, da sie dieselben nicht weiter bemerken konnten, übergehen mußten, wurden jetzt fühlbar und wirkten störend auf die Beobachtungen ein. Die geringste Unsicherheit der Hand des Künstlers, der diese Instrumente verfertigen sollte, jede noch so kleine Unvollkommenheit seiner Werkzeuge, deren er sich zur Verfertigung jener Instrumente bediente, konnte die letzten schon unbrauchbar machen, da sie mit jener Genauigkeit, welche uns, bei dem vorgerückten Zustande der Wissenschaft, das Fernrohr an dem gestirnten Himmel gewährte, nicht mehr gleichen Schritt halten konnte. Dazu kam noch die ungleiche Ausdehnung jener metallischen Massen durch Veränderungen der Temperatur, die unvermeidliche Biegung

der einzelnen Theile dieser Instrumente durch ihr eigenes Gewicht und mehre andere Rücksichten und Fehlerquellen, die jetzt den praktischen Astronomen plagen, und von denen unsere Vorgänger nicht einmal eine Ahnung hatten.

Es wird der Mühe werth seyn, die erste dieser Fehlenquellen, die Eintheilung der astronomischen Kreise etwas näher zu betrachten. Wenn die Peripherie eines Kreises in einzelne Sekunden getheilt werden sollte, so müßte sie 1296000 feine Striche oder Punkte erhalten, deren Abstände unter einander alle gleich groß sind. In jedem Kreise beträgt aber eine Sekunde der Peripherie desselben nur 0.000004848 seines Halbmessers, oder jeder Abstand zwischen zwei nächsten jener Punkte ist nur der 206200ste Theil seines Halbmessers. Bei einem Kreise von drei Fuß (432 Linien) im Durchmesser, — und größere hat Reichenbach, der erste deutsche Mechaniker, aus guten Gründen nie verfertiget, nimmt eine Minute der Peripherie nur mehr in ihrer Länge 0,063 oder nahe $^1/_{16}$ einer Linie ein, also eine Größe, die man mit freien Augen nicht mehr gut unterscheiden, und die man ohne Mikroscop nicht mehr mit Sicherheit auftragen kann. Aber ein Fehler von einer ganzen Minute ist schon so groß, daß er, bei dem gegenwärtigen Zustande der praktischen Astronomie, durchaus nicht mehr zugelassen werden darf. Mit den besseren, jetzt gebräuchlichen Instrumenten pflegt man die einzelne Sekunde noch anzugeben. Bei einem Kreise von drei Fuß im Durchmesser beträgt aber eine Sekunde nur 0.00105 Linie, also nahe nur den tausendsten Theil einer Linie. Eine so geringe Größe kann man aber nur mit sehr starken Mikroscopen unsern Augen sichtbar machen. Welche Aufgabe ist es daher, auf der Peripherie eines solchen Kreises auch nur dreihundert und sechszig feine Striche oder Punkte so anzubringen, daß keiner von ihnen um den tausendsten Theil einer Linie versetzt, oder außer dem genau für ihn bestimmten Orte steht, nichts zu sagen von den 3600 anderen Strichen, die zwischen je zweien der ersten in den Distanzen von dem tausendsten Theile einer Linie eingeschaltet werden sollen, um dadurch die einzelnen Sekunden des Kreises anzuzeigen. Ein solches Kunstwerk, das den hier aufgestellten Forderungen genau entspricht, ist wohl noch nie aus der Hand eines Menschen hervorgegangen, und wird auch in aller Folgezeit für so gut, als ganz unmöglich gehalten werden können. Auch würde ein solches Instrument, wenn es durch irgend einen glücklichen Zufall einmal entstünde, seiner Natur nach auf keine Dauer Anspruch machen, und schon in den nächsten Augenblicken nicht mehr seyn, was es, im Zustande seiner größten Vollkommenheit, gewesen ist. Die immer wechselnden Aenderungen der Temperatur der Luft, welche diese Instrumente umgeben, werden in der Lage und Gestalt seiner Theile nicht bloß vorübergehende und sich wieder herstellende, sondern selbst constante und bleibende Verziehungen derjenigen Metalle hervorbringen, aus welchen allein diese Instrumente verfertiget werden können. Auch wird, wie bereits erwähnt, das eigene Gewicht dieser Theile Biegungen und Krümmungen erzeugen, die weder durch den symmetrischen Bau des Instruments, noch durch Gegengewichte vermieden werden können, so sorgfältig auch jener ausgeführt, so sinnreich auch diese angebracht seyn mögen. Ja selbst wenn es möglich wäre, auch diese Uebel zu vermeiden oder durch Vorsicht zu umgehen und unschädlich zu machen, welche Mittel haben wir, diese Kreise an ihrer Säule zu befestigen, oder um ihre Axe zu bewegen, ohne Anwendung einer äußeren Kraft, d. h. ohne die einzelnen Theile des Instrumentes, wenn auch noch so vorsichtig, doch immer mit einer gewissen Kraft zu pressen und zu ziehen, wodurch die Gestalt und Lage derselben nicht

anders, als verändert werden kann? *) Demungeachtet haben unsere Künstler, in Verbindung mit den Astronomen, für welche sie arbeiten,

---

*) Die nähere Bekanntschaft mit den neueren astronomischen Instrumenten hat uns gelehrt, daß man die Ideen, die man von der Festigkeit und Stabilität der uns umgebenden Körper aus dem gemeinen Leben mitgebracht hat, als ungegründete und falsche Ansichten, als wahre Vorurtheile ganz aufgeben muß. Die massive metallene Säule FB, Fig. 107, des Multiplicationskreises z. B., die in ihrer Größe und Masse einer kleinen Kanone zu vergleichen ist, soll, zum gehörigen Gebrauche des Instruments, vollkommen senkrecht auf dem Horizonte stehen. Die Wasserwage gibt uns, wie wir später sehen werden, die Mittel, diese Verticalität zu untersuchen, und die Fußschrauben K, K', K'' des Instruments geben die Mittel, die Fehler dieser Verticalität wegzubringen. Wenn nun, durch wiederholte Versuche, diese Fehler schon sehr klein gemacht sind, und man bloß den letzten Rest derselben wegzuschaffen sucht, so kann man dieß, nach Reichenbach's Rathe, nicht mehr mit jenen Fußschrauben, deren Windungen zu diesem Zwecke nicht mehr fein genug sind, sondern man wird diese Absicht viel besser dadurch erreichen, daß man die Säule an ihrem obern Ende bei B mit der Spitze des Fingers sanft von der Stelle weg drückt, wohin sie noch eine kleine Neigung gegen den Horizont hat, wo sie dann in der neuen, durch den Druck der Hand erzeugten, verticalen Lage verbleibt, so daß also diese solide Metallsäule von mehreren Zollen im Durchmesser nicht mehr als ein rigider, unbiegsamer Körper, sondern nur als eine feine Stange von weichem, biegsamem Wachse anzusehen ist, der man, durch einen sanften Druck der Fingerspitze, jede beliebige Lage geben kann. — Mit Hülfe des bekannten Fühlhebels kann man die Biegungen, welche durch äußere Kräfte hervorgebracht werden, an denjenigen Körpern noch deutlich lesen, die man sonst für ganz unbiegsam gehalten hat. Wenn man zum Beispiel eine Kanone an ihren beiden Enden auf Stützen legt, so krümmt sich, wie der Fühlhebel zeigt, der nicht unterstützte, mittlere Theil der Kanone durch die Wirkung der Schwere, gleich einem dünnen, biegsamen Stabe zur Erde. Wird die Kanone bloß in ihrer Mitte auf eine einzige Stütze gelegt, so sieht man dafür die beiden Enden derselben, gleich einem in der Mitte gehaltenen Fischbeine, sich abwärts biegen. Man könnte dieß der größern Masse oder dem bedeutenden Gewichte der Kanone zuschreiben. Aber diese Erscheinung wiederholt sich auch bei den leichtesten Körpern, mit welchen wir noch Versuche dieser Art anstellen können. Die horizontalen Fäden, welche man in dem Brennpunkte der astronomischen Fernröhre ausgespannt findet, gehören zu den feinsten, welche die Natur oder auch die Kunst hervorbringen kann. Man pflegt sie häufig von dem feinen Gespinnste zu nehmen, welches im Herbste unsere Gärten und Wiesen überzieht, und das unter der Benennung des fliegenden Sommers bekannt ist. Diese Fäden, welche von einer eigenen Gattung sehr kleiner Spinnen gesponnen werden, sind so fein, daß man sie mit freien Augen nur mehr an ihrer Spiegelung erkennt, wenn sie gegen die Sonne gehalten werden. Obschon daher ihr Gewicht ohne Zweifel ganz ungemein klein ist, so sieht man doch durch die starke Vergrößerung des Fernrohrs, daß sie, wenn sie an ihren beiden Enden in dem Fernrohre befestigt, und auf das beste horizontal gespannt werden, in ihrer Mitte sich krümmen, und daher keine gerade, sondern eine krumme, gegen den Horizont convexe Linie bilden, nicht anders, als ein dickes Seil oder eine schwere Kette von beträchtlicher Länge, die auch bekanntlich keine

Mittel gefunden, die einzelnen Sekunden auf ihren Instrumenten mit Sicherheit anzugeben, und erst seit einigen Decennien hat unsere Instrumental-Astronomie, vorzüglich durch englische und deutsche Künstler, Fortschritte gemacht, an deren Möglichkeit man vor Kurzem noch verzweifeln mußte. Nicht bloß die großen Instrumente dieser Art, die sogenannten Meisterstücke, sondern auch die kleineren, die sich jeder mit geringen Kosten anschaffen kann, sind mit einer Präciston, mit einer Vollendung gearbeitet, die wohl nur wenig mehr zu wünschen übrig lassen kann. Nur wenig — aber nicht nichts! Denn am Ende ist doch alles, was Menschenhände machen können, nur Menschenwerk, und so vortrefflich es uns auch erscheinen mag, noch immer unvollkommen. Auch werden wohl die Forderungen des Astronomen an den Künstler, die Leistungen des letzteren immer hinter sich zurücklassen, und es wird daher auch immer der wahre Beobachter bemüht seyn müssen, durch Geschicklichkeit in der Anwendung dieser Instrumente, durch Umsicht und Scharfsinn in dem Gebrauche derselben, sich von den noch übrig bleibenden Unvollkommenheiten der Werkzeuge, die ihm der Künstler in die Hände liefert, so viel als möglich unabhängig zu machen. Der Astronom wird daher darauf bedacht seyn müssen, die Umstände und Verhältnisse seiner Beobachtungen zweckmäßig auszuwählen, die Fehler seines Instruments kennen zu lernen, um sie entweder zu umgehen oder durch Nachhülfe der Rechnung unschädlich zu machen, ferner seine Operationen mit diesen Instrumenten so zu combiniren, und die damit erhaltenen Resultate so zu behandeln, daß er daraus, so sehr es nur von ihm selbst abhängen kann, alles Unvollkommene entfernt und sich dadurch der gesuchten Wahrheit so weit nähert, als es überhaupt dem Menschen erlaubt ist, dieses nur für höhere Wesen, wie es scheint, bestimmte Gut zu erreichen.

In diesen wenigen Zügen ist das eigentliche Geschäft des praktischen Astronomen gezeichnet, ein schwieriges, mühevolles, aber auch durch den erhabenen Gegenstand, auf den es gerichtet ist, und durch die Genüsse, die ein glücklicher Erfolg desselben gewährt, ein edles und in hohem Grade beglückendes Geschäft, um welches ihn der größte Theil der übrigen Menschen beneiden würde, wenn sie die Annehmlichkeiten desselben näher kennen möchten.

Wir wollen nun diese Instrumente und die Art, sie anzuwenden, so weit dieses mit dem Zwecke der gegenwärtigen Schrift vereinbar ist, näher betrachten.

§. 163. (Instrumente der Alten: Gnomon.) Das älteste und zugleich einfachste Instrument, welches wir kennen, ist der Gnomon, von dem

---

Kraft an ihren Enden so stark spannen kann, daß sie eine vollkommen gerade Linie bildet. — Ein anderes Mittel, die Veränderlichkeit der Körper, die man gewöhnlich für unveränderlich hält, zu untersuchen, geben unsere äußerst empfindlichen Wasserwagen. Legt man eine solche Wage auf die Fensterbrüstung eines Hauses, selbst im ersten Stockwerk, selbst von dem solidesten Mauerwerke, und drückt man dann mit der Hand stark gegen die Wand des Fensters, so sieht man augenblicklich die Lage der Blase sich verändern, und wenn der Druck nachläßt, sich wieder herstellen, zum Zeichen, daß auch unsere stärkste Mauer, wie jene Säule an dem Multiplicationskreise, gleich einer weichen Wachstafel, jedem Drucke nachgibt, wie denn überhaupt jede auf einen Körper ausgeübte Kraft auch eine Wirkung auf denselben hervorbringen muß, obschon diese Wirkung in vielen Fällen so klein seyn wird, daß wir sie, mit unseren Sinnen, nicht mehr bemerken können.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

wir bereits früher (I. §. 49) gesprochen haben. Er besteht in einer auf den Horizont vertikal stehenden Säule und ist vorzüglich zu Sonnenbeobachtungen bestimmt. Indem man nämlich die Länge des Schattens mißt, welche diese von der Sonne beschienene Säule auf den horizontalen Boden wirft, auf welchem sie steht, kann man daraus und aus der bekannten Länge der Säule selbst die Höhe der Sonne finden, wie an dem erwähnten Orte gezeigt worden ist.

Die Alten beobachteten die Sonne am Gnomon vorzüglich zur Zeit der beiden Solstitien (I. §. 42) oder im Anfange des Sommers und des Winters, wo die Sonne im Mittage am höchsten oder am tiefsten steht, um daraus die wahre Größe der Schiefe der Ecliptik (I. §. 48) abzuleiten. Wir haben bereits an dem angeführten Orte die älteste Beobachtung an dem Gnomon, und überhaupt die älteste aller astronomischen Beobachtungen, die auf uns gekommen ist, angeführt, die in dem Jahre 1100 vor Chr. Geb. in China gemacht und uns von dem Jesuiten Gaubil mitgetheilt worden ist. Verbinden wir damit noch eine andere, die ebenfalls durch ihr hohes Alterthum ausgezeichnet ist. Der Grieche Pytheas, der durch seine astronomischen Kenntnisse und durch seine zur Verbesserung der Geographie unternommenen großen Reisen bei den Alten in hohem Ansehen stand, beobachtete in Marseille im Jahre 320 vor Chr. G. (drei Jahre vor dem Tode Alexanders des Großen) zur Zeit des Sommersolstitiums die Sonne an einem Gnomon, dessen Höhe 120 und dessen mittägige Schattenlänge $41^4/_5$ Fuß betrug. Daraus folgt die Höhe der Sonne gleich 70° 48′ oder genauer 70° 32′, da man den Schatten des Gnomons, wegen dem Halbmesser der Sonne, der 26′ beträgt, zu kurz beobachtet hat. Nimmt man davon die schon aus anderen Beobachtungen bekannte Aequatorhöhe von Marseille, die gleich 46° 42′ ist, weg, so erhält man für die gesuchte Schiefe der Ecliptik zur Zeit des Pytheas 23° 50′, während sie in unsern Tagen 23° 28′ beträgt, so daß sie also seit 2150 Jahren um 22 Minuten abgenommen hat, übereinstimmend mit dem, was früher (I. §. 50) von dieser Abnahme gesagt worden ist.

Statt bloß das Ende des Schattens zu beobachten, der wegen der ihn umgebenden Halbschatten immer schlecht begränzt ist, wird man besser an der höchsten Spitze des Gnomons eine Metallplatte mit einer kleinen runden Oeffnung anbringen, und dann, statt jenen Schatten, die Entfernung des Fußpunktes des Gnomons von dem durch diese Oeffnung auf dem Boden projicirten Bilde der Sonne messen. Die alexandrinischen Griechen, unter ihnen besonders Eratosthenes, so wie auch früher schon die Aegyptier und Chineser, bedienten sich häufig dieses einfachen Instruments, zu welchem sie gleichsam schon von der Natur selbst angewiesen wurden, wenn sie die abwechselnde Schattenlänge der Berge, Bäume oder Thürme bemerkten.

Unter der Regierung des Kaiser Augustus wurde der große Obelisk, von 117 röm. Fuß Länge, den Sesostris im Jahr 967 vor Chr. G. in Aegypten errichten ließ, nach Rom gebracht, und daselbst, unter der Anleitung des Manlius, auf dem Marsfelde aufgestellt, um daran, wie Plinius H. N. Lib. 36. sagt, die Bewegungen der Sonne zu beobachten; er wurde also mehr als eine Art von Sonnenuhr gebraucht, um daran wenigstens den Augenblick des wahren Mittags zu erkennen. Coschuking errichtete i. J. 1278 einen Gnomon von 40 Fuß in Peking und Ulug Beigh i. J. 1430 einen andern in Samarkand von 165 Fuß.

In den letzten Jahrhunderten unserer Zeitrechnung haben sich beson

ders die Italiener bemüht, Gnomone von bedeutender Größe zu errichten. Sie bedienten sich dazu ihrer hohen Kirchen, deren Wände sie an ihren höchsten Theilen durchbohrten, wo sie dann, durch diese Oeffnung, das Bild der Sonne auf den gegenüberliegenden Fußboden der Kirche fallen ließen. Einen solchen Gnomon errichtete Paul Toscanelli im Jahre 1467 in der berühmten Kuppel der Kathedrale zu Florenz. Die erwähnte Oeffnung war in der Höhe von 277 Fuß über dem Fußboden der Kirche angebracht. Dieß ist der größte aller bisher bekannten Gnomone. Einen anderen von 51 Fuß errichtete Gassendi i. J. 1636 in der Kirche des Oratoriums zu Marseille; Ignatio Danti einen andern von 67 Fuß in der Kirche des h. Petronius zu Bologna, der später von Cassini wiederhergestellt wurde; Bianchini erbaute in der Karthäuserkirche zu Rom (den ehemaligen Bädern des Diocletians) zwei sehr schöne Gnomone von 62 und 75 Fuß; Sully und le Monnier errichteten einen Gnomon von 80 Fuß in der Kirche des h. Sulpitius zu Paris, an welchem der letzte viele Jahre durch, die Solstitialhöhe der Sonne beobachtete und auf einer gegenüberstehenden Marmorplatte eingrub. Einer der Letzten endlich wurde von den Astronomen Cesaris und Reggio in der Kathedrale zu Mailand i. J. 1786 errichtet. Auf den ältern Sternwarten findet man sie noch oft genug, aber in den neueren Zeiten hat man sie größtentheils verlassen und mit Recht, da sie lange nicht die Genauigkeit gewähren, welche man mit unsern andern Instrumenten erreichen kann. Die Ursache davon liegt größtentheils in der Unsicherheit der Messung der wahren Schattenlänge und in der Veränderlichkeit der Lage hoher Gebäude. Wir haben schon, in der vorhergehenden Note, Gelegenheit gehabt, von der Leichtigkeit zu sprechen, mit welcher auch die stärksten Mauern jedem Drucke nachgeben. Aber die Wirkung der Sonne, wenn sie diese Mauern bescheint, und die Folgen des Frostes und des Wiederaufthauens dieser Mauern sowohl, als auch des Bodens, auf dem sie stehen, ist noch viel bedeutender. Schon Bouguer hat darüber eigene Beobachtungen angestellt. Er hatte in der durchbrochenen Wand des Doms der Invaliden zu Paris ein Fernrohr eingemauert, um demselben zu besonderen Untersuchungen eine, wie er glaubte, fixe und unveränderliche Stellung zu geben. Allein er bemerkte bald, daß die Lage dieses Fernrohrs sich änderte, wenn das Gebäude von der einen oder der andern Seite von der Sonne beschienen war. Durch eingemauerte Libellen, die nie von dem Sonnenlicht unmittelbar getroffen werden konnten, beobachteten die Mailänder Astronomen an dem sehr soliden Gebäude ihrer Sternwarte regelmäßige, tägliche Schwankungen, die sich nach dem Stande der Sonne gegen das Gebäude richteten. Die Sternwarte Piazzi's in Palermo, ein Thurm eines ehemaligen arabischen Emirs, ist äußerst solid, und die Dicke der Wände derselben beträgt gegen sechs Fuß. Auf dieser Sternwarte beobachtete Piazzi durch mehrere Jahre den Polarstern, in der Hoffnung, in der Bewegung desselben eine jährliche Parallaxe (I. §. 68) dieses Sterns zu entdecken. Er fand auch in der That solche Veränderungen der Lage derselben, die mit den Jahreszeiten periodisch wiederkehrten, und sich mit einer parallactischen Bewegung des Sterns nahe genug in Uebereinstimmung bringen ließen. Allein da alle andern Beobachter nichts Aehnliches an dem Polarstern finden konnten, so konnte man nicht umhin, an der Richtigkeit der Voraussetzung Piazzi's zu zweifeln, bis endlich er selbst auf die Erklärung verfiel, daß nicht der Stern, sondern seine Sternwarte, ihrer Solidität ungeachtet, solchen periodischen, von der Jahreszeit abhängigen Schwankungen unterworfen sey, eine Idee, die sich bald darauf vollkommen bestätiget fand, und die wahrscheinlich auch andere Astronomen,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

die höhere gebaute Sternwarten bewohnen, für richtig erkennen würden, wenn sie darauf mehr aufmerksam wären.

§. 164. (Instrumente der Alten: Triquetrum, Astrolabium, Armillen.) Die Griechen der alexandrinischen Schule bedienten sich zum Höhenmessen der Gestirne eines Instrumentes, das aus drei Linialen zusammen gesetzt war, und das sie deßhalb Triquetrum nannten. Es ist in Fig. 93 so abgebildet, wie es Ptolemäus in seinem Almagest (Lib. V. 12) beschreibt. Es besteht aus einer verticalen Säule AB, an welcher sich zwei Regeln BC und AC in Gewinden auf und ab bewegen. Die Regel BC trägt zwei auf sie senkrecht gestellte Absehen m und n, deren jede mit einer kleinen Oeffnung versehen ist. Man erhebt die Regel BC so lange, bis das Auge hinter m das Gestirn durch die beiden Oeffnungen der Absehen erblickt, in welcher Lage der BC dann die dritte Regel AC so auf BC gelegt wird, daß die Distanzen BA und BC einander gleich sind. Zu diesem Zwecke theilte man die Linie BA sowohl, als auch die ihr gleiche BC in 60 gleiche Theile und trug dann dieselben Theile, nur in einer größeren Anzahl, auf die dritte Regel von A nach D auf. Diesem gemäß erhielt man in jeder Beobachtung, durch die erwähnte Stellung der drei Regeln, ein gleichschenkliges Dreieck ABC, in welcher die beiden gleichen Seiten BA, BC die Halbmesser eines Kreises, dessen Mittelpunkt B, und in welchem die dritte Seite AC die Sehne des ihr gegenüberstehenden Wirkels ABC vorstellte. Die Größe dieser Sehne erhielt man für jede Stellung der Regeln durch eine einfache Zählung der auf der Regel AD aufgetragenen Theile von A bis C, und aus dieser Sehne AC fand man den ihr entsprechenden Winkel ABC durch eine zu diesem Zwecke eigens berechnete Tafel, welche in einem Kreis des Halbmessers 60 für jeden Winkel die zu ihm gehörende Sehne gab. Ganz eben so, wie man jetzt aus unsern Sinustafeln für jeden Winkel den ihm entsprechenden Sinus findet, wie denn auch in der That der Sinus eines Winkels nichts anders als die Sehne eines doppelt so großen Winkels ist. Der hier gefundene Winkel ABC ist aber, wie man leicht sieht, nichts anderes, als eben die gesuchte Zenithdistanz der Sonne. Hat man z. B. in irgend einer Beobachtung die Länge der Sehne AC gleich 40 solcher Theile gefunden, von denen jeder der beiden Halbmesser 60 hatte, so war die Zenithdistanz ABC der Sonne gleich 38° 56′ 33″ und daher ihre Höhe gleich 51° 3′ 27″.

Zur Versicherung der Verticalität der Säule AB diente ein sogenanntes Loth pq oder ein an einem Faden in p aufgehängtes Gewicht, der von selbst eine verticale Lage annahm, und mit dem daher die Säule AB parallel gestellt werden mußte.

Man sieht, daß ein Instrument dieser Art, selbst wenn es mit aller Sorgfalt der neueren Mechanik construirt würde, keine große Genauigkeit in den Beobachtungen gewähren könnte. Auch bedienten sich desselben die den Griechen folgenden Araber nur im Anfange ihrer astronomischen Arbeiten, und ersetzten es bald durch den bereits oben (I. §. 43) erwähnten Quadranten, dessen Einrichtung aus der dort gegebenen Beschreibung hinlänglich klar seyn wird, so daß wir ihn hier um so mehr übergehen können, da er nun auch schon außer Gebrauch ist, etwa den sogenannten Mauerquadranten ausgenommen, von welchem wir später sprechen werden. Wir bemerken hier nur noch, daß der größte Quadrant, dessen man sich je zu den astronomischen Beobachtungen bediente, der des Ulug Beigh gewesen ist. Dieser berühmte Astronom war gegen das Jahr 1430 Beherrscher der Länder an dem Flusse Oxus (des heutigen Amu in der großen Bucharei und in Khowaresm). Er soll in seiner Hauptstadt Sa-

markand einen Quadranten von einer solchen Größe errichtet haben, daß der Halbmesser desselben, nach der Erzählung der türkischen Geschichtschreiber, der Höhe des Gipfels der Kuppel der Sophienkirche in Konstantinopel gleich, d. h. daß er 180 römische Fuß groß gewesen ist. Allein es ist wahrscheinlich, daß diese Erzählung auf einem Mißverständnisse beruht, und daß dieses Instrument kein Quadrant, sondern nur ein Gnomon gewesen ist.

Das Astrolabium oder der astronomische Ring besteht in einem in einzelne Grade eingetheilten Ring ABCD (Fig. 94), um dessen Mittelpunkt E sich eine Alhidade (Linial) SS' bewegt, das mit zwei darauf senkrecht stehenden durchlöcherten Absehen m und n versehen ist. Bei der Beobachtung wird es an dem kleinen Ringe A aufgehängt, wo dann der Durchmesser BD horizontal stehen soll. Wird in dieser Lage des Instruments die Alhidade SS' so gestellt, daß das Auge bei S' durch die beiden Oeffnungen der Absehen das Gestirn, z. B. die Sonne, erblickt, so gibt der Winkel S'ED der Alhidade mit dem Halbmesser BD oder auch der jenem gleiche Winkel SEB die gesuchte Höhe der Sonne an. Man sieht, wie vielen Unvollkommenheiten ein Instrument dieser Art unterworfen ist, auch wurde es nicht lange gebraucht, und bloß in der Marine, wo man gewöhnlich mit einer geringern Genauigkeit zufrieden ist, erhielt sich dasselbe bis in das vorige Jahrhundert. Jetzt ist es, auch unter den Schiffern, durch den viel genaueren Sextanten schon längst verdrängt. Uebrigens bezeichnet man in unseren Tagen mit dem Namen Astrolab einen auf einem Fußgestelle horizontal liegenden Kreis mit einer Alhidade, deren Absehen höher sind, als die in Fig. 94 erwähnten, um durch die Oeffnungen derselben die Spitzen hoher terrestrischer Objekte und selbst der Gestirne zu sehen. Wir werden weiter unten ein diesem ähnliches, aber viel vollkommener gebautes Instrument unter dem Artikel „Theodolit“ kennen lernen.

Armillarsphären oder Armillen nannte man verschiedene Verbindungen von Kreisen, durch welche man den Aequator, die Ecliptik und die darauf senkrechten Kreise darstellte. In Fig. 95 ist ein solches Instrument abgebildet, dessen sich schon Hipparch und Ptolemäus bediente, und an welchem noch Tycho Brahe den größten Theil seiner Planeten-Beobachtungen machte. Der äußere Kreis HZR stellt den Meridian vor, und bei den Beobachtungen wurde dieser Kreis auch in der That in der Ebene des Meridians aufgestellt, so daß von den Punkten H und R des Horizonts der erste nach Süd und der zweite genau nach Nord, und daß die Endpunkte PP' nach dem Nord- und Südpole gerichtet waren. Der Faden ZZ', mit seinem Gerichte bei Z' zeigte das Zenith an. Der Mittelpunkt jener Axe PP' war mit einem kleinen Cylinder m versehen, und durch ihn ging, senkrecht auf die Axe, die Ebene des Rings AB, die daher den Aequator vorstellte. Dieser Ring war an dem äußern Ringe HZR fest, und mit Absehen a und b versehen. Senkrecht auf die Ebene dieses Ringes AB war ein anderer, um die Axe PP' beweglicher, und ebenfalls mit Absehen versehener Ring CD angebracht, der daher den Declinations- oder Stundenkreis vorstellte. Das ganze Instrument stand auf einem festen Fußgestelle bei Z'.

Wenn man mit diesem Instrumente eine Beobachtung machen wollte, so wurde zuerst der äußere Ring HZR in den Meridian und mittels des Lothes der Punkt Z in das Zenith, also auch P in den Nordpol des Aequators gebracht, und dann der bewegliche Declinationskreis CD so weit verschoben, bis man durch die Absehen desselben das zu beobachtende Gestirn bemerkte, wo dann der Kreis CD auf dem Aequator AB den

Stundenwinkel, und wo die Absehen des Kreises CD auf ihm selbst die Declination des Gestirns anzeigten. Hatte man zuvor die Absehen a und b des Aequators, mittels eines schon bekannten Gestirns, so gestellt, daß sie den Frühlings- und Herbst-Nachtgleichenpunkt bezeichneten, so konnte man auf diese Weise zugleich die Rectascension des zu beobachtenden Gestirns finden, und daher auch die Sternzeit der Beobachtung angeben.

§. 165. (Zeitbestimmung durch Instrumente der älteren Astronomen.) Gewöhnlich brauchte Tycho diese Instrumente zur Bestimmung der Zeit seiner anderen Beobachtungen, die er an seinen großen Quadranten oder Sextanten gemacht hatte, indem er nämlich an seiner in dem Meridian aufgestellten Armillarsphäre den Declinationskreis CD derselben auf irgend einen größern, in seiner Rectascension schon bekannten Fixstern stellte, wodurch er sofort den Stundenwinkel dieses Sterns auf seinem Aequatorialring AB ablesen konnte. Die Summe des so erhaltenen Stundenwinkels und der schon bekannten Rectascension des Sterns gab ihm dann sofort die Sternzeit der Beobachtung, woraus er dann leicht (I. §. 160) auch die mittlere Sonnenzeit derselben Beobachtung finden konnte. Am einfachsten war dieses Verfahren, wenn er statt irgend eines bekannten Fixsterns unmittelbar die Sonne wählte, weil dann der an dem Aequatorringe AB abgelesene Stundenkreis der Sonne auch sofort schon die wahre Sonnenzeit der Beobachtung gab, wie bereits oben (I. §. 155) erklärt worden ist.

Diese Zeitbestimmung ist, wie man sieht, eines der wichtigsten Geschäfte des praktischen Astronomen. Durch sie unterscheidet er sich wesentlich von dem bloßen Geometer, dem es schon genügt, wenn er den Winkel, welchen zwei irdische Gegenstände, z. B. zwei Thürme oder zwei Bergspitzen, in seinem Auge bilden, mit Genauigkeit angeben kann, da dieser Winkel immer derselbe bleibt, so oft er aus demselben Standpunkte des Auges gesehen wird. Nicht so bei den Gegenständen des Himmels. Die Gestirne ändern, sowohl durch die tägliche Bewegung des Himmels, die allen Sternen gemeinschaftlich ist, als auch durch die ihnen eigene Bewegung, ihre Lage gegen das Auge des Beobachters unaufhörlich, und es ist daher nicht genug, daß der Astronom von einem dieser Gestirne, z. B. die Höhe auch mit der größten Genauigkeit angibt, sondern er muß auch zugleich eben so genau die Zeit angeben, in welcher er jene Höhe beobachtet hat, wie dieß für sich klar ist, weil diese Höhe sich jeden Augenblick ändert.

Da aber die Armillarsphäre, wie man aus der vorhergehenden Beschreibung derselben ohne meine Erinnerung bemerkt haben wird, weder in ihrer Konstruction durch den Künstler, noch in ihrer Aufstellung durch den Astronomen eine große Genauigkeit gewähren kann, so wird auch das erwähnte Verfahren, durch dieses Instrument die Zeit zu bestimmen, keiner großen Schärfe fähig seyn. Aus diesem Grunde war man schon in den älteren Zeiten auf andere Mittel bedacht, die Zeit der Beobachtung, dieses wichtigste Element der gesammten praktischen Astronomie, für jeden Augenblick mit mehr Verläßlichkeit zu bestimmen. Das beste Mittel zu diesem Zwecke gab aber dieselbe Veränderlichkeit der Höhe der Gestirne, von welcher wir nur so eben gesprochen haben. Während des täglichen Umlaufes jedes Sterns um die Erde kömmt derselbe in alle die verschiedenen Höhen, in die er überhaupt, nach der Lage seines Parallelkreises gegen den Horizont des Beobachters, kommen kann, und so, wie zu jeder Zeit nach der Kulmination des Sterns, d. h. wie zu jedem Stundenwinkel desselben eine bestimmte Höhe gehört, so wird auch um-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gekehrt jeder gegebenen Höhe ein bestimmter Stundenwinkel, d. h. eine bestimmte Zeit entsprechen, so daß man daher die letzte finden kann, wenn die erste durch irgend eine Beobachtung gegeben ist.

Diesem gemäß pflegten also die älteren Astronomen in dem Augenblicke einer jeden Beobachtung, z. B. in dem Augenblicke des Anfangs oder des Endes einer Finsterniß, mittels des oben erwähnten Quadranten die Höhe der Sonne oder irgend eines anderen bekannten Gestirns zu messen, woraus sie dann die Zeit jener Beobachtung auf folgende Art ableiteten.

Sey (I. Fig. 2) S' die Sonne für den Augenblick des Anfangs jener Beobachtung, deren Zeit man bestimmen will; sey ferner Z das Zenith und N der Nordpol des Aequators. Wenn man mit dem Sextanten die Höhe S'R' der Sonne über dem Horizonte HR beobachtet hat, so kennt man auch die Zenithdistanz ZS' derselben, die nämlich gleich 90° weniger jener Höhe ist. Eben so ist aber auch, aus den Sonnentafeln oder aus den astronomischen Ephemeriden, die Poldistanz NS' der Sonne für diesen Tag bekannt, so wie die Polhöhe HN des Beobachtungsortes, die gleich der geographischen Breite des Beobachters, und überdieß auch gleich 90° weniger ZN ist. Man kennt daher in dem sphärischen Dreiecke NZS' alle drei Seiten und wird daher, mittels der bekannten Formeln der sphärischen Trigonometrie, auch den Winkel ZNS' dieses Dreiecks mit aller Schärfe berechnen können. Dieser Winkel ist aber der Stundenwinkel der Sonne, d. h. die gesuchte wahre Sonnenzeit (I. §. 155).

Dieses an sich, wie man sieht, sehr einfache Verfahren wird etwas zusammengesetzter, wenn man, zur Bestimmung der Zeit, nicht die Sonne, die sich dazu vorzüglich eignet, sondern wenn man die Höhe irgend eines bekannten Sterns beobachtet, eine Beobachtung, zu welcher man öfter gezwungen ist, z. B. wenn man den Augenblick einer zur Nachtzeit angestellten Beobachtung, wo man die Sonne nicht sehen kann, bestimmen will.

Sey also S' der gewählte Stern, dessen Rectascension VQ' und Poldistanz NS' bekannt seyn soll. Nehmen wir an, daß zur Zeit der Beobachtung dieses Sterns in S' die Sonne in der Ecliptik VL den Punkt S einnehme, so daß also VS die Länge der Sonne für diesen Augenblick vorstellt. Läßt man von S auf den Aequator VQ einen senkrechten Kreisbogen ST herab, so wird VT die Rectascension der Sonne für denselben Augenblick bezeichnen, und wir wollen daher voraussetzen, daß man, aus den astronomischen Ephemeriden, auch diese Rectascension VT der Sonne bereits kenne.

Wenn man daher mit dem Quadranten die Höhe S'R' des Sterns oder, was dasselbe ist, die Zenithdistanz ZS' desselben beobachtet, so wird man in dem Dreiecke NZS', in welchem wieder alle drei Seiten gegeben sind, ganz wie zuvor, den Stundenwinkel ZNS' des Sterns, d. h. mit andern Worten: den Bogen QQ des Aequators durch Rechnung finden. Da man aber offenbar hat

$$TQ = VQ - VT \text{ oder } TQ = QQ' + VQ' - VT$$

so wird man auch die gesuchte wahre Sonnenzeit durch folgende einfache Gleichung erhalten:

Wahre Zeit = Stundenwinkel des Sterns, mehr Rectascension des Sterns, weniger Rectascension der Sonne.

Setzt man, was für die Berechnung bequemer ist, in dem letzten Gliede dieser Gleichung nicht, wie bisher vorausgesetzt wurde, die Rectascension der wahren, sondern die Rectascension der mittleren Sonne (I. §. 156), so erhält man auch, statt der wahren Sonnenzeit unmittelbar

die mittlere Zeit, und diese letzte ist es, in welcher die Astronomen ihre Beobachtungen vorzugsweise anzugeben pflegen.

Auf diese Weise also verfuhren die älteren Astronomen, um für jede ihrer Beobachtungen die Zeit derselben zu bestimmen. Tycho besonders, welcher der erste auf eine größere Schärfe in der Zeitbestimmung drang, bediente sich zu diesem Zwecke seiner großen, und für seine Zeit sehr genauen Quadranten, durch welche er die Höhen der Sterne, also auch die Zeit selbst, bei jeder wichtigen Beobachtung, mit viel größerer Präcision bestimmte, als es durch Hülfe der Armillarsphären möglich gewesen wäre.

§. 166. (Zeitbestimmung der neueren Astronomen.) Man sieht, wie beschwerlich und zeitraubend dieses Geschäft der älteren Astronomen gewesen ist. Jede Beobachtung, die sie machten, war eigentlich eine doppelte, nämlich zuerst die eigentliche Beobachtung selbst, z. B. die Finsterniß an einem Instrumente, und dann, an dem anderen Instrumente, die Bestimmung der Zeit dieser Beobachtung, welche letztere, wenn sie genau seyn sollte, umständliche Rechnungen erforderte, und überdieß noch in demselben Augenblicke mit jener angestellt werden sollte, wodurch nicht nur zwei Instrumente, sondern auch zwei Beobachter nothwendig wurden.

Und dieses Uebel konnte so lange nicht vermieden werden, als man kein Mittel hatte, größere Intervalle der Zeit in kleinere und gleiche Theile zu theilen. Ein solches Mittel konnte man aber nur in einer anderen Gattung von Instrumenten finden, welche, so wie die Zeit selbst, eine regelmäßige und völlig gleichförmige Bewegung zeigten. Diese Instrumente sind aber unsere Uhren, von welchen wir später umständlich sprechen werden. Hier wollen wir nur voraussetzen, daß eine solche Uhr von einem Mittag zum anderen durch einige Tage regelmäßig fortgehe, und den Ablauf jeder Stunde, Minute und Sekunde genau anzeige.

Mit Hülfe einer solchen Uhr also war es nun nicht mehr nothwendig, bei jeder Finsterniß oder bei der Beobachtung jeder anderen Erscheinung des Himmels auch zugleich die Zeit dieser Beobachtung zu bestimmen, sondern es war schon genug, diese Uhr nur jeden Mittag mit der Sonne oder mit der großen Himmelsuhr zu vergleichen, und dann bloß den Stand der Uhr im Augenblicke jener Beobachtung abzulesen, um daraus auch sofort die wahre Zeit jener Beobachtung zu finden.

§. 167. (Correspondirende Höhen zu Zeitbestimmungen.) Wie findet man aber den Augenblick des Mittags eines jeden Tages, damit man, wie in §. 166 vorausgesetzt wurde, den Fehler der Uhr für jeden Mittag bestimmen kann?

Man könnte dazu das oben gegebene Verfahren, die Zeit überhaupt zu bestimmen, auch hier wieder benützen, und mit dem Fernrohre des Quadranten die Sonne so lange verfolgen, bis sie ihre größte Höhe über dem Horizonte erreicht, wo sie also in dem Felde des Fernrohrs nicht mehr steigt, sondern eben zu fallen anfängt. Aber dieses Verfahren würde sehr unverläßlich seyn, und man würde dadurch wohl nie die Zeit mit einiger Schärfe bestimmen, da man sie doch, nach den Bedürfnissen der neuern Astronomie, bis auf eine Sekunde, ja selbst bis auf das Zehntheil einer Sekunde genau zu kennen braucht. Die Sonne und überhaupt alle Gestirne verändern nämlich, wenn sie dem Meridian, ihrem Mittage, nahe kommen, ihre Höhe sehr langsam, und in dem Meridian selbst einige Zeit gar nicht, so daß es daher sehr zweckwidrig seyn würde, aus diesen Höhenänderungen, die so äußerst klein sind, die Zeit des Mittags oder den Augenblick der größten von allen diesen Höhen bestimmen zu wollen. Je weiter aber die Gestirne von dem Meridian entfernt sind, desto schneller ist diese Höhenänderung, und am schnellsten ist sie dann,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

wenn das Gestirn S' in der Nähe desjenigen Verticalkreises ZS'R' (I. Fig. 2) steht, dessen Winkel RZR' mit dem Meridian NZR ein rechter ist, daher man auch diesen Kreis den ersten Verticalkreis zu nennen pflegt. In dieser Gegend also wird man die Höhe der Gestirne mit dem Quadranten am vortheilhaftesten beobachten, wenn man aus dieser Höhe nach der in §. 165 erklärten Weise die Zeit finden will.

Allein diese Zeit wird nicht die des Mittages seyn, welche letzte wir hier doch eigentlich suchen. Dieß würde nun zwar nicht als ein Hinderniß für unsere Methode angesehen werden können, da es, wie man ohne meine Erinnerung bemerken wird, gleichviel ist, ob man den Stand der Uhr für zwei Mittage oder auch für zwei andere Augenblicke kennt, wenn nur diese letzten den Augenblick der eigentlichen Beobachtung, der Finsterniß z. B. einschließen, oder doch nicht weiter von ihm entfernt sind, als man sich auf den regelmäßigen Gang der Uhr verlassen kann. Allein die Berechnung des Dreieckes ZNS', um daraus, nach §. 165, den Stundenwinkel ZNS' des Gestirns zu finden, wird, wenn sie oft wiederholt werden soll, beschwerlich und zeitraubend seyn, und was noch viel wichtiger ist, die beobachtete Höhe muß völlig genau bekannt seyn, weil sonst der Stundenwinkel und sonach die ganze Zeitbestimmung selbst fehlerhaft seyn würde. Allein um eine genaue Höhe zu erhalten, muß man auch ein sehr genau gearbeitetes, ein sehr vollkommenes Instrument haben, und solche sind nicht Jedermanns Sache, da sie nur mit großen Kosten angeschafft werden können. Dazu kommt noch, daß man nicht nur die Polhöhe HN oder 90 — ZN des Beobachtungsortes und die Poldistanz NS' des Gestirns, sondern auch noch die Refraction (I. §. 183) genau kennen muß, um durch die Auflösung jenes Dreieckes den Winkel ZNS' mit aller Schärfe zu bestimmen, und alle diese Forderungen sind nicht immer so leicht zu erfüllen, als man wohl auf den ersten Blick glauben sollte.

Allein von allen diesen Hindernissen und Schwierigkeiten können wir uns völlig befreien, wenn wir bedenken, daß alle Sterne zu beiden Seiten des Meridians dieselbe Höhe über dem Horizonte in denjenigen beiden Augenblicken haben, wo sie denselben Abstand vom Meridian, d. h. wo sie, zu beiden Seiten des Meridians, auch gleiche Stundenwinkel haben. Die Sonne steht drei Stunden vor dem Mittag, d. h. um 9 Uhr wahre Zeit Morgens genau eben so hoch, als sie um 3 Uhr w. Z. Abends steht, und so für jede andere zwei gleiche Stundenwinkel, wenn anders ihre Declination in dieser Zwischenzeit unveränderlich angenommen werden kann. Bei den Fixsternen ist dieß in der That der Fall; bei der Sonne, dem Monde und den Planeten aber ist diese Declination allerdings veränderlich, aber diese Veränderung ist im Allgemeinen sehr klein, und es ist leicht, auf sie durch Rechnung Rücksicht zu nehmen, wobei wir uns aber hier nicht weiter aufhalten wollen.

Wenn man also die Sonne an einem Tage zweimal, vor und nach dem Mittage, in der Nähe des ersten Verticalkreises so beobachtet, daß sie in beiden Augenblicken dieselbe, übrigens willkührliche Höhe hat, so weiß man, daß zu diesen beiden Augenblicken auch dieselben Stundenwinkel der Sonne gehören, oder mit andern Worten, daß der Augenblick der ersten Beobachtung eben so weit vor dem wahren Mittage, als der zweite nach dem Mittage statt hat, daß also auch der gesuchte wahre Mittag genau in die Mitte zwischen jene zwei Augenblicke fallen muß.

Man sieht, daß man zu diesen Bestimmungen des Mittags weder die Polhöhe des Beobachtungsorts, noch die Declination des Gestirns, noch auch die absoluten Höhen selbst, und die dazu gehörende Refraction zu

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

kennen braucht, und daß man bloß von der Gleichheit der beiden Höhen und von dem gleichförmigen Gange der Uhr versichert seyn muß, daß also auch zu diesen Beobachtungen der korrespondirenden Höhen, wie man sie zu nennen pflegt, weder eine eigentliche Rechnung, noch auch ein vorzügliches Instrument erfordert wird. In der That, die Eintheilung des Quadranten, den man zu diesen Beobachtungen wählt, mag so fehlerhaft seyn, als sie will, so werden doch dadurch die Beobachtungen nicht schlechter, da man vor und nach Mittag immer nur mit demselben Theilstriche zu thun hat, und da es gleich viel ist, in welchen Höhen man die Sonne beobachtet hat, wenn diese Höhen nur immer dieselben sind. Ganz eben so verhält es sich auch mit beinahe allen übrigen Fehlern dieser Instrumente, die für denselben Punkt des eingetheilten Randes ebenfalls dieselben bleiben, und daher auf das gesuchte Resultat, auf die Zeit des Mittags, keinen Einfluß haben. Um aber, nicht diese Instrumentalfehler, die hier ganz unschädlich sind, sondern um die sogenannten Beobachtungsfehler zu vermeiden, welche letzteren von der Unsicherheit unserer Sinne kommen, wird man zu beiden Seiten des Meridians nicht bloß eine, sondern mehrere Höhen der Sonne beobachten, und dann aus den Mittagen, die man aus jedem korrespondirenden Höhenpaare erhält, das sogenannte arithmetische Mittel nehmen, welches letzte offenbar, als das Resultat aller beobachteten Höhen, viel verläßlicher seyn wird, als dasjenige seyn kann, das bloß aus einem einzigen Paare derselben abgeleitet worden ist.

Um dieß durch ein Beispiel deutlich zu machen, nehmen wir an, man habe folgende korrespondirende Sonnenhöhen zu den beigesetzten Uhrzeiten beobachtet:

Höhe			Uhrzeit Vormittag				Uhrzeit Nachmittag		
43°	15′	.	9ʰ	14′	52.″0	.	2ʰ	49′	40.″2
43	20	.	9	20	43.3	.	2	43	50.1
43	25	.	9	26	54.8	.	2	37	37.6
43	30	.	9	33	19.3	.	2	31	13.5

wo man also bei den nachmittägigen Zeiten eigentlich 14ʰ statt 2ʰ hätte schreiben sollen, um die Zeiten der Uhr ununterbrochen fortzuzählen. Die Summe der beiden Zeiten der ersten Höhe 43° 15′ gibt 24ʰ 4′ 32.2″, und davon ist die Hälfte 12ʰ 2′ 16.1″ die gesuchte Uhrzeit des Mittags aus dieser ersten Höhe. Eben so erhält man

	Uhrzeit des Mittags
Höhe I.	. 12ʰ 2′ 16.1″
II.	. 12 2 16.6
III.	. 12 2 16.2
IV.	. 12 2 16.4

Addirt man alle diese vier Zeiten, und dividirt sie durch 4, so erhält man für das arithmetische Mittel derselben, d. h. für die aus allen Beobachtungen gesuchte Uhrzeit

12ʰ 2′ 16.325″

oder die Uhr ging an diesem Tage im Augenblicke des wahren Mittags gegen die wahre Sonnenzeit voraus um 2′ 16.″3.

Auf diese Weise kann man also jeden Mittag die Uhr mit der Sonne, d. h. mit der wahren Zeit vergleichen, und daraus, wie wir oben (§. 166) gesehen haben, den Stand der Uhr gegen diese wahre Zeit auch für jede andere zwischen diesen Mittagen liegende Zeit durch eine einfache

Rechnung bestimmen. Da man nämlich die Abweichung der Uhr von der wahren Zeit für jeden gegebenen Augenblick kennt, so darf man nur die Uhrzeit einer Beobachtung kennen, um daraus auch sofort die wahre Zeit dieser Beobachtung zu finden.

Wollte man aber diese Zeiten der Beobachtungen nicht, wie es die älteren Astronomen zu thun pflegten, in wahrer, sondern, was in der That bequemer ist, in mittlerer Sonnenzeit angeben, so braucht man nur für den wahren Mittag jedes Tages die sogenannte Zeitgleichung (I. §. 156), d. h. den Unterschied zwischen der wahren und mittleren Zeit zu kennen. Man findet aber diese Zeitgleichung für jeden Tag des Jahres schon in den astronomischen Ephemeriden berechnet. Gesetzt, diese Zeitgleichung wäre für den Tag unserer vorhergehenden korrespondirenden Höhen 8 Minuten 32.7 Sekunden, so heißt dieß, daß eine richtig gehende mittlere Uhr in dem Augenblicke des wahren Mittags jenes Tages 12^h $8'$ $32.7''$ zeigen soll. Allein unsere Uhr zeigte 12^h $2'$ $16.3''$, also ging sie, im wahren Mittage jenes Tages, oder in dem Augenblicke, wo es in der That 14^h $8'$ $32.7''$ mittlerer Zeit war, gegen mittlere Zeit zu spät um $6'$ $16.4''$.

Wäre endlich, was man ebenfalls in diesen Ephemeriden findet, für den Augenblick des wahren Mittags dieses Tages die Sternzeit (I. §. 159) gleich 5^h $14'$ $25.6''$ angegeben, so würde, da unsere Uhr in diesem Augenblicke 12^h $2'$ $16.3''$ zeigte, dieselbe gegen Sternzeit um 6^h $47'$ $50.7''$ zu früh gehen u. s. f.

Welche von diesen drei Zeiten man also wählt, immer wird man, durch Hülfe der korrespondirenden Höhen, die Abweichung der Uhr von jeder dieser drei Zeiten für den wahren Mittag eines jeden Tages, an welchem man eine Beobachtung angestellt hat, angeben können, und daraus den Stand und Gang der Uhr durch eine sehr leichte und einfache Rechnung ableiten, d. h. für jede andere Beobachtung die richtige wahre oder mittlere Sonnenzeit, oder endlich auch die Sternzeit dieser Beobachtung angeben können.

Hat man nun seine Uhr so eingerichtet, daß sie nahe nach der Sonnenzeit geht, d. h. daß sie von einem Mittage zum andern nahe 24 volle Stunden gibt, so wird man zur Regulirung derselben durch korrespondirende Höhen offenbar am bequemsten die Sonne gebrauchen. Allein es wurde bereits früher (I. §. 161) bemerkt, daß eine nach der Sternzeit gehende Uhr zum astronomischen Gebrauche viel bequemer ist. Eine Sternuhr aber ist eine solche gleichförmig gehende Uhr, die zwischen zwei nächsten Kulminationen eines Fixsterns nahe 24 volle Stunden, die also auch, da die Sonne sich im Mittel täglich um 0^h $3'$ $56.''555$ gegen Ost dreht, zwischen zwei nächsten Kulminationen der mittleren Sonne 24^h $3'$ $56.''555$ zeigt. Es wurde bereits gesagt (I. §. 161), wie man jede mittlere Uhr, durch eine bloße Verkürzung ihres Pendels, auf eine solche Sternuhr bringen kann. Wenn man sich also, wie es am angemessensten ist, sich einer solchen Sternuhr bei allen seinen Beobachtungen bedient, so wird man auch, zur Regulirung dieser Uhr durch korrespondirende Höhen sich nicht der Sonne, sondern am bequemsten eines bekannten Fixsterns bedienen. Dann wird man nämlich die durch die Beobachtung der korrespondirenden Höhen dieses Sterns erhaltene Uhrzeit der Kulmination unmittelbar mit der bekannten Rectascension dieses Sterns vergleichen, um sofort den Fehler der Uhr gegen Sternzeit zu erhalten, weil (nach I. §. 161) die Rectascension eines jeden Gestirns auch zugleich die Sternzeit der Kulmination desselben ist. Wenn man also z. B. von einem Fixstern, dessen Rectascension 5^h $30'$ $24''$ bekannt ist, durch korre-

spondirende Höhen die Uhrzeit der Kulmination an seiner Sternuhr gleich $5^h\ 31'\ 10''$ gefunden hat, so ist dadurch auch sofort bekannt, daß die Uhr, in dem Augenblicke jener Kulmination, gegen Sternzeit um 46 Secunden voraus ist. — In diesem Falle wird also auch die Correktion der Uhr gegen Sternzeit nie so hoch anwachsen können, wie in dem vorhergehenden Beispiele, wo wir sie gleich $6^h\ 47'\ 50.7''$ gefunden haben. In der Ordnung wird man nämlich seine Sternuhr durch allmählige Verkürzung des Pendels, und wenn dieses einmal die gehörige Länge hat, durch die Stellung der Zeiger, so zu stellen suchen, daß ihre Abweichung von der Sternzeit nur sehr klein ist, und auch in mehreren Monaten selbst immer noch klein bleibt. Wenn aber auch der tägliche Fehler derselben noch so gering ist, wenn sie z. B. in jedem Sterntage nur eine einzige Secunde vor der Sternzeit vorausgeht, so wird dieß in zwei Monaten doch schon eine Minute, und in einem Jahre sechs Minuten betragen. Dieß wird aber kein Grund seyn, die Zeiger der Uhr öfter zu verstellen, um sie ihrem wahren Stande näher zu bringen, wie dieß wohl viele mit ihren Taschenuhren zu thun pflegen, wenn sie die Mittagsglocke läuten hören. Durch solche gewaltsame Verstellungen der Zeiger mit der Hand wird der regelmäßige Gang dieser feinen Maschinen nur gestört, und der Astronom wird diese und alle ähnlichen äußeren Störungen seiner Uhr sorgfältig vermeiden, um sie so viel möglich ihren Gang ununterbrochen fortsetzen zu lassen. Daher kommt es, daß man selbst auf den besteingerichteten Sternwarten oft zu seiner Verwunderung hört, daß die Uhren derselben mehrere Minuten von der richtigen Zeit abweichen, während man doch glauben sollte, daß sie immer auf das Genaueste mit dem Himmel übereinstimmen müßten. Der Astronom ist schon vollkommen zufrieden, daß seine Uhr nur gleichförmig, wenn sie auch täglich, aber auch nur alle Tage, um dieselbe Zeit zurückbleibt oder vorausgeht. Er hält von diesem Gange seiner Uhr, wie man gesehen hat, täglich scharfe Rechnung, und wird dadurch von dem Fehler derselben für jeden gegebenen Augenblick in genaue Kenntniß gesetzt. Eine Uhr aber, deren Fehler man genau kennt, ist mit Recht eben so gut, als eine fehlerfreie, eine ganz vollkommene Uhr.

§. 168. (Korrespondirende Höhen zur Bestimmung der Rectascension der Gestirne.) Wir wollen daher fortan voraussetzen, daß der beobachtende Astronom seiner Zeit in jedem Augenblicke genau versichert ist, daß wir die Mittel, diesen Zweck zu erreichen, kennen gelernt haben. Damit ist nun auch allerdings eines seiner vorzüglichsten und dringendsten Geschäfte abgethan, da er, wie bereits oben gesagt wurde, bei jeder seiner Beobachtungen an den ihren Ort am Himmel immer verändernden Gestirnen, auch zugleich die genaue Zeit dieser Beobachtung angeben muß.

Wir haben so eben gesehen, wie er durch die Beobachtung der korrespondirenden Höhen eines Sterns die Correktion seiner Uhr finden kann, wenn er die Rectascension dieses Sterns kennt. Allein ganz eben so und durch dasselbe einfache Verfahren wird er auch umgekehrt die Rectascension eines jeden Sterns finden, wenn er die Correction seiner Uhr schon kennt. Da nämlich die Rectascension eines jeden Sterns gleich der Sternzeit der Culmination desselben ist, so wird er, durch korrespondirende Höhen, die Uhrzeit der Culmination des Sterns suchen, und an dieser Uhrzeit die ihm bereits bekannte Correction derselben gegen Sternzeit anbringen, um sofort auch die richtige Sternzeit der Culmination, d. h. um die gesuchte Rectascension des Sterns zu erhalten.

Dieß gibt also ein eben so einfaches als auch sicheres Mittel, die Rectascensionen aller Gestirne mit der größten Genauigkeit zu bestim-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

men. Auch haben es die Astronomen des 17ten Jahrhunderts fleißig angewendet, so bald sie einmal durch ihre mechanischen Künstler solche Uhren erhalten konnten, auf deren gleichförmigen Gang sie sich verlassen durften. Denn diese Voraussetzung einer guten Uhr ist eigentlich die wesentlichste, um genaue Resultate zu erhalten, während im Gegentheile, wie wir gesehen haben, der Quadrant, mit welchem man diese korrespondirenden Höhen beobachtet, ohne Nachtheil selbst ein sehr mittelmäßiges Instrument seyn kann. Auf der Pariser Sternwarte wurde dieses Verfahren schon sehr früh i. J. 1666 angewendet, wie man aus den Memoiren der Akademie dieser Stadt bei Gelegenheit der Finsterniß des 22sten Julius jenes Jahres sehen kann, wo Huygens, Roberval und Auzout ihre Zeit bereits durch korrespondirende Höhen bestimmten. Lacaille, einer der besten und fleißigsten Astronomen des achtzehnten Jahrhunderts, bestimmte noch i. J. 1755 beinahe alle seine sehr zahlreichen Rectascensionen der Fixsterne und der Planeten auf dieselbe Weise.

§. 169. (Quadranten mit zwei Fernröhren.) Der einzige Nachtheil, den man dieser Methode der korrespondirenden Höhen zum Vorwurfe machen kann, ist, daß sie zeitraubend und von Zufällen zu sehr abhängig sind, die der Beobachter nicht in seiner Gewalt hat. Sie fordern, wenn man mehrere derselben nehmen will, vor und nach dem Mittage wenigstens eine halbe Stunde, und wenn die Sonne Nachmittag, zur Zeit der Beobachtungen, mit Wolken bedeckt ist, so geht die ganze Beobachtung verloren. Auch waren nach der Mitte des 17ten Jahrhunderts, wo man die Uhren zu den astronomischen Beobachtungen zu gebrauchen anfing, diese sinnreichen und schwer auszuführenden Maschinen noch lange nicht mit derjenigen Vollkommenheit gearbeitet, durch welche sie sich in unseren Tagen auszeichnen. Endlich gab diese Art der Beobachtung nur die Rectascension der Gestirne, aber nicht die Declination, also nur eine unvollständige Bestimmung des Ortes derselben am Himmel. Die Declination ließ sich doch nur wieder durch Hülfe jener Quadranten finden, indem man mit ihnen die Höhe der Gestirne im Meridian maß, und davon die bereits bekannte Aequatorhöhe subtrahirte, und dazu gewährten jene Quadranten die gewünschte Sicherheit ebenfalls nicht.

Bei dieser Lage der Dinge entschlossen sich mehrere der besten Beobachter, die Uhren nur zur allgemeinen Zeitbestimmung ihrer übrigen Beobachtungen zu gebrauchen, nicht aber sie auch zugleich zur Angabe der Rectascensionen anzuwenden, wozu sie ihnen nicht genau genug schienen, da jeder Fehler in der beobachteten Zeit die Fehler in der so gesuchten Rectascension, im Bogen gezählt, schon fünfzehnmal größer, also z. B. ein Fehlen von einer Zeitminute die gesuchte Rectascension schon um 15 Bogenminuten, oder um den vierten Theil eines Grades unrichtig machte. Sie suchten daher die Orte der Planeten am Himmel, an deren Kenntniß dem Beobachter vor allen gelegen ist, durch andere Mittel zu erhalten, und sie wählten dazu vorzugsweise die Beobachtung der Distanzen dieser Planeten von zwei benachbarten, ihrer Lage nach bereits bekannten Fixsternen. Zu dieser Absicht mußten sie dem Quadranten, so wie er oben (I. §. 43) beschrieben wurde, eine etwas veränderte Einrichtung geben. Er mußte nämlich zuerst mit zwei Fernröhren versehen werden, von welchen das eine, wie bisher, sich um den Mittelpunkt C [I. Fig. 7] bewegte, während das andere in der Lage CA mit dem Quadranten fest und unveränderlich verbunden wurde. Zweitens mußte aber auch der ganze Quadrant ABC um den Punkt C, wo er an seine Säule oder an sein Fußgestell befestiget war, nach allen Richtungen beweglich gemacht werden. Dieß könnte z. B. am einfachsten durch eine

sogenannte Nuß geschehen, wie sie in Fig. 96 abgebildet ist. Auf dem oberen Theile der Säule D, welche den Quadranten trägt, ist ein metallener Cylinder befestiget, der an seinem obersten Ende eine halbe Kugelschale C trägt. In diese Schale paßt eine Kugel a, an welche ein hohler Cylinder ab angegossen ist, und in dessen Höhlung ein anderer innerer Cylinder ab paßt, an dessen oberstem Ende b das Instrument AB oder hier der Quadrant befestiget wird. Die Druckschraube m hält den inneren Cylinder in seiner äußeren Hülle fest, und die Druckschraube n befestiget die Kugel in ihrer Kugelschale. Wenn man daher die beiden Druckschrauben m und n öffnet, so kann man dem Quadranten AB irgend eine willkührliche, auch geneigte Lage gegen den Horizont geben, und ihn dann, wenn man die beiden Schrauben anzieht, auch in dieser Lage befestigen.

Wenn also mit einem solchen Instrumente die Distanz zweier Gestirne, z. B. die Distanz eines Planeten, dessen Ort man bestimmen will, von einem bereits bekannten Fixstern beobachtet werden soll, so bringt man zuerst die Fläche des Quadranten in die Ebene, welche durch das Auge des Beobachters und durch jene beiden Gestirne geht, und zwar so, daß das fixe Fernrohr des Instruments auf das eine dieser beiden Gestirne gerichtet ist.

In dieser Lage wird der Quadrant mittels jener Druckschrauben befestiget, und nun wird auch das andere Fernrohr längs der Ebene des Quadranten so lange bewegt, bis durch dasselbe auch das andere Gestirn erscheint. Man sieht, daß man auf diese Weise die Distanz der beiden Gestirne auf dem Quadranten ablesen kann, und daß man dieselbe am besten erhalten wird, wenn zwei Beobachter zu gleicher Zeit an dem Instrumente beschäftiget sind, von denen jeder durch eines der beiden Fernröhre steht. Uebrigens bemerkt man von selbst, daß man, da man im Allgemeinen die kleineren Distanzen vorziehen wird, den Bogen AB auch kleiner, als den vierten Theil eines Kreises nehmen kann, wodurch das Instrument zu den Beobachtungen bequemer wird. Ein solches Instrument wird ein astronomischer Sextant oder Octant genannt, je nachdem der Bogen des Kreises .. 60 oder 45 Grade hat.

Dieser Art, die Orte der Planeten am Himmel, z. B. ihre Länge und Breite zu finden, bedienten sich vorzüglich Tycho, Hevel und selbst noch Flamstead.

Allein auch dieses Verfahren setzt einen sehr vollkommen gebauten und genau getheilten Quadranten voraus, und es ist überdieß für den Gebrauch unbequem, da es zwei Beobachter und eine sehr umständliche Berechnung erfordert. Um dieses näher zu zeigen, seyen (Fig. 97) A und B die beiden Sterne, deren Ort am Himmel man genau kennt, und durch deren Distanzen AC und BC von dem Planeten C man auch den Ort des letzten bestimmen will. Ist also z. B. P der Nordpol des Aequators, so kennt man die beiden Poldistanzen AP und BP der Sterne und den Winkel APB d. h. die Differenz ihrer Rectascensionen. Durch die Beobachtung sind überdieß die Distanzen AC und BC gegeben. Sonach kennt man in dem Dreiecke APB die zwei Seiten AP, BP und den von ihnen eingeschlossenen Winkel APB, also wird man auch daraus durch Rechnung (I. §. 49) die Seite AB und den Winkel x finden können. Dadurch sind in dem zweiten Dreiecke ABC alle drei Seiten gegeben, also wird man auch den Winkel ABC, das heißt den Winkel $y = ABC - x$ berechnen können. Auf diese Weise kennt man aber in dem dritten Dreiecke BPC die beiden Seiten BP und BC nebst dem eingeschlossenen Winkel y, also findet man auch daraus durch Rechnung

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

die Seite PC und den Winkel PBC. Es aber PC die gesuchte Poldistanz des Planeten und der Winkel BPC ist gleich der gesuchten Rectascension des Planeten, weniger der bereits bekannten Rectascension des zweiten Sterns B.

§. 170. (Mauerquadrant.) Da aber diese Rechnungen, wenn sie oft wiederholt werden, sehr zeitraubend sind, so dachte man bald auf andere Mittel, dieselbe Absicht zu erreichen.

Zuerst suchte man dem Quadranten, auf den man doch immer wieder zurückzukommen gleichsam gezwungen war, mehr Vollkommenheit zu geben. Man sah ein, daß man die Theilung desselben, bei einem kleineren Instrumente besonders, nicht mit Genauigkeit auftragen kann, und daß im Gegentheile sehr große Instrumente weder leicht noch sicher in alle jene so verschiedenen Lagen gebracht, und darin erhalten werden können. Man kam daher auf die Idee, viele größere Quadranten in der Ebene des Meridians selbst fest und unveränderlich aufzustellen, und daran die Gestirne zur Zeit ihrer Kulmination zu beobachten. So entstand der Mauerquadrant, der noch in den letzten Decennien des verflossenen Jahrhunderts zu den vorzüglichsten und gebräuchlichsten Instrumenten der Astronomie gehörte.

Der Mauerquadrant ABC (Fig. 98) besteht aus mehreren starken und unter einander fest verbundenen Stangen und einem Kreisbogen AB von Metall. Dort wo diese Stangen an einander gefügt sind, in den Punkten m, m, m ist das ganze Instrument durch starke Schrauben an eine in der Ebene des Meridians errichtete Mauer befestiget. Man wird sich bei diesen Schrauben leicht eine Vorrichtuug denken können, durch welche man das ganze Instrument in seiner Lage etwas verrücken, und dadurch ganz genau in die Ebene des Meridians bringen kann. Ein Bleiloth BC, oben bei C, an einer Nadelspitze befestiget, wird an dem untersten Theile B des eingetheilten Randes AB immer denselben Punkt bedecken, so lange die beiden äußersten Halbmesser CA und CB des Quadranten unverändert dieselbe Lage gegen den Horizont beibehalten. Schlägt der Faden auf einen andern Punkt, so wird man von dieser Abweichung des Quadranten entweder Rechnung tragen, oder sie auch, durch dieselbe Vorrichtung bei den Schrauben m, m . . wieder herstellen und verbessern können. Der Faden dieses Lothes ist durch ein ihn umgebendes Gehäuse vor Luftzug geschützt, und die zu große Beweglichkeit des Gewichts bei B wird dadurch gehindert, daß man es in einem mit Wasser gefüllten Gefäße schwimmen läßt. Das Fernrohr DE bewegt sich um den Mittelpunkt O des Quadranten mit der Fläche desselben parallel. Bei der Ocularseite E ist es, mittels einer Schraube cd und einer doppelten Metallplatte b mit dem Rande des Instruments in Verbindung gesetzt. Diese Platte umfaßt, in der Gestalt einer Gabel, den Kreisbogen, und die beiden Theile derselben können durch eine eigene Schraube einander genähert werden, wodurch dann das Fernrohr fest mit dem Kreisbogen AB verbunden wird. Wenn aber diese beiden Theile der Platte von einander entfernt werden, so läßt sich das Fernrohr frei um den Mittelpunkt O drehen, und auf einen willkührlichen Punkt des Quadranten stellen und daselbst mittels der erwähnten Schraube bei b so befestigen, daß man kleine Verrückungen des Fernrohrs noch mittels der Schraube cd hervorbringen, und dadurch das Fernrohr genau auf den zu beobachtenden Stern stellen kann. Auf der jener Platte b entgegen gesetzten Seite ist dieses Fernrohr mit einem kleinen, eingetheilten Metallplättchen a oder mit dem Vernier verbunden, der zur genaueren Bestim-

mung der auf dem Kreise AB angebrachten Theilstriche dient, und von dem wir weiter unten sprechen werden.

Tycho ist der erste, der ein solches Instrument gebraucht hat, das er, als der Erfinder desselben, Quadrans Tychonicus nannte. Da er den Halbmesser desselben sehr groß annahm, so konnte er den Rand desselben mittels Transversalen, wie wir weiter unten sehen werden, noch bis auf zehn Sekunden eintheilen. Allein diese so weit getriebene Theilung war demungeachtet sehr ungenau, und man sieht aus seinen Beobachtungen, daß die Fehler derselben öfter auf zwei und selbst auf drei Minuten gehen. Seine nächsten Vorgänger, wie Walther, Regiomontan, Wilhelm IV. und andere, die auf ihre Instrumente nicht geringere Mühe und Kosten verwendet hatten, mußten sich Fehler von zehn Minuten gefallen lassen, und den Arabern ging es, ihrer ungeheueren Instrumente ungeachtet, nicht besser. Ptolemäus versichert in seinem Almagest, daß seine und Hipparch's Beobachtungen die Winkel bis auf vier Minuten im Raume, und die Zeit bis auf acht Zeitminuten genau geben; allein aus den Beobachtungen der alexandrinischen Griechen scheinen noch viel größere Fehler zu folgen.

Wie dem auch seyn mag, die große Vollkommenheit unserer astronomischen Instrumente datirt sich erst seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts, und unter diesen wurden besonders die Mauerquadranten von den englischen Künstlern mit einer bisher ganz unbekannten Genauigkeit verfertiget. Im Jahre 1725 schon vollendete Graham einen der ersten und vorzüglichsten Mauerquadranten von acht Fuß im Halbmesser, an welchem Halley in Greenwich beobachtete. Unter Graham's Leitung verfertigte Jonathan Sisson einen anderen, mit welchem le Monnier in Paris bis znm Jahre 1751 beobachtete, und der dann nach Berlin gebracht wurde, wo Lalande an ihm die Beobachtungen machte, die Lacaille, nach der getroffenen Verabredung, gleichzeitig am Kap der guten Hoffnung anstellte. Der berühmte Mechaniker Bird in England verfertigte mehrere ausgezeichnete Instrumente dieser Art, einen von acht englischen Fuß im Halbmesser für Greenwich, zwei für Oxford, eben so viele für Petersburg, Göttingen, Cadix, Mannheim und Paris. Der französische Finanzminister Bergeret ließ im Jahr 1775 in England einen Mauerquadranten für die Ecole militaire in Paris verfertigen, an dem anfangs d'Agelet viel beobachtete, bis endlich Lalande, der Neffe des bekannten Astronomen (Jérome le Français Lalande) ihn benützte, um durch seine eifrigen und viele Jahre fortgesetzten Beobachtungen den ersten vollständigen Fixsternkatalog von mehr als 40000 Sternen zu geben. (M. s. dessen Histoire céleste. Paris 1801). Kein anderes Instrument hatte bisher eine so reiche Ernte von nützlichen Beobachtungen geliefert. Ramsden, vielleicht der erste aller Mechaniker, die je gelebt haben, verfertigte einen großen Mauerquadranten für die Sternwarte in Padua, einen andern für Mailand und für Wilna, und endlich einen für Blenheim in England, welcher letzte sich auf einer soliden vertikalen Axe im Horizonte drehen läßt, und überhaupt eines der vollkommensten Instrumente ist, das je aus der Hand eines Künstlers hervorgegangen ist.

§. 171. (Entdeckung der Fernröhre.) So vorzüglich aber auch diese Instrumente, in Beziehung auf die früheren, seyn mochten, so ließen sie doch für die erhöhten Forderungen der neueren Astronomie noch gar manches zu wünschen übrig. Ihr großes Volum machte sie kostbar und zum Gebrauche unbequem, und es war überdieß äußerst schwer, wo nicht unmöglich, einen so großen Kreisbogen in einer und derselben Ebene, ohne theilweise Biegungen und Krümmungen zu erhalten. Nicht min-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

der schwierig war es, das Fernrohr in allen seinen Lagen der Ebene des Quadranten genau parallel zu machen, und die zwei letzten Ursachen machten das Instrument zur Beobachtung der absoluten Zeitbestimmung oder der Rectascension in der Ebene des Meridians nicht in dem Maße geeignet, welches die so weit vorgerückten Bedürfnisse der Wissenschaft zu erfordern schienen. Wegen der Unbeweglichkeit des Instruments waren die Rectificationen desselben beschwerlich und unsicher. Endlich waren sie, eben wegen ihrer Größe, den Einwirkungen der Temperatur zu sehr ausgesetzt. Die höheren Theile des Observationszimmers sind gewöhnlich wärmer, als die näher an dem Fußboden liegenden, wodurch das Instrument oben mehr als unten, und überhaupt in seinen verschiedenen Theilen verschieden ausgedehnt wird, was auf die damit angestellten Beobachtungen einen um so nachtheiligeren Einfluß haben muß, je schwerer es ist, diese Ausdehnung zu bemerken oder von ihren Wirkungen Rechnungen zu tragen.

Diese Schwierigkeiten, mit denen die neueren Astronomen zu kämpfen hatten, entsprangen vorzüglich aus der Entdeckung eines neuen Instruments, durch welches unser edelster Sinn wunderbar erhöht, und unsere Kenntniß der Erde und des Himmels auf eine Weise erweitert wurde, von welchen sich die Alten keine Vorstellung machen konnten.

Die Ausbildung und Vervollkommnung der Astronomie in ihrem ganzen Umfange hängt nämlich vorzüglich von drei Gegenständen ab. Erstens von dem Grade der Genauigkeit, mit welcher wir die äußeren Objekte dieser Wissenschaft, die himmlischen Körper, *sehen* können. Was man nicht oder doch nicht deutlich sieht, kann man auch nicht oder doch nicht genau beobachten. Mit freien Augen unterscheiden wir Winkel, die mehrere Minuten unter sich verschieden sind, nicht mehr, also wird auch ein Beobachter mit unbewaffnetem Auge für eine und selbst für mehrere Minuten nicht mehr gut stehen können. Dieß war der Fall der alten Griechen und Araber und überhaupt aller Astronomen, die mit den neuern Mitteln, die Schärfe unseres Auges zu stärken, unbekannt waren.

Als wir durch eine der glücklichsten Entdeckungen, die dem menschlichen Geiste je gelungen ist, dahin gekommen waren, Gegenstände am Himmel zu sehen, die uns wegen ihres zu geringen Umfanges früher ganz unbemerkbar waren, so mußte es unsere nächste Sorge seyn, nun auch unsere Instrumente so einzurichten, so zu vervollkommnen, daß man damit die Größen, die man nun *sehen* konnte, auch zu *messen* im Stande war. Wir sahen jetzt die Durchmesser der Planeten, ihre Winkelabstände von den Fixsternen, ihre Höhen über dem Horizonte oder über dem Aequator bis auf einzelne Secunden genau, und daraus mußte unmittelbar der Wunsch entstehen, diese Gegenstände auch eben so genau bis auf die einzelne Secunde *messen* zu können.

Nachdem endlich auch diese Forderung erfüllt war, nachdem durch die vereinigten Bemühungen der größten Künstler des verflossenen Jahrhunderts unsere Meßwerkzeuge eine Genauigkeit erhalten hatten, daß sie mit jener wunderbaren Verschärfung unseres Auges gleichen Gang hielten, d. h. nachdem unsere *optischen* sowohl, als auch unsere *messenden* Instrumente auf einen so hohen Grad der Vollkommenheit gebracht waren, blieb noch eine andere, dritte Gattung von Instrumenten, das Werkzeug des Geistes, wenn man so sagen darf, blieb noch die *mathematische Analysis* übrig, die nun ebenfalls aus dem Zustande der Kindheit, in welchem sie uns von unseren Vorgängern überliefert worden war, zu der Höhe gebracht werden mußte, in welcher sie die beiden anderen großen Hülfsmittel der Wissenschaft kräftig unterstützen, oder viel-

mehr, da sie unter allen bei weitem die wichtigste war, in welcher sie jene beiden leiten und anführen konnte, so daß fortan die theoretische Astronomie mit der praktischen Hand in Hand auf demselben Wege ihrer gemeinsamen Vollendung entgegen gehen konnte.

Die Darstellung der allmähligen Ausbildung dieser drei Theile der Wissenschaft bildet die wahre Geschichte der Astronomie. Ein völliges Gleichmaß unter diesen Theilen würde die Wissenschaft zu einer in sich selbst abgeschlossenen Ruhe, zu einer Art von Stagnation bringen, während im Gegentheile das Uebergewicht des einen derselben über die beiden andern Leben und Thätigkeit erzeugt, und den menschlichen Geist auffordert, das gestörte Gleichgewicht wieder herzustellen, und die Lücken und Mängel, die in den zurückgebliebenen Theilen der Wissenschaft sichtbar werden, durch neue Anstrengungen wieder zu ersetzen.

Eine solche Aufforderung an den Genius der Menschheit erging, im Anfange des siebenzehnten Jahrhunderts, durch die Erfindung des Fernrohrs, dem bald auch die des Mikroscops folgte, das jenem so nahe verwandt ist. Beide Instrumente erweiterten die Gränze unseres edelsten Sinnes, und dadurch unsere Kenntniß der Natur auf eine wunderbare Weise. Zwei neue, bisher ganz ungeahnte Welten schlossen sie vor uns auf, indem sie uns Gegenstände erkennen ließen, von welchen die einen wegen ihrer zu geringen Kleinheit und die andern wegen ihrer zu großen Entfernung, uns ohne jenes Instrument, für immer verborgen geblieben wären.

Wenn es aber erlaubt ist, diese Entdeckung, durch welche der Mensch die ihm von der Natur gesetzten Schranken zu durchbrechen und sich über sich selbst zu erheben wußte, für ihn selbst in einem hohen Grade ruhmvoll zu halten, so muß doch auch hinzugesetzt werden, daß er diese schönste und glänzendste seiner Entdeckungen keinesweges dem Scharfsinne oder dem angestrengten Nachdenken seines Geistes, sondern daß er sie nur einem Zufalle, einem blinden Ohngefähr, daß er sie bloß einem absichtslosen Spiele zweier Kinder verdankt. Auch möchte es, welche hohe Idee von der geistigen Kraft des Menschen man auch nähren mag, wohl immer für ihn unmöglich seyn, auf dem bloßen Wege der theoretischen Spekulation zu Entdeckungen solcher Art zu gelangen *). Nach Borelli's Erzählung soll Zacharias Jansen, ein holländischer Künstler, i. J. 1590 auf diese Entdeckung gekommen seyn, indem seine Kinder unter den vielen vorräthigen Glaslinsen zufällig zwei derselben zusammen brachten und dadurch die entfernten Gegenstände zu ihrer Verwunderung sehr vergrößert erblickten. Andere erzählen dieselbe Anekdote von Jakob Metius, aus Alkmar, oder von Johann Lippersheim aus Middelburg

---

*) Huygens, der selbst zur Vollendung dieser Entdeckung sehr wesentlich beigetragen hat, erklärt sich darüber in seiner Dioptrik auf folgende Weise: „Wenn es je einen Menschen von solcher Geisteskraft gegeben hätte, daß er durch bloßes Nachdenken und aus geometrischen Principien auf die Entdeckung des Fernrohrs gekommen wäre, so würde ich nicht anstehen, ihn für ein höheres, über alle Sterblichen weit erhabenes Wesen zu halten. Aber davon sind wir so weit entfernt, daß selbst noch lange nachher unsere größten Gelehrten von dieser durch einen bloßen Zufall gemachten Entdeckung die wahren Gründe derselben nicht einmal gehörig angeben können“ In der That waren die ersten optischen Schriftsteller lange in Verlegenheit, die einfachsten Erscheinungen und Eigenschaften des Fernrohrs theoretisch richtig zu erklären.

in Holland, die Beide diese Entdeckung nahe um dieselbe Zeit gemacht haben sollen.

Ein Stück Kieselerde mit Potasche vermischt, und ein Spiel der Kinder eines Brillenmachers öffnete uns also zwei neue, unbekannte Welten! — Dieses zufällige Spiel lehrte uns mit dem mikroscopischen Auge der Milbe die Blüthentheile der Moose, das kunstreiche Gewebe und den Farbenschmelz der Schmetterlingsflügel und jene Geschöpfe erblicken, die, den Wassertropfen zu Tausenden bewohnend, heerdenweise durch das Oehr einer Nadel ziehen, während sie uns zugleich mit den Augen eines höheren Wesens die fernsten Gränzen unseres Planetensystems betrachten, und selbst weit jenseits dieser Gränzen die zahllosen Wunder des Himmels kennen lehrte, gegen welche alles, was uns hier unten groß und mächtig erschien, nur als ein bedeutungsloses Nichts verschwindet. Gewiß ein merkwürdiges Beispiel, das uns zugleich erheben und demüthigen, das uns aber auch auffordern muß, keine, auch nicht die geringste Erscheinung der Natur zu vernachlässigen, da sie, wenn auch anfangs unbedeutend scheinend, doch immer einen Ring mehr in der Kette unserer Kenntnisse bilden kann, und daher als ein Schatz von bisher unbekanntem Werthe zu dem großen Vorrathe anderer Schätze, und zu demjenigen Erbe gelegt werden soll, welches wir unsern Nachkommen mit der Hoffnung überlassen können, daß Zeit und Glück einst einen späten Enkel begünstigen und die Kostbarkeit des hinterlegten Pfandes zu Tage fördern wird.

§. 172. (Brechung der Lichtstrahlen durch eine Linse.) Um die Einrichtung eines Fernrohrs näher kennen zu lernen, wird es angemessen seyn, zuerst die Art zu untersuchen, auf welche die Lichtstrahlen von einer Glaslinse gebrochen werden. Wir betrachten hier nur sogenannte biconvexe Linsen MN (Fig. 99), die auf beiden Seiten erhaben geschliffen, und Stücke von zwei gleichen oder auch verschiedenen Kugeln sind, deren Mittelpunkte irgendwo in derselben geraden Linie Aa liegen, welche Linie auch die Axe der Linse heißt.

Eine solche Linse ist also ein gemeines Brennglas, das Jedermann kennt und auch zu brauchen weiß. Wenn man nämlich die eine der beiden Flächen dieses Glases der Sonne aussetzt, so daß die Strahlen derselben nahe senkrecht auf diese Fläche fallen, so bemerkt man auf der anderen Seite der Linse, in einiger Entfernung von ihr, einen kleinen, runden, lichten Kreis, den man den Brennpunkt der Linse nennt, weil er in der That eine große Hitze äußert und die Gegenstände, auf die er fällt, in Brand setzt. Dieser Brennpunkt liegt aber, wie man sich leicht überzeugen kann, immer in der Axe Aa der Linse und ist in der That nichts anderes, als das Bild der Sonne, wie man deutlich sehen kann, wenn man dieselbe Linse vor die Oeffnung eines verfinsterten Zimmers stellt, und auf der inneren Seite, in derselben Entfernung von der Linse, eine weiße Tafel vorstellt, wo sich dann von den entfernten äußeren Gegenständen, z. B. von den andern Häusern der Stadt, die Bilder derselben auf der Tafel zeigen. Je weiter jene Häuser von der Linse entfernt sind, desto deutlicher erscheinen ihre Bilder, wenn die Tafel in der That eben so weit, wie oben bei der Sonne, von der Linse absteht, während die näher stehenden Häuser undeutlich, und endlich ganz unkenntlich werden. Wir müssen daher annehmen, daß die von den entfernten Gegenständen ausgehenden, und die ganze Vorderfläche der Linse bedeckenden Lichtstrahlen, bei dem Durchgange derselben durch die Linse gebrochen, und hinter der anderen Seite der Linse so vereiniget werden, daß alle diejenige Strahlen, welche von einem bestimmten

Punkte des Gegenstandes, z. B. von der Spitze eines Thurmes ausgingen, sich wieder in einem einzigen bestimmten Punkte sammeln, und eben dadurch das Bild dieser Thurmspitze bilden, und dasselbe wird auch von jedem andern Punkte des Thurmes gelten müssen, weil sonst das Bild desselben nicht so rein und deutlich seyn könnte, wie es in der That erscheint.

Wenn also der äußere Gegenstand, ein entfernter Thurm oder die noch viel mehr entfernte Sonne, sehr weit von der Linse absteht, so liegt das Bild derselben immer in dem Brennpunkte der Linse. In diesem Falle können aber alle Strahlen, welche von dem leuchtenden Gegenstande auf die Linse fallen, als unter einander parallel angesehen werden, obschon eigentlich jeder einzelne Punkt des leuchtenden Körpers immer nur divergirende Strahlen aussendet, so daß also „für parallel auffallende Strahlen, der Ort des Bildes immer in dem Brennpunkte der Linse ist.“

Wenn aber der Gegenstand näher an die Linse rückt, so daß gegen seine Entfernung, die Größe der Linse nicht mehr als unbedeutend angesehen werden kann, so wird die Divergenz der auf die Linse fallenden Strahlen auch nicht mehr unmerklich seyn, man wird diese Strahlen nicht mehr als unter sich parallel annehmen können, und dann wird auch die Brechung derselben, bei ihrem Durchgange durch die Linse, eine andere seyn, als zuvor, d. h. das Bild des näher gerückten Gegenstandes wird, zwar noch in die Axe Aa der Linse, aber nicht mehr in den Brennpunkt derselben fallen, und überdieß auch nicht mehr dieselbe Größe haben, wie zuvor.

Es ist interessant zu sehen, welches, für jeden gegebenen Gegenstand, der Ort und die Größe seines Bildes seyn wird. — Diese Frage läßt sich aber auf folgende sehr einfache Weise beantworten.

Wir wollen zuerst die Dicke der Linse als unbedeutend übersehen, da sie in der That auf die Antwort, dir wir suchen, nur einen sehr geringen Einfluß hat, und bloß bemerken, daß von allen Strahlen, die von irgend einem Punkte eines nahen oder fernen Gegenstandes auf die Linse fallen, immer einer *nicht* gebrochen wird, nämlich derjenige, der durch den Mittelpunkt C der Linse durchgeht und daher der *Hauptstrahl* jenes Punktes heißt. Die Ursache, warum dieser Strahl von der Linse keine Brechung erleidet, sondern nach seinem Durchgange durch dieselbe seinen Weg in derselben Richtung fortsetzt, liegt offenbar in dem Umstande, daß die beiden Orte der Linse, wo der Hauptstrahl in sie tritt, und wo er sie wieder verläßt, in ihren Krümmungen einander *parallel* sind, und daß sie daher keine Abweichung des Strahls von seinem Wege hervorbringen können.

Es sey nun ACa die Axe und C der Mittelpunkt der Linse MN, und AB ein auf dieser Axe senkrecht stehender Gegenstand, dessen Größe AB und Entfernung AC von der Linse gegeben ist, und dessen Bild man sucht.

Wenn die auf die Linse auffallenden Strahlen alle unter sich, und mit der Axe Aa parallel wären, so würden sie, nach dem Vorhergehenden, nach ihrer Brechung sich alle in dem Brennpunkte der Linse vereinigen. Sey p dieser Brennpunkt, dessen Ort man also, durch das oben erwähnte einfache Experiment mit der Sonne, leicht finden kann.

Was nun den untersten Punkt A des Gegenstandes AB betrifft, der in der Axe der Linse liegt, so wird sein Bild, auf der anderen Seite der Linse, ebenfalls irgendwo in der Axe liegen müssen, weil der Hauptstrahl

AC desselben in der Axe liegt, also durch den Mittelpunkt der Linse geht, und daher gar nicht gebrochen wird.

Zieht man nun auch durch den höchsten Punkt B des Gegenstandes, und durch den Mittelpunkt C der Linse die gerade Linie BC, so wird diese Gerade den Hauptstrahl dieses obersten Punktes B vorstellen, und da sich überhaupt von jedem Punkte des Objekts alle von ihm ausgehenden Strahlen wieder in einem einzigen Punkte vereinigen sollen, so wird dieser Vereinigungspunkt der von B ausgehenden Strahlen, oder so wird das Bild des höchsten Punktes B irgendwo in dem Hauptstrahl BC oder dessen Verlängerung seyn müssen. Um daher den Punkt in der Linie BC zu finden, in welchem das Bild des Punktes B liegt, so wollen wir bemerken, daß von allen den Strahlen, die dieser Punkt B divergirend aussendet, auch ein mit der Axe AC parallel liegender Strahl seyn muß. Sey Bo dieser mit AC parallele Strahl. Da nun, nach dem Vorhergehenden, jeder mit der Axe parallel einfallende Strahl, nach seiner Brechung, durch den Brennpunkt p der Linse gehen muß, so wird op den mit AC parallelen Strahl des höchsten Punktes B, nach seiner Brechung vorstellen.

Demnach muß das gesuchte Bild des Punktes B sowohl in der Linie BC, als auch in der Linie op, also muß dieses Bild in dem gemeinschaftlichen Durchschnittspunkt b dieser beiden Linien BC und op seyn. Da nun, der Voraussetzung gemäß, der Gegenstand AB auf der Axe senkrecht steht, so wird auch das Bild ab auf derselben senkrecht stehen, und da man das Bild b des höchsten Punktes B schon kennt, so darf man nur von diesem Punkte b eine Senkrechte ba auf die Axe AC der Linse ziehen, um sofort die Größe ba als auch die gesuchte Entfernung Ca des Bildes von der Linse zu erhalten.

Man wird also, um das Vorhergehende kurz auszudrücken, durch irgend einen Punkt B des Gegenstandes zwei Gerade ziehen, von welchen die eine BC durch den Mittelpunkt der Linse, und die andere Bo mit der Axe der Linse parallel ist. Zieht man dann durch den Punkt o und durch den bekannten Brennpunkt p der Linse eine Gerade op, welche verlängert die vorige Gerade BCb in dem Punkte b schneidet, so ist b das gesuchte Bild des Punktes B.

Man muß sich nämlich, dem Vorhergehenden gemäß, vorstellen, daß alle von dem Punkte A auf die Linse fallende und dieselbe gleichsam bedeckende Strahlen, nach ihrer Brechung, sich sämmtlich in dem Punkte a vereinigen und da das Bild von A erzeugen. Und eben so werden auch alle die von dem höchsten Punkte B des Gegenstandes auffallende Strahlen nach ihrer Brechung sich in dem Punkte b vereinigen, um hier das Bild des Punktes B zu machen, und dasselbe gilt auch von allen den übrigen zwischen A und B liegenden Punkten, deren Bilder alle zwischen a und b in der auf die Axe senkrechten Linie ab liegen werden. In der Zeichnung ließen sich alle Strahlen eines jeden Punktes nicht ausdrücken, da es ihrer in der That für jeden Punkt unzählige gibt, sondern man hat von ihnen nur diejenigen angeführt, deren Lage zur Auffindung des Bildes nothwendig sind.

Mit Hülfe dieser Zeichnung wird man also für jede gegebene Größe und Entfernung des Gegenstandes die Größe und Entfernung des Bildes in allen Fällen bestimmen *). Nimmt z. B. die Entfernung AC

---

*) Noch genauer und allgemeiner läßt sich dieß durch die einfachsten Vorschriften der Algebra thun. Nennt man AC = a die Entfernung und

des Gegenstandes von der Linse zu, so nimmt die Größe ab sowohl, als auch die Entfernung aC des Bildes ab, und a rückt dem Brennpunkte p näher. Wird die Entfernung AC des Gegenstandes, wie bei der Sonne, unendlich groß, so fällt das Bild a in den Brennpunkt p, übereinstimmend mit dem Vorhergehenden, da jetzt die von dem Gegenstande auf die Linse fallenden Strahlen unter sich parallel sind. — Rückt umgekehrt der Gegenstand A näher an die Linse, so entfernt sich das Bild a von derselben und wird zugleich immer größer, und zwar so lange, bis der Gegenstand in die Entfernung Cp' gleich Cp kommt, oder bis er in der Entfernung der Brennweite steht, wo dann das Bild in einer unendlichen Entfernung auf der andern Seite der Linse steht, weil jetzt die aus p' auf die Linse fallenden Strahlen, nach ihrer Brechung, unter sich parallel werden. Ein sehr weit entfernter Gegenstand hat demnach sein Bild im Brennpunkte der Linse, und ein im Brennpunkte stehender Gegenstand hat sein Bild in einer unendlichen Entfernung, oder von einem in dem Brennpunkte p' stehenden Gegenstand werden alle Strahlen durch die Linse in einer unter sich parallelen Lage gebrochen. Uebrigens bemerkt man auch ohne meine Erinnerung, daß in allen den erwähnten Fällen das Bild des Gegenstandes immer verkehrt ist, indem das Bild b des höchsten Punktes des Gegenstandes am tiefsten unter der Axe ACa der Linse liegt.

§. 173. (Einrichtung der Fernröhre.) Nach dieser Erläuterung der Wirkung einer einfachen Linse wird es nun leicht seyn, die Einrichtung der Fernröhre zu übersehen. Die einfachsten dieser optischen Instrumente bestehen aus zwei Linsen, die an den beiden Enden einer Röhre so angebracht sind, daß ihre Axen sowohl, als auch ihre Brennpunkte zusammen fallen.

Sey Ee (Fig. 100) der Gegenstand in einer sehr großen Entfernung von der ersten größeren Linse MAN oder von dem Objektive, und bab' die kleinere Linse oder das Ocular. Sey EAa die gemeinschaftliche Axe der beiden Linsen, und in dieser Axe endlich F ihr gemeinschaftlicher Brennpunkt.

Schon aus dieser Stellung der beiden Linsen folgt, daß die von einem sehr weit entfernten Gegenstande Ee, also die mit der Axe parallel auf das Objektiv MN auffallenden Strahlen ihr Bild in dem Brennpunkte F dieses Objektivs haben werden. Da aber dieses Bild in F für die Ocularlinse bb' die Stelle des Gegenstandes vertritt, und da dieser Gegenstand F in dem Brennpunkte der Ocularlinse liegt, so werden (nach §. 172) die Lichtstrahlen nach der Brechung durch das Ocular bb', unter sich parallel in das Auge O des Beobachters treten, und dieß ist die erste wichtige Eigenschaft des Fernrohrs, da ein wohlgebautes Auge die Gegenstände nur dann deutlich sieht, wenn die von jedem Punkte desselben ausgehenden Strahlen unter sich parallel sind. Allein dieses

---

AB = b die Größe des Gegenstandes, so wie Ca = α die Entfernung und ab = β die Größe des Bildes und Cp = p die Brennweite der Linse, so hat man, wie man leicht findet, die beiden Gleichungen

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a} \quad \text{und} \quad \beta = \frac{bp}{a-p}$$

und von diesen zwei Ausdrücken gibt die erste die Entfernung α, und die zweite die Größe β des Bildes.

Instrument gewährt noch andere, größere Vortheile, die wir sogleich näher kennen lernen werden.

Der in der Axe liegende Punkt E des hier als sehr entfernt angenommenen Gegenstandes wirft eine Anzahl mit der Axe Aa paralleler Strahlen auf das Objektiv MN, welche diese Linse gleichsam ganz bedecken, und welche sich, nach ihrer Brechung durch das Objektiv, in dem Brennpunkte desselben F vereinigen und daselbst das Bild jenes Punktes E entwerfen. Von F gehen dann diese Strahlen divergirend auf das Ocular bb', aus welchem sie nach ihrer zweiten Brechung unter sich parallel heraustreten. Da der Hauptstrahl EAFO dieses Punktes E die Mitte A und a der beiden Linsen, also ungebrochen, durchgeht, so ist Ea oder aO die Richtung aller dieser von E kommenden, nach der zweiten Brechung unter sich parallelen Strahlen.

Betrachten wir nun eben so auch den äußersten Punkt e des Gegenstandes Ee, oder den, der von der Axe am meisten entfernt ist. Dieser Punkt e schickt ebenfalls eine Anzahl unter sich paralleler, also auch, da Ee gegen die Entfernung EA sehr klein ist, mit der Axe Aa paralleler Strahlen auf das Objektiv, die ebenfalls das Objektiv gleichsam bedecken, und daher, nach ihrer Brechung durch das Objektiv, sich in irgend einem Punkte f vereinigen, welcher Punkt f daher das Bild von dem Punkte e seyn wird. Da aber der Hauptstrahl des Punktes e, nämlich der Strahl eA, ungebrochen durch die Mitte A des Objektivs hindurchgeht, so findet man den Punkt f, wenn man in dem Brennpunkte F des Objektivs ein Loth auf die Axe Aa errichtet, wo dann der Durchschnittspunkt dieses Lothes Ff mit jenem Hauptstrahle eAf den gesuchten Ort f des Bildes von e, und überhaupt das Loth Ff das Bild des Gegenstandes Ee geben wird. Dieses Bild Ff wird aber, wie man aus §. 172 sieht, im Allgemeinen desto kleiner seyn, je kleiner die Brennweite AF der ersten Linse MN gegen ihre Entfernung AE von dem Gegenstande ist. — Von diesem Vereinigungspunkte f aller von e kommenden Strahlen fallen dann diese Strahlen wieder divergirend auf das Ocular bb' und treten, da sie aus dem Brennpunkte f (oder da das ganze Bild Ff sehr klein ist) sehr nahe aus dem Brennpunkte F des Oculars kommen, nach ihrer Brechung durch dieses Ocular bb', unter sich parallel aus dem Oculare heraus. Um aber auch hier die gemeinschaftliche Richtung aller dieser parallelen Strahlen zu erfahren, ziehe man den Strahl fa, der, als Hauptstrahl des Punktes f, ungebrochen durch die Mitte a des Oculars gehen muß, und der daher die gesuchte Richtung aller der von f kommenden, nach ihrer Brechung unter sich parallelen Strahlen anzeigt.

Zieht man daher durch den äußersten Rand b des Oculars die gerade Linie bO parall mit fa, so wird der Punkt O der Axe der Ort des Auges seyn, in welchem dasselbe alle von dem Gegenstande Ee kommende Strahlen übersehen kann, so wie zugleich der Winkel aOb = Faf derjenige Winkel seyn wird, unter welchem das Auge des Beobachters in O, durch das Fernrohr, den Gegenstand Ee, oder eigentlich das Bild Ff desselben, sehen wird.

Ein unbewaffnetes, freies Auge in O aber würde den Gegenstand nur unter dem viel kleineren Winkel EOe (oder was hier, wegen der gegen AO sehr großen Entfernung EA dasselbe ist), unter dem Winkel EAe = FAf sehen, und in diesem Unterschiede der beiden Sehwinkel Faf und FAf besteht der zweite und wesentlichste Vortheil dieser Instrumente, indem man durch sie alle Gegenstände unter viel größeren Winkeln, also diese Gegenstände selbst viel größer sieht, als mit freien Augen.

Es ist leicht, den Grad dieser Vergrößerung genau anzugeben. Da

nämlich die beiden bei F rechtwinkligen Dreiecke FAf und Faf die Seite Ff gemeinschaftlich haben, so verhalten sich in ihnen die Winkel bei a und A, wie die Seiten FA und fa, oder man hat, wenn man durch m die Vergrößerung des Fernrohrs anzeigt,

$$m = \frac{AF}{aF}$$

das heißt, das Fernrohr vergrößert die Gegenstände so vielmal, als die Brennweite aF des Oculars in der Brennweite AF des Objektivs enthalten ist. Um daher recht stark vergrößernde Fernröhre zu erhalten, wird man ein Objektiv von recht großer Brennweite wählen und es mit einem Oculare von einer sehr kleinen Brennweite verbinden. Ist z. B. die Brennweite des Objektivs 10 Fuß oder 120 Zolle, und die des Oculars nur $^1/_{10}$ Zoll, so wird die Vergrößerung eines solchen Fernrohrs 1200 seyn, oder man wird damit alle Gegenstände unter einem 1200mal größeren Winkel sehen, als mit freien Augen.

§. 174. (Allmählige Verbesserungen der Fernröhre.) Das so eben beschriebene Fernrohr ist das einfachste seiner Art. Es zeigt, wie man schon aus der Zeichnung sieht, die Gegenstände, die man dadurch betrachtet, in einer verkehrten Lage, so daß die oberen Theile desselben unten, und die rechts stehenden links erscheinen. Diesen Uebelstand hat man aber für astronomische Beobachtungen mit Recht als geringfügig betrachtet, da die Gegenstände des Himmels beinahe alle eine runde Gestalt haben.

Diese verkehrte Lage des Bildes läßt sich aber beseitigen, wenn man nicht, wie bisher vorausgesetzt wurde, beide Linsen biconvex, oder auf beiden Seiten erhaben, sondern wenn man die Ocularlinse auf einer oder auch auf beiden Seiten hohl schleift, wie sich leicht durch eine einfache Zeichnung nachweisen ließe. Auf diese Weise sind noch unsere Theaterteleskope eingerichtet, und diese sind es auch, die von den oben erwähnten holländischen Künstlern zuerst erfunden worden sind, daherman sie auch holländische Fernröhre zu nennen pflegt, während das in §. 173 beschriebene mit zwei biconvexen Linsen, nach seinem Erfinder, das Keplersche oder auch das astronomische Fernrohr heißt.

Ein größerer Nachtheil dieser astronomischen Fernröhre bestand darin, daß man damit nur einen sehr kleinen Theil des Himmels mit einem Blicke übersehen konnte, einen um so kleineren, je stärker die Vergrößerung des Instruments ist. Allein diesen Nachtheilen half man bald dadurch ab, daß man das Ocular verdoppelte, oder daß man dem in §. 173 beschriebenen Ocular bb' in einer geringen Entfernung von demselben noch eine convexe Linse hinzufügte, wodurch das Feld des Fernrohrs sehr vergrößert wird.

Nicht so leicht war es, einem anderen, für den Gebrauch dieser Instrumente sehr wichtigen Fehler derselben zu begegnen. Es ist nämlich nicht ganz richtig, daß die von einem Punkte des Gegenstandes auf das Objektiv fallenden Strahlen, durch die Brechung dieses Objektives, wieder genau in einem einzigen Punkt vereinigt werden, wenn anders diese Objektivlinse, wie wir oben vorausgesetzt haben, von zwei Kugelflächen begränzt wird. Zwar läßt sich durch Rechnung die Gestalt finden, welche die Oberflächen dieser Linsen haben sollten, um alle parallel auf sie fallende Strahlen wieder in einen einzigen Punkt zu vereinigen. Aber unsere Künstler haben keine Mittel, jene Flächen mit der hier nöthigen Genauigkeit zu erzeugen, und sie sind gezwungen, bei der Kugelfläche zu bleiben, die sie allein mit Schärfe darzustellen im Stande sind.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Da nun bei solchen kugelförmigen Linsen die von einem Punkte des Gegenstandes kommenden Strahlen, wenn sie nahe bei dem Mittelpunkte der Linse einfallen, einen andern Vereinigungspunkt haben, als wenn sie näher bei dem Rande die Linse treffen, so entstehen eigentlich für jeden Gegenstand mehrere nahe an und über einander liegende Bilder, von welchen das Auge keines deutlich sehen kann. Dieser Fehler, den man die sphärische Abweichung nennt, war desto größer, je stärker die Vergrößerung, und je größer das Objektiv des Fernrohrs war. Aus dieser Ursache findet man die Objektive vieler älterer Fernröhre mit einem ihren Rand bedeckenden Ringe versehen, um das Objektiv dadurch gleichsam kleiner, und jenen Fehler unschädlicher zu machen. Allein diesen Vortheil, wenn er so genannt werden kann, erlangte man nur auf Kosten eines anderen noch wichtigeren. Es ist nämlich für sich klar, daß man die Gegenstände durch ein Fernrohr desto heller sehen wird, je mehr Licht von dem Gegenstande auf das Objekt fällt, d. h. je größer das Objektiv ist. Eine Verkleinerung dieses Objektivs wird also das Bild desselben dunkel und lichtschwach machen, und dieser Fehler wird desto mehr fühlbar werden, je stärker die Vergrößerung des Fernrohrs ist.

Dazu kam noch ein anderes Hinderniß, das anfangs ganz unüberstieglich schien. Es ist nämlich bekannt, daß jeder einzelne an sich weiße Lichtstrahl aus vielen anderen besteht, die sich durch eigene Farben unter einander kenntlich machen (II. §. 8). Diese einzelnen farbigen Strahlen haben aber die für die Verfertigung der Fernröhre sehr nachtheilige Eigenschaft, daß jeder derselben durch die Linse des Objektivs auf eine andere Weise gebrochen wird, so daß nun, statt einem einzigen deutlichen und weißen Bilde des Gegenstandes, eine Anzahl verschiedener farbiger Bilder desselben entsteht, die dem Deutlichsehen noch hinderlicher sind, als die so eben erwähnten, von der Kugelgestalt der Gläser bereits verdorbenen Strahlen. Diesen Fehler der Fernröhre nennt man die Farbenabweichung, und er schien so wesentlich mit der Natur der Sache zusammenzuhängen, daß selbst Newton an aller Hülfe verzweifelte, und von den Fernröhren dieser Art ganz abgehend, seine Zuflucht zu andern nahm, wo diese Glaslinsen durch Metallspiegel ersetzt wurden. Seitdem hat man diese Spiegelteleskope oder Reflectoren, wie man sie auch nennt, zu einer sehr großen Vollkommenheit gebracht, während die so sehnlich gewünschte Verbesserung der Refractoren, oder der Fernröhre mit Glaslinsen, durch jene Ansicht des großen Mannes, zu der er durch einen sonderbaren Fehlschluß verleitet worden war, lange Zeit aufgehalten wurde.

Leonhard Euler war der erste, der aus der Einrichtung des menschlichen Auges den Schluß zog, es müsse möglich seyn, jene beiden Fehler der Fernröhre, durch eine zweckmäßigere Einrichtung dieser Instrumente, aufzuheben, weil sie die Natur in unserem Auge in der That aufgehoben hat. Er schlug zu diesem Zwecke, nach der Analogie der inneren Einrichtung des Auges, zwei Glaslinsen vor, welche zwischen ihren inneren concaven Flächen verschiedene Flüssigkeiten enthalten sollten. Er stellte darüber nicht sowohl praktische Versuche, die hier vorzüglich erfordert wurden, sondern bloß theoretische Untersuchungen an. Im Jahre 1747 theilte er seine Berechnung eines solchen farbenlosen oder achromatischen Fernrohrs mit, wo er zu der in ihm enthaltenen Flüssigkeit Wasser gewählt hatte. Der größte Künstler seiner Zeit, John Dollond, suchte auch diesen Versuch praktisch anzuführen, aber da ihm seine ersten Bemühungen mißlangen, so gab er die Sache bald auf, um so mehr,

da er Newton's Ansicht, daß fehlerfreie Refractoren ganz unmöglich wären, auch zu der seinigen gemacht hatte.

Erst im Jahr 1754 zeigte Klingenstierna, ein ausgezeichneter schwedischer Geometer, daß Newton sich in seinem Schlusse geirrt habe, und dadurch aufgemuntert, nahm Dollond seine früheren Versuche wieder vor. Allein statt der Flüssigkeiten, die Euler vorgeschlagen hatte, wählte er zwei verschiedene Glasarten, die in England unter dem Namen des Kron- und Flint-Glases bekannt sind. Mehr durch eine Art dunklen Gefühls, als durch mathematische Schlüsse, deren Hülfe er nicht zu Rathe ziehen konnte, fand er endlich, daß sich der Zweck, ein fehlerfreies Objektiv zu erhalten, dadurch erreichen lasse, daß man dasselbe aus zwei nahe an einander gestellten Linsen, einer biconvexen von Kronglas und einer concaven von Flintglas zusammensetzte. So gelang es ihm nach vielen darüber angestellten Versuchen i. J. 1758, das erste achromatische Fernrohr von fünf Fuß Länge zu Stande zu bringen. Es wurde mit allgemeinem Beifall aufgenommen, da es in seinen Wirkungen die besten bisher bekannten Fernröhre von viel größerer Länge mit übertraf. Er verwendete die letzten drei Jahre seines Lebens zur Vervollkommnung seiner Entdeckung, die er noch sehr weit zu führen die gewisse Hoffnung hatte, und überließ sie endlich seinem Sohne Peter Dollond, der ihr in Verbindung mit Ramsden die Vollendung gab, die wir am Ende des verflossenen Jahrhunderts an diesen Instrumenten zu bewundern Gelegenheit hatten.

Euler im Gegentheile, der anfangs an die glücklichen Erfolge des englischen Künstlers kaum glauben konnte, da er die Brechbarkeit und Farbenzerstreuung jener zwei Glasarten für viel zu wenig verschieden hielt, um darauf so große Wirkungen zu gründen, suchte, als er die mechanische Ausführung der achromatischen Fernröhre nicht weiter bezweifeln konnte, nun auch von seiner Seite die Theorie dieser Instrumente zu fördern. Er machte die Resultate seiner Untersuchungen in den Memoiren der Akademie zu Berlin und Petersburg, und endlich in einem eigenen, größeren Werke, in seiner Dioptrik (Petersb. 1769), öffentlich bekannt. Seitdem haben wir von Clairaut, d'Alembert, Klügel u. a. mehrere treffliche Bearbeitungen dieses Gegenstandes erhalten.

In den neueren Zeiten haben sich unter den optischen Künstlern vorzüglich Fraunhofer in München und Plößl in Wien ausgezeichnet. Die größte Schwierigkeit, die sich der Verfertigung vollkommener Objektive von bedeutendem Umfange entgegensetzt, besteht in der Bereitung großer Stücke reinen, wellenfreien Glases, besonders des Flintglases, welches, wegen der dabei nothwendigen Beimischung von Blei, nur selten in ganz gleichförmigen homogenen Massen erhalten werden kann. Auch sind die Verhältnisse, mit welchen jene zwei Glasarten die Lichtstrahlen brechen, in der That sehr wenig von einander verschieden, da sie nur zwischen den engen Gränzen von $1^5/_{10}$ und $1^6/_{10}$ enthalten sind. Noch enger sind die Gränzen für die Farbenzerstreuungen dieser beiden Glasarten. Es ist aber keinem Zweifel unterworfen, daß andere Glasgattungen, welche, in diesen beiden Beziehungen, größere Verschiedenheit hätten, auch viel bessere Mittel zur Fertigung vollkommener Fernröhre darbieten würden, da auf diesen Verschiedenheiten die Aufhebung der beiden oben erwähnten Fehler vorzüglich beruht. Da das Blei in größerer Quantität sich nicht gut mit den übrigen Bestandtheilen des Glases zu einer homogenen Masse vermischt, so hat man verschiedene andere Beimischungen von Zink, Wismuth, Baryt u. s. w. zu diesem Zwecke vorgeschlagen. Unter der Voraussetzung einer solchen, von den bisheri-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gen in jenen zwei Beziehungen mehr verschiedenen Glasart hat man bereits i. J. 1827 theoretische Untersuchungen über die aus solchen Glasgattungen bestehenden Fernröhre angestellt, und gefunden *), daß bei ihnen die beiden Linsen, aus welchen das Objektiv besteht, nicht mehr nahe im Kontakt, sondern daß sie in beträchtlicher Entfernung von einander gestellt werden müssen, um ihre größte Wirkung zu äußern, so zwar, daß die zweite Linse bei günstigen Verhältnissen der Glasarten, nahe in die Mitte des ganzen Fernrohrs zu stehen kömmt. Wegen dieser Trennung der beiden Objektivlinsen hat man diese Fernröhre dialytische genannt. Der bereits erwähnte treffliche Optiker Plößl in Wien hat auch bereits mehrere derselben ausgeführt, die nach dem einstimmigen Urtheile der Kenner die bisherigen achromatischen Fernröhre von gleichen Dimensionen weit übertreffen. Da ihm, so wie überhaupt allen optischen Künstlern, jene neuen Glasarten noch fehlen, so hat er den Versuch gemacht, die zweite, innere Linse, die aus der neuen Glasart verfertiget werden sollte, durch eine eigens construirte Doppellinse von Kron- und Flintglas zu ersetzen, und obschon der Versuch sehr glücklich ausfiel, so würde doch, wie man nicht zweifeln kann, eine einfache Linse, und vielleicht am besten eine solche einfache, biconcave Linse, deren Glas die zu diesem Zwecke erforderlichen Eigenschaften im hohen Grade besäße, noch glänzendere Resultate geben. Die Vortheile, welche diese dialytischen Fernröhre gewähren, bestehen vorzüglich darin, daß die zweite oder die innere Linse bis auf ihre Hälfte und selbst darüber verkleinert wird, wodurch die Bereitung homogener Stücke dieses Glases sehr erleichtert, und der bisherige hohe Preis dieser Instrumente sehr vermindert wird; daß ferner die Länge der Fernröhre durch die neue Einrichtung bedeutend, selbst bis auf die Hälfte derselben, vermindert werden kann, wodurch nun auch Objektive von acht, zehn oder mehr Zollen im Durchmesser an unseren eigentlichen astronomischen Meßinstrumenten angebracht werden können, was bisher, wegen der zu großen Länge solcher Fernröhre, nicht gut ausgeführt werden konnte, und daß endlich dadurch diese neuen optischen Instrumente an Schärfe und Lichtstärke sehr gewinnen, weil die Lichtstrahlen, nach ihrem Durchgange durch die zweite Objektivlinse, sich unter viel größeren Winkeln als bisher zu dem Bilde vereinigen, und dadurch dem Bilde selbst mehr Präcision und eine schärfere Begränzung geben.

Auch die frühere Idee Eulers, statt der Gläser besondere Flüssigkeiten zu wählen, hat man in den neueren Zeiten auszuführen gesucht. Blair und Brewster i. J. 1813 in London, Girard 1822 in Wien, Barlow 1828 und nahe um dieselbe Zeit auch Rogers in Edinburg haben solche Versuche angestellt, die, nach den darüber erhaltenen Nachrichten, sehr glücklich ausgefallen sind. Zu diesen aplanatischen Fernröhren, wie man sie nennt, hat Brewster das ätherische Oel von Cassia und Sassafras, später aber vorzugsweise Schwefelalkohol (sulfuret of carbon) vorgeschlagen, welchen letzteren auch Barlow anwendet. Girard soll Terpentinöl, und Marx in Göttingen Kreosot zu den aplanatischen Objectiven gebraucht haben. In Barlow's erstem Fernrohre dieser Art hat das vordere Objectiv von Kronglas 6 Zoll Durchmesser und 4 Fuß Brennweite — die Flüssigkeitslinse steht von jenem 24 Zoll ab — und hat einen Durchmesser von bloß 3 Zoll. Ein späteres von demselben Künstler verfertigtes hat eine Oeff-

*) Zeitschrift Physik und Mathematik von Baumgartner. Wien. Band IV. S. 257, und neue Folge. Band III. S. 57.

nung der ersten Linse von $7^4/_5$ Zoll, in einer Entfernung von 40 Zoll von der zweiten. Dieses Fernrohr, das in seiner ganzen Länge 8.7 Fuß hat, soll so viel leisten als ein gutes achromatisches von 18 Fuß Länge. Beide, die dialytischen sowohl als die aplanatischen Fernröhre, die im Grunde auf demselben Princip, auf der Trennung der beiden Objectivlinsen beruhen, sind noch als in ihrer ersten Entstehung zu betrachten, und man darf der Hoffnung Raum geben, daß durch sie eine neue Epoche in der Geschichte unserer Fernröhre begründet werden wird.

§. 175. (Anwendung der Fernröhre bei den Meßinstrumenten.) Nur wenige Jahre nach der Erfindung der Fernröhre wurden dieselben, wie zu erwarten war, schon auf den Himmel angewendet. Der berühmte Galilei hatte, wie man sagt, auf eine unbestimmte Nachricht von dieser Erfindung, die Zusammensetzung des Fernrohrs errathen, und mit dem ersten von ihm verfertigten schon i. J. 1610 die Thäler und Berge des Mondes, die Satelliten Jupiters, die sonderbare Gestalt des Saturn, dessen Ring er aber noch nicht erkennen konnte, die Sonnenflecken und ihre Bewegungen, und die Phasen der Venus entdeckt. Die meisten dieser eben so unerwarteten als für ihn ruhmvollen Endeckungen machte er in seinem Werke: Nuntius sidereus, Venedig 1610, bekannt, wofür er von der Republik Venedig eine dreifache Erhöhung seines Gehaltes, und von Cosmus II. in Florenz ein Geschenk von tausend Dukaten erhielt. Nahe dreißig Jahre noch (er starb erst 1642 im 78sten Jahre seines Alters) genoß er die Freude, die Gränzen der Wissenschaft und unserer Kenntniß des Himmels zu erweitern, und der Gegenstand der Achtung und Verehrung aller Gebildeten Europa's zu seyn, bis er endlich, drei Jahre vor seinem Tode, in die Hände unwissender und schaamloser Verfolger fiel, unter deren unwürdiger Bedrückung er, ein blinder Greis, den Rest seines Lebens im Kerker vertrauerte.

Allein dieser Gebrauch der neu erfundenen Fernröhre war nicht der einzige, und selbst nicht der wichtigste, den die Astronomie von diesen Werkzeugen machte. Bisher hatten sie uns nur neue, und so lange unbekannte Gegenstände des Himmels vor die Augen geführt, oder sie hatten uns die Oberfläche der bisher nur im Allgemeinen bekannten, wie die des Mondes, der Venus u. s. näher kennen gelehrt. Aber unsere *Messungen* der Größen und der Lagen der Himmelskörper blieben immer noch nahe denselben Unvollkommenheiten unterworfen, über welche schon die alten Griechen und Araber sich zu beklagen hatten. So lange wir uns mit den *Absehen* begnügen mußten, wie sie bei den älteren Instrumenten (Fig. 93, 94, 95) angebracht waren, oder auch mit einem bloßen hohlen Rohre, an dessen einem, dem Ocular-Ende, eine kleine Oeffnung, und an dem anderen ein Kreuzfaden war, so lange konnte man, auch bei dem bestgetheilten Instrumente, nicht genauer *beobachten* oder messen, als man eben mit freien, unbewaffneten Augen zu *sehen* im Stande war. Sobald aber dieses *hohle Rohr* mit zwei Glaslinsen versehen, und in ein eigentliches *Fernrohr* verwandelt war, so durfte man nur das zu messende Gestirn in den Mittelpunkt dieses an dem Quadranten angebrachten Fernrohrs führen, und die Beobachtung desselben mußte offenbar desto genauer seyn, je stärker die Vergrößerung und die Deutlichkeit war, mit welcher das neue Instrument die Gegenstände zeigte.

Auf diese Weise bedienten sich auch die ersten Astronomen des Fernrohrs bei ihren Beobachtungen, durch welche sie z. B. die Höhe oder die Declination, oder mit einem Worte, die *Lage* der Gestirne am Himmel anzugeben suchten. Allein man sieht, daß auch hier noch manches zu wünschen übrig blieb. Zwar sah man jetzt diese Gestirne viel besser, und

konnte sie daher auch viel genauer beobachten; aber da man sie in dem Mittelpunkte des Feldes des Fernrohrs beobachten mußte, und da doch dieser Mittelpunkt durch nichts ausgezeichnet war, sondern gleichsam nur errathen oder geschätzt werden mußte, so waren Mißgriffe und selbst bedeutende Beobachtungsfehler nicht wohl zu vermeiden, besonders wenn das kreisrunde Feld der Fernröhre, wie dieß bei den früheren Instrumenten in der That der Fall war, einen größeren Umfang hatte. Aus dieser Ursache wollte auch einer der vorzüglichsten praktischen Astronomen jener Zeit, Hevelius in Danzig, diese neuen Instrumente bei seinen Beobachtungen gar nicht anwenden, und er ging, durch den Widerspruch der anderen gereizt, sogar so weit, daß er die Fernröhre als ganz unbrauchbar bei den Beobachtungen erklärte, weil sie, wie er sagte, den Ort der Gegenstände, die man durch dasselbe betrachtet, verschieben, so daß man sie durch das Fernrohr an einer ganz andern Stelle, als mit freien Augen sehen soll.

Ein Mittel, die Gestirne durch das Fernrohr genauer zu pointiren, als die bisherige, unbestimmte und unverläßliche Stellung desselben in den Mittelpunkt des Feldes — dieses Mittel also mußte noch gefunden werden, wenn anders das neue Instrument die eigentlichen astronomischen Beobachtungen in der That wesentlich fördern sollte. — Es muß auffallend erscheinen, daß dieses Mittel, das doch uns jetzt so nahe zu liegen scheint, so lange verborgen bleiben konnte.

Noch vor wenig Jahren war man der allgemeinen Meinung, daß Picard in Frankreich, einer der ausgezeichnetsten theoretischen und praktischen Astronomen, dieses Mittel zuerst gefunden habe. Auch kam er wohl ohne fremden Beistand auf diese Idee, die er, wie es scheint, schon seit dem Jahre 1667 bei seinen Beobachtungen angewendet hat. Allein schon über zwanzig Jahre früher, i. J. 1640, machte Gascoigne in England dieselbe Entdeckung, und ihm muß daher auch die Ehre derselben vorbehalten bleiben.

Wenn man nämlich einen Gegenstand, z. B. einen Faden in die Nähe des Brennpunktes F (Fig. 100) der beiden Linsen eines Fernrohrs bringt, so sieht man denselben durch das Ocular bb' desto reiner, und selbst wenn er weiß, z. B. ein Silberfaden ist, desto schwärzer, je näher er jenem Brennpunkte gebracht wird. Stellt man dann das Fernrohr so, daß irgend ein terrestrisches Object, z. B. die wohlbegränzte Ecke einer Mauer, den Faden eben berührt; bewegt man dann das Auge vor dem Oculare so weit als möglich, rechts und links oder auf und ab, und bleibt der Faden in allen diesen Lagen des Auges immer genau Tangente zum Objecte, so ist dieß eben das beste Zeichen, daß der Faden selbst im Brennpunkte des Fernrohrs, d. h. in demjenigen Orte desselben steht, wo von der vordern, größern Linse des Fernrohrs das kleine Miniaturbildchen des Objectes entworfen wird, von dem wir oben gesprochen haben. Was aber hier von dem terrestrischen Objecte gesagt ist, gilt auch von den Gestirnen. Hat man daher durch diesen Brennpunkt in einer auf die Axe EAO der beiden Linsen senkrechten Ebene zwei Fäden gespannt, die sich unter rechten Winkeln durchkreuzen, so wird man, eben durch den Durchschnittspunkt der beiden Fäden, einen festen und unveränderlichen Punkt des Feldes haben, mit welchem man die Lage der zu beobachtenden Sterne bequem und sicher vergleichen kann, indem man nämlich bei jeder Beobachtung, durch eine angemessene Bewegung des Fernrohrs den Stern nur immer in diesen Durchschnittspunkt der beiden Fäden zu bringen sucht. Man wird sich dabei leicht eine einfache Vorrichtung, z. B. einen im Innern des Fernrohrs angebrachten Ring den-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

ken können, der diese Fäden trägt, während er selbst durch äußere kleine Schrauben nach allen Richtungen bewegt, und in jeder derselben festgehalten wird, wodurch daher die Fäden leicht in die erforderliche Lage gebracht werden können.

Diese einfache, aber folgenreiche Idee ist es, die der oben erwähnte Gascoigne zuerst gehabt und ausgeführt hat. (Phil. Transact. XXX. 603.) Aus den Briefen an seine Freunde Crabtree und Horrockes, die vom Jahre 1640 datirt sind, folgt, daß er schon damals ein mit solchen Fäden versehenes Fernrohr zu seinen Beobachtungen gebraucht, und daß er auch schon, um diese Fäden bei Nacht zu sehen, das Innere des Fernrohres beleuchtet habe. Horrockes, der schon vor seinem 25sten Jahre (i. J. 1641) starb, hatte selbst ein ausgezeichnetes astronomisches Talent, und bekannte bei mehreren Gelegenheiten seine Bewunderung der mannigfaltigen schönen Erfindungen, die Gascoigne in der Kunst zu beobachten gemacht hatte. Auch der Letzte wurde den Wissenschaften durch den Tod noch in der ersten Blüthe seines Alters entrissen. Er starb in seinem 23sten Jahre in der Schlacht von Marston Moor, die Cromwell den königlichen Truppen geliefert hat. Man hat diese Erfindung dem französischen Astronomen Morin vindiciren wollen, der in seiner Scientia longitudinum, Paris 1634 von der Anwendung des Fernrohrs auf die Quadranten spricht, aber ohne im geringsten der Fäden im Brennpunkte des Rohrs zu erwähnen. Selbst die Sonnenbeobachtungen Picards vom Jahre 1667, die ersten, die in Frankreich an einem mit einem Fernrohre versehenen Quadranten gemacht worden sind, erwähnen dieser Fäden nicht ausdrücklich, wenigstens nicht in der Relation, die Lalande in seiner Astronomie (§. 2310) davon gegeben hat, wie denn auch Huygens in seinem Systema Saturnium, das erst 1659 heraus kam, von diesen Fäden, als von einer neuen Sache und von seiner eigenen Erfindung spricht, was er nicht hätte thun können, wenn er dieselben schon früher bei Picard, den er wohl kannte, und mit dem er früher in Paris längere Zeit durch gelebt hatte, gefunden hätte. Doch ist es möglich, und selbst nicht unwahrscheinlich, daß Huygens und Picard auf diese einem fleißigen und talentvollen Beobachter so nahe liegende Idee, jeder für sich und ohne fremde Hülfe, gekommen sind, um so mehr, da die frühere Entdeckung Gascoignes selbst in England so lange Zeit unbekannt geblieben ist.

Immer sieht man, daß, ohne dieses oder ein ähnliches gleich gutes Mittel, das Fernrohr auf den zu beobachtenden Gegenstand nicht mit Genauigkeit gerichtet oder pointirt werden kann, und daß, ohne dasselbe, jede Beobachtung nur eine beiläufige Schätzung nach dem Augenmaaße genannt werden darf. In der That ist es auch diese Einrichtung, in welcher die großen Vorzüge gesucht werden müssen, welche die neueren Beobachtungen vor denen der Alten so sehr auszeichnen, und ohne welche alle jene an sich so bewunderungswürdigen Verfeinerungen, mit welcher unsere gegenwärtigen astronomischen Instrumente in Beziehung auf ihre Construction und auf ihre Eintheilung ausgestattet sind, vergebens und ohne allen Erfolg geblieben wären. Denn diejenigen Fehler, welche aus jenen Schätzungen in dem bloßen Felde des Fernrohrs entstanden, waren viel größer als die, welche, auch zu jener Zeit, aus der fehlerhaften Eintheilung oder der unzweckmäßigen Einrichtung in dem Baue der Instrumente entspringen konnten. Mit Recht wird man daher behaupten, daß die neueren Beobachtungen ihre sie in so hohem Grade auszeichnende Genauigkeit vorzüglich dieser Entdeckung verdanken, und daß sie daher in der Geschichte der beobachtenden Astronomie eine neue und zwar eine sehr glänzende Epoche begründet.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Nach diesen vorausgeschickten Bemerkungen über das Fernrohr wird es nun leicht seyn, die Einrichtung und den Gebrauch der damit versehenen Instrumente zu übersehen.

§. 176. (Mittagsrohr.) Wir haben bereits oben erinnert, daß der Quadrant, selbst der Mauerquadrant, seiner Construction nach, nicht geeignet ist, die Zeit oder die Rectascension der Gestirne unmittelbar und mit der nöthigen Schärfe zu geben, vorzüglich aus dem Grunde, weil diese Instrumente nur selten oder gar nicht eine vollkommene Ebene, ohne Wellen und Biegungen, bilden, daher sie auch nie als genau in der Ebene des Meridians stehend angenommen werden können, wie dieß doch erfordert wird, wenn man an ihnen den Durchgang der Gestirne durch den Meridian beobachten soll.

Der berühmte dänische Astronom Olaus Römer ist der Erfinder desjenigen Instruments, welches zu jenem Zwecke noch heute mit Recht als das geeignetste angesehen wird. Er stellte dasselbe auf der von ihm in Kopenhagen erbauten Sternwarte auf, und die zahlreichen Beobachtungen, welche er an demselben anstellte, zeugten von der Zweckmäßigkeit des neuen Instruments. Dasselbe ist in Fig. 101 abgebildet, und allgemein unter dem Namen des Mittagsrohrs (Passageninstrument) bekannt.

Eine horizontale Axe AB von Metall liegt mit ihren beiden äußersten cylindrischen Enden A, B, um die sich diese Axe drehen läßt, in soliden Pfeilern P, Q von Stein, und durch die Mitte M dieser Drehungsaxe geht das Fernrohr CD in einer auf die Axe senkrechten Stellung. Wird daher die Rotationsaxe AB genau in den Horizont und in die Richtung von Ost nach West gebracht, so liegt das Fernrohr in der Richtung von Süd nach Nord, und geht, wenn es um die Axe AB gedreht wird, in der Ebene des Meridians auf und nieder, so daß man also nur die Durchgänge der hohen und niedern Sterne durch dieses Fernrohr an einer Uhr beobachten darf, um sofort auch die Uhrzeiten des Durchgangs dieser Sterne durch den Meridian, d. h. um die Uhrzeiten ihrer Culminationen zu erhalten.

Man sieht schon aus dem ersten Anblicke des Instruments, daß es, wenn es anders mit einiger Vorsicht gebaut und aufgestellt ist, eine viel größere Stetigkeit und Sicherheit gewährt, als man von einem Quadranten je erwarten kann.

Um das Fernrohr auf die schon sonst bekannte mittägige Höhe des Sterns, der eben durch den Meridian gehen soll, zu stellen, ist an dem einen Ende A der Drehungsaxe ein Halbkreis mon angebracht, der in einer auf diese Axe senkrechten Lage an dem Pfeiler P befestiget ist. Concentrisch mit ihm ist ein Zeiger oder eine Alhidade Ao, dem Fernrohre CD parallel, an dem Ende A der Axe angebracht. Diese an ihrem Ende o mit einem feinen Striche versehene Alhidade Ao bewegt sich also sammt dem Fernrohre um die Axe AB, und zeigt durch ihren Strich an dem Kreise mn die Höhe des zu beobachtenden Gestirns bloß in ganzen Minuten an, da dieß hinreicht, das Gestirn in das Feld des Fernrohrs zu bringen.

Die beiden Enden A und B der Axe liegen jede auf einer doppelten, starken Metallplatte auf, die in der Zeichnung durch Vierecke angezeigt sind. Der eine Theil jeder Platte ist an dem Pfeiler fest, und der andere, der eigentlich die Axen-Enden A und B trägt, läßt sich durch Schrauben an dem ersten hin und wieder bewegen, und zwar der eine bei A senkrecht auf und ab, und der andere bei B, horizontal vor- und rückwärts. Die letzte setzt uns demnach in den Stand, die Drehungsaxe genau in die Richtung von Ost nach West, d. h. das auf die Axe senkrechte Fern-

rohr genau in die Ebene des Meridians zu bringen, und die erste dient dazu, das eine Ende A der Axe so lange zu erhöhen oder zu erniedrigen, bis diese Axe AB selbst genau horizontal ist, was man mit Hülfe einer Wasserwage erkennt, die man, mit ihren Haken, an die beiden cylindrischen Enden A und B der Axe aufstellt oder anhängt.

Um für nächtliche Beobachtungen das Innere des Fernrohrs zu beleuchten, dient eine an der äußern Seite des Pfeilers angebrachte Lampe p, die ihr Licht durch den in der Richtung pB durchbohrten Pfeiler und durch die ebenfalls hohle Drehungsaxe BM auf einen kleinen Spiegel wirft, der im Innern des Fernrohr bei M unter einer gegen BM schiefen Stellung aufgestellt ist, so daß er das von der Lampe empfangene Licht gegen das Ocular C des Fernrohrs reflectirt.

§. 177. (Rectification der Fäden des Mittagsrohrs.) Ehe man mit diesem Instrumente Beobachtungen anstellt, muß es in allen seinen Theilen berichtiget oder rectificirt seyn. Wir wollen die wichtigsten dieser Operationen hier kurz anzeigen, da sich die meisten derselben auch auf die noch ferner anzuführenden Instrumente unverändert anwenden lassen.

Zuerst wollen wir bemerken, daß man durch den Brennpunkt des Fernrohrs einen auf die Axe der beiden Linsen (§. 172) senkrechten Faden in einer verticalen Richtung einspannt. Dieser Faden wird daher, wenn das ganze Instrument richtig steht, den Theil des Meridians vorstellen, nach welchem das Fernrohr gerichtet ist, und der Augenblick, in welchem ein Stern durch diesen Faden gehend gesehen wird, wird der gesuchte Augenblick der Culmination dieses Sterns seyn.

Um aber dem Faden die bezeichnete Stellung zu geben, in welcher er erstens senkrecht auf der Axe der beiden Linsen, zweitens genau durch den Brennpunkt, und drittens auf den Horizont vertical steht, wird man sich aus dem Vorhergehenden erinnern, daß dieser Faden im Innern des Fernrohrs an einem feinen metallenen Ringe angebracht ist, welcher Ring selbst wieder durch eigene Schrauben nach allen Richtungen bewegt werden kann. Da dieser Ring gewöhnlich schon von dem Künstler senkrecht auf die Linsenaxe gestellt wird, und da auch ein kleiner Fehler in dieser Stellung keine nachtheiligen Folgen hat, indem man doch immer nur in der Nähe der Mitte dieses Fadens beobachtet, so kann man in den meisten Fällen von den oben aufgezählten Forderungen die erste als schon erreicht betrachten.

Nicht so ist es mit der zweiten oder mit der Bedingung, daß der Faden auch genau durch den Brennpunkt des Rohrs geht. Diese Untersuchung theilt sich in zwei von einander wesentlich verschiedene. Es kann nämlich erstens der zur Linsenaxe senkrecht stehende Faden zwar durch diese Axe gehen, aber zu weit vor oder hinter dem Brennpunkte, d. h. zu nahe oder zu fern von dem Objective des Fernrohrs stehen. Oder er kann zweitens, obschon er in derselben Entfernung, wie der Brennpunkt selbst, von dem Objective ist, doch noch zur Seite dieses Brennpunktes, rechts oder links von ihm stehen. In beiden Fällen wird er nicht, wie doch gefordert wird, durch den Brennpunkt gehen.

Ehe aber der Beobachter an diese beiden Correctionen geht, wird er die Entfernung der beiden Linsen, seinem Auge gemäß, stellen. Aus den gemeinsten Erfahrungen an jedem Theaterperspective ist bekannt, daß der Kurzsichtige, wenn er durch ein solches Instrument gut sehen soll, dasselbe verkürzen, oder die beiden Linsen einander näher rücken muß, während der Weitsichtige sie von einander entfernt. Auch muß jeder von ihnen, wenn er gut sehen will, diese Distanz der Linsen etwas ändern, wenn er sehr nahe, oder wenn er sehr entfernte Gegenstände beobachtet. Dasselbe

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gilt auch für die astronomischen Fernröhre. Da aber diese vorzugsweise für die himmlischen, d. h. für sehr weit entfernte Gegenstände bestimmt sind, so wird der Beobachter, ohne alle Rücksicht auf jenen Faden, sein Fernrohr zuerst auf ein Gestirn, z. B. auf den Mond richten, und sein Ocular so lange verstellen, bis er die Flecken desselben am deutlichsten sieht. Am besten zu diesem Zwecke wird man die Doppelsterne wählen, von welchen, in dieser Beziehung, schon oben (II. §. 221) gesprochen wurde. Wenn man nun, durch diese Verschiebung des Oculars, es dahin gebracht hat, daß man einen solchen Doppelstern ganz rein und deutlich sieht, so wird man vielleicht den Faden nur sehr schlecht, in der Form eines grauen, breiten Streifens erblicken, zum Zeichen, daß er entweder zu nahe an, oder zu ferne von dem Objective steht. Denn in der wahren Entfernung von dem Objective, d. h. wenn er durch den Brennpunkt desselben geht, erscheint er, wie schon oben gesagt, immer ganz rein, schwarz und scharf begränzt. In diesem Falle wird man also, mittels der dazu bestimmten Schraube, den den Faden tragenden Ring in der Richtung der Länge des Fernrohrs so lange verschieben oder seine Distanz von dem Objecte ändern, bis er dem Auge völlig rein und schwarz erscheint. Allein diese bloße Ansicht des Fadens ist wohl hinreichend, ihn dem Brennpunkte sehr nahe zu bringen, aber sie genügt nicht, um ihn mit der größten Schärfe genau durch diesen Brennpunkt selbst zu führen. Zu diesem letzten Zwecke wird man, nach jener ersten rohen Berichtigung des Fadens, das Fernrohr auf irgend ein weit entferntes, festes und wohl begränztes terrestrisches Object, z. B. auf die Ecke einer Thurmspitze richten, und den Faden mit dieser Ecke in genaue Berührung bringen. Dann bewegt man das Auge vor dem Ocular rechts und links so weit, als man nur eben noch durch das Fernrohr den Faden sehen kann, und sieht genau zu, ob in den beiden äußersten Lagen des Auges jene Berührung immer genau und unverändert statt hat. Tritt dieser Umstand zufällig ein, so wird man sich versichert halten, daß der Faden zwar nicht durch den Brennpunkt gehe, aber doch in einer durch diesen Brennpunkt auf die Linsenaxe senkrechten Ebene liegen muß. Wenn aber, während das Auge sich vor dem Ocular bewegt, der Faden auf dem terrestrischen Objecte nicht fest bleibt, sondern ebenfalls sich zu bewegen scheint, so ist dieß ein Zeichen, daß er noch nicht in der erwähnten Ebene, sondern daß er hinter oder vor dieser Ebene liegt. Welcher von diesen beiden Fällen aber in der That statt hat, wird man durch folgende einfache Vorschrift finden: „Wenn, bei jener Bewegung des Auges, Aug und Faden nach derselben Seite, z. B. beide rechts gehen, so steht der Faden zu nahe am Objectiv, und muß daher von ihm entfernt werden: geht aber Aug und Faden auf entgegengesetzte Seiten, z. B. jenes rechts und dieses links, so steht der Faden zu weit von dem Objective, und muß daher demselben genähert werden.“ — Eigentlich scheint es dem Beobachter, als ob nicht der Faden, sondern als ob der Gegenstand, z. B. die Thurmspitze um den festen Faden beweglich wäre, wenn er sein Auge in verschiedene Stellungen vor das Ocular bringt. Diesem Scheine gemäß kann man daher die vorhergehende Regel auch so stellen: „Wenn Aug und Bild des terrestrischen Gegenstandes auf verschiedene Seiten gehen, so ist der Faden zu nahe an dem Objective; wenn Aug und Bild auf dieselbe Seite gehen, so ist der Faden zu weit von dem Objective, und muß daher demselben so lange genähert werden, bis das Auge, während seiner eigenen Bewegung, keine Aenderung des Bildes mehr bemerkt.“ Dieses Verfahren ist übrigens für Weit- und Kurzsichtige dasselbe, denn wenn auf diese Art der Faden in seine wahre Lage gebracht worden ist,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

so wird der Weitsichtige sowohl, als der Myops, nur das Ocular, seinem eigenen Auge gemäß, verändern, um sofort beide Gegenstände, den Faden sowohl, als das Gestirn zugleich am deutlichsten zu sehen.

Allein durch diese erste Berichtigung ist, wie gesagt, der Faden nur in die Ebene gebracht worden, die senkrecht auf die Linsenaxe durch den Brennpunkt geht, ohne daß er deßhalb auch selbst schon durch den Brennpunkt gehen muß, von dem er vielmehr, in jener Ebene, noch rechts oder links abstehen kann.

Wenn das äußere Rohr von Metall, welches die beiden Linsen umgibt, ein vollkommener Cylinder wäre, dessen Basis jene Linsen bilden, so dürfte man nur diesen Cylinder auf zwei Unterlagen so auflegen, daß die Mitte jenes Fadens irgend einen wohlbegränzten terrestrischen Gegenstand scharf schneidet, und dann den Cylinder um seine Axe drehen, und zusehen, ob dadurch dieser Durchschnitt des Gegenstandes durch den Faden sich nicht ändert.

Allein jene Röhre ist nicht vollkommen cylindrisch, und sie läßt sich auch, wie schon der erste Anblick des Instruments zeigt, nicht um ihre Axe drehen. Dafür läßt sich aber das ganze Instrument ABCD aus seinen Lagern bei A und B herausheben, und dann in verkehrter Lage wieder in diese Lage zurück bringen, so daß z. B. der Endpunkt A der Drehungsaxe, der früher östlich lag, jetzt auf das westliche Lager B zu liegen kömmt, und durch dieses Umlegen wird offenbar derselbe Zweck erreicht, als wenn man die cylindrische Röhre CD um ihre Axe, um die Hälfte der Peripherie eines Kreises gedreht hätte. Wenn daher die Mitte des Fadens vor und nach der Umlegung immer denselben Punkt des terrestrischen Gegenstandes trifft, so wird dieß ein Zeichen seyn, daß diese Mitte des Fadens mit dem Brennpunkte des Fernrohrs zusammenfällt. Ist dieß aber nicht der Fall, so wird man, nach der Umlegung, die Hälfte des bemerkten Fehlers durch diejenige Schraube verbessern, welche den oben erwähnten Fadenring in horizontaler Richtung hin und her bewegt, und die andere Hälfte, wenn man will, durch diejenige Schraube des Lagers B, welche das Ende der Drehungsaxe horizontal zu verschieben bestimmt ist. Da es nicht immer sicher ist, den beobachteten Fehler, besonders, wenn er noch etwas bedeutend ist, genau zu halbiren, so wird man das angezeigte Verfahren öfter wiederholen, wodurch jener Fehler offenbar immer kleiner, und endlich ganz unmerklich werden muß.

§. 178. (Rectification des Mittagsrohrs: Horizontalität der Drehungsaxe.) Das bisher Gesagte trifft nur, wie man sieht, die gehörige Stellung des Fadens in dem Fernrohre, und indem man denselben, durch die erwähnten Operationen, in dem Brennpunkt der beiden Linsen gelegt hat, hat man es zugleich dahin gebracht, daß das eigentliche Fernrohr, d. h. die Axe der beiden Linsen, die man auch die Collimationslinie zu nennen pflegt, auf der Rotationsaxe AB *senkrecht* steht, worin eine der Hauptbedingungen besteht, welche das Mittagsrohr erfüllen muß, wenn die damit angestellten Beobachtungen brauchbar seyn sollen, da nur dann diese Collimationslinie, wenn die Drehungsaxe horizontal ist, einen Verticalkreis beschreiben, sonst aber nur in einer gegen den Horizont schief gelegten Ebene sich bewegen wird.

Allein durch welche Mittel kann man diese Rotationsaxe in eine dem Horizonte parallele Lage bringen? — Das einfachste Mittel zu diesem Zwecke ist die *Libelle*, oder wie sie auch genannt wird, die *Wasserwage*. In der Höhlung der metallenen Röhre CDC'D' (Fig. 102) liegt eine gläserne mit Weingeist nicht völlig gefüllte, an ihrer obersten Seite kreisförmig gebogene Röhre. Man sieht in der Zeichnung diese

Glasröhre AB durch die oben aufgeschnittene Metallröhre. In der Mitte zwischen A und B ist der höchste Punkt des erwähnten kreisförmigen Bogens AB der Glasröhre, und dort wird also auch, wenn die Libelle genau horizontal gestellt wird, die Luftblase m stehen, die den mit Weingeist nicht erfüllten Theil der Glasröhre einnimmt, und die, da sie viel leichter als diese Flüssigkeit ist, ihrer Natur nach immer den höchsten Theil der Röhre oder des Kreisbogens AB einnehmen muß. Denkt man sich nun die Metallröhre entweder unten bei C' und D' mit zwei Fußgestellen, um sie dadurch z. B. auf einen Tisch zu stellen, oder oben bei C und D mit zwei Haken versehen, um sie dadurch an irgend eine Axe (z. B. an die Drehungsaxe AB Fig. 101 des Mittagsrohrs) zu hängen, so wird man mit Hülfe dieser Libelle in jenem Fall den Tisch und in diesem die Axe auf folgende Weise horizontal stellen, wenn man noch bemerkt, daß eines jener Fußgestelle oder einer jener Haken so eingerichtet ist, daß er sich mittels einer daran angebrachten Schraube etwas verlängern oder verkürzen läßt, und daß bei den sorgfältiger gearbeiteten Libellen der oberste Rand der Glasröhre in eine Anzahl gleicher mit Zahlen versehenen Theile getheilt ist, um dadurch den Ort der Blase genauer zu bestimmen.

Wenn die untersten Theile des Fußgestells oder auch, wenn die höchsten Theile, die eigentlichen Aufhängungspunkte der beiden Haken, von dem obersten Rande der Glasröhre schon genau gleich weit entfernt wären (in welchem Zustande man die Libelle bereits rectificirt nennt), so dürfte man sie nur auf den Tisch stellen oder an jene Axe hängen, und Tisch oder Axe auf der einen Seite desselben so lange erhöhen oder erniedrigen, bis die Luftblase m der Libelle genau in der Mitte der Glasröhre steht. Allein dieß ist selten der Fall, und gewöhnlich sind beide, Libelle und Tisch, oder Libelle und Axe, zugleich fehlerhaft. In diesem Falle wird man dann so verfahren:

Man hänge die Libelle CD (Fig. 102) an die Rotationsaxe AB (Fig. 101) so auf, daß C auf der Seite von A und D auf der Seite von B ist, und lese in diesem Stande der Libelle den Ort der Mitte der Luftblase. Gesetzt, diese Mitte stehe bei dem Theilstriche a der Glasröhre. — Dann hebe man die Libelle von der Axe ab, und hänge sie in verkehrter Richtung wieder an dieselbe, so daß jetzt der Theil C der Libelle nach B, und der Theil D nach A kömmt, und lese hier wieder den Ort der Mitte der Blase, der z. B. bei dem Theilstriche b stehen soll. Wenn a von b verschieden sind, so ist dieß ein Zeichen, daß die Rotationsaxe AB nicht horizontal steht, und daher verbessert werden muß. Die Größe dieser Verbesserung aber wird unmittelbar durch diese beiden Zahlen a und b angegeben. Man wird nämlich in dieser zweiten Lage der Libelle, die man nach dem erwähnten Umkehren derselben ruhig hängen läßt, den Endpunkt A oder B der Rotationsaxe so weit erhöhen oder erniedrigen, bis der Mittelpunkt der Luftblase genau in der Mitte zwischen jenen zwei Zahlen a und b steht. Hatte man z. B. in der ersten Stellung der Libelle die Zahl 8, und in der zweiten die Zahl 12 gelesen, so wird man bei dieser zweiten Stellung der Libelle den einen Endpunkt der Rotationsaxe so lange erhöhen, bis der Mittelpunkt der Luftblase bei dem Theilstriche 10 steht, und dann wird die Rotationsaxe horizontal seyn, weil dann die Libelle, in beiden Lagen derselben, immer dieselbe Zahl 10 zeigen wird. Dasselbe, was hier von der Rectifikation der Drehungsaxe gesagt ist, läßt sich auch auf die Horizontalstellung des Tisches anwenden, wenn man in ihm zwei auf einander senkrechte Linien zieht,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

und jede dieser Linien, nach dem hier angezeigten Verfahren, horizontal stellt.

Dieses Verfahren ist zugleich das einfachste und sicherste, weil dabei die oben erwähnten Schrauben, welche den Fuß oder den Haken der Libelle verlängern oder verkürzen sollen, gar nicht weiter berührt werden. Diese Bewegung jener Schrauben soll nämlich, wo möglich, ganz vermieden werden, weil dadurch das Gleichgewicht der einzelnen Theile gestört, und eine Spannung in der metallenen Fassung erzeugt wird, die sich, bei den neuen und sehr empfindlichen Libellen, oft nur spät erst herstellt, und dem Beobachter durch langes Warten zu viele Zeit raubt.

Man sieht, daß man auf diese Weise eine Ebene oder eine Axe, selbst mittels einer nicht rectificirten Libelle, horizontal stellen kann. Wenn aber der Fehler der Libelle, den man bei dem vorhergehenden Verfahren nicht weiter zu kennen braucht, zu groß ist, so wird die gefundene Zahl, die das Mittel aus den beiden gelesenen Zahlen ist, auch zu weit von der Mitte m der Eintheilung entfernt seyn, wie dieß in unserem Beispiele bereits der Fall ist, wo das gefundene Mittel oder die Zahl 10 um volle 15 Theilstriche von der Mitte der Eintheilung, die bei der Zahl 25 ist, entfernt steht. Solche Fälle muß man aber vermeiden, weil die Krümmungen auch unserer besten Libellen, am Rande derselben, nur selten vollkommen kreisförmig sind, und weil am Ende jener Punkt so weit von der Mitte der Theilung wegrücken könnte, daß er unter die metallene Fassung AC der Röhre liegt, wo er gar nicht gesehen werden kann.

Sobald man also bemerkt, daß der Fehler der Libellen zu groß ist, so wird man ihn also folgende Weise verbessern können. — Man hänge sie mit ihren Haken an die Rotationsaxe. Ist dann die Luftblase nicht in der Mitte der Theilung, so ist entweder die Axe nicht horizontal, oder die Oberfläche der Libelle ist jener Axe nicht parallel, d. h. die Libelle ist nicht rectifizirt, oder endlich, was gewöhnlich der Fall seyn wird, beide, Axe und Libelle, sind fehlerhaft. Da man die Fehler eines jeden der beiden Instrumente nicht kennt, so ist es das natürlichste, anzunehmen, daß diese Fehler einander gleich seyn mögen. Man lasse daher den Mittelpunkt der Luftblase gegen den Mittelpunkt der Theilung halben Weges durch die Schraube A (Fig. 101) der Rotationsaxe und die andere Hälfte des Weges durch die obenerwähnte Correctionsschraube des Libellenhakens zurücklegen. Hat man durch beide Schrauben die Blase in die Mitte der Theilung gebracht, so kehre man die Libelle um, so daß ihr östlicher Arm jetzt auf die Westseite der Rotationsaxe komme. Ist in dieser neuen Lage die Blase nicht in der Mitte, so verbessere man wieder, wie zuvor, die eine Hälfte des Fehlers durch die eine, und die andere Hälfte durch die andere Schraube, und bringe sonach die Blase wieder in die Mitte der Theilung. Dann kehre man die Libelle wieder um, und wiederhole dieses Verfahren der halbgetheilten Correction so lange, bis die Luftblase der Libelle, in ihren beiden entgegengesetzten Lagen, immer in der Mitte der Theilung genau einspielt.

Durch dieses Verfahren wird, wie man sieht, die Drehungsaxe und die Libelle zugleich rectificirt. Es wird übrigens nie nothwendig seyn, dasselbe so weit fortzusetzen, bis der Mittelpunkt der Blase in beiden Lagen der Libelle genau auf den Mittelpunkt der Theilung fällt, da es, nach dem Vorhergehenden schon hinreicht, wenn beide Mittelpunkte nur einander nahe genug gebracht werden. Wenn z. B. die Blase in der ersten Lage der Libelle 20, und in der zweiten Lage 26 zeigt, so wird man, nach dem zuvor gezeigten Verfahren, bloß durch die Schraube

der Rotationsaxe die Blase auf die Mitte jener zwei Zahlen oder auf die Zahl 23 bringen, und dadurch versichert seyn, daß die so gestellte Rotationsaxe auch genau horizontal ist, obschon die Libelle selbst noch nicht rectificirt ist, da sie, nach unserer Zeichnung (Fig. 102) nicht 23, sondern 25 zeigen sollte. Will man daher auch diese Libelle noch rectificiren, so wird man nur, mittels ihrer Correctionsschraube, den einen Haken derselben so viel verlängern oder verkürzen, daß der Mittelpunkt der Blase um zwei Theilstriche, von 23 auf 25, fortgehe. Bemerken wir noch, daß es öfter nothwendig ist, den Werth eines jener gleichen Theilstriche in Secunden zu kennen. Zu diesem Zwecke wird man die Libelle an irgend ein Höhen messendes Instrument z. B. an einen Quadranten befestigen, und nun Instrument und Libelle so bewegen, daß z. B. der Mittelpunkt der Blase 30 Theilstriche der Libelle durchlauft, während das Instrument seine Höhe um 20 Secunden geändert hat, woraus folgt, daß ein Theilstrich der Libelle $^2/_3$ Secunden beträgt. Muß man also die Axe A des Mittagsrohrs, bei der Rectification derselben, z. B. um 12 Theilstriche der Libelle erheben, so weiß man, daß diese Erhebung 8 Secunden beträgt.

§. 179. (Rectification des Mittagsrohrs: Stellung im Meridian.) Wenn sonach die Drehungsaxe des Mittagsrohrs genau horizontal gestellt worden ist, so wird das Fernrohr [oder vielmehr die Collimationslinie desselben, die nach dem Vorhergehenden (§. 177) bereits senkrecht auf jener Rotationsaxe steht], wenn dasselbe um jene Axe gedreht wird, einen Verticalkreis beschreiben, oder es wird in einer auf den Horizont senkrechten Ebene auf und nieder gehen — aber noch nicht in der Ebene des Meridians, wie es doch von diesem Instrumente gefordert wird. Es wird zwar leicht seyn, dieses Fernrohr so zu stellen, daß es dem Meridian schon nahe stehe, wozu man sich z. B. der Culmination der Sonne oder irgend eines andern Gestirns, dessen Rectascension man kennt, bedienen kann, wenn man zuerst den Gang seiner Uhr durch korrespondirende Höhen oder auf irgend eine andere Art (§. 167) bestimmt hat. Allein es handelt sich hier um eine ganz genaue Stellung des Mittagsrohrs, weil dasselbe seines soliden und einfachen Baues und seiner ganzen Bestimmung wegen die Zeit sowohl, als auch die zu beobachtenden Rectascensionen besser und vollkommener geben soll, als es durch irgend eines der andern, zu diesem Zwecke minder geeigneten Instrumente möglich ist.

Bemerken wir zuerst, daß man jetzt, wo die Collimationslinie des Fernrohrs bereits einen Vertikalkreis beschreibt, zugleich ein leichtes Mittel erhalten hat, den oben in dem Brennpunkte der beiden Linsen senkrecht auf die Axe derselben gespannten Faden, auch vollkommen vertical oder zu dem Horizonte senkrecht zu stellen: man darf nämlich jetzt nur diesen Faden, indem man das Fernrohr sanft auf- und abwärts bewegt, an irgend einem wohl begränzten terrestrischen Objecte auf- und niederlaufen lassen. Wenn bei dieser Bewegung des Fernrohrs der Faden nicht immer genau durch denselben Punkt des Objects geht, so wird man den oben erwähnten Fadenring mit einer eigens dazu bestimmten Schraube so lange, in seiner eigenen Ebene, um seinen Mittelpunkt drehen, bis er jener Forderung genügt, wo er dann vertical stehen wird. Gewöhnlich spannt man zu beiden Seiten dieses mittleren Fadens noch einen oder auch zwei mit jenem parallele und unter sich gleichweit entfernte Fäden auf, um die Beobachtungen der Durchgänge der Sterne zu vervielfältigen. Man kann ihren Parallelismus prüfen, wenn man nahe an dem Aequator liegende Sterne durch die oberen und durch die

unteren Endpunkte dieser Fäden durchgehen läßt, und zusieht, ob die Zeitintervalle für jedes Fädenpaar aus jenen beiden Beobachtungen genau dieselben sind. Dieß gibt zugleich ein einfaches Mittel, die Entfernung dieser Seitenfäden von dem mittleren oder von dem Hauptfaden zu bestimmen. Beträgt z. B. die Zeit, die ein Stern von bekannter Declination braucht, von einem dieser Nebenfäden zu den mittleren zu gelangen, 100 Sekunden Sternzeit, so wird man nur diese 100 Sekunden durch den Cosinus der Declination des Sterns multipliziren, um das gesuchte Intervall der beiden Fäden in Sternzeit zu erhalten. Ist z. B. diese Declination gleich 80 Graden, so hat man, da der Cosinus von 80 Graden gleich 0.1736 ist, 17.36 Sternzeitsekunden für das gesuchte Intervall der beiden Fäden, das daher im Raume oder in Bogensekunden ausgedrückt, 15mal größer oder gleich 260.4 Bogensekunden ist. Beobachtet man dann einen andern Stern, dessen Declination z. B. 40 Grad beträgt, wovon der Cosinus 0.7660 ist, an diesem Seitenfaden, so wird er jenes Intervall in einer Zeit durchlaufen, die gleich 17.36 dividirt durch den Cosinus seiner Declination, d. h. die gleich 22.663 Sternzeitsekunden ist, so daß man daher zu der Beobachtungszeit an diesem Seitenfaden nur 22.665 Sekunden addiren, oder wenn er westlicher steht, davon subtrahiren darf, um sofort die Zeit zu erhalten, wenn dieser Stern durch den mittleren oder durch den Hauptfaden gegangen ist. Noch wollen wir bemerken, daß man dieser Reihe von senkrechten, unter sich parallelen Fäden gewöhnlich noch einen anderen darauf senkrechten oder nahe horizontalen hinzufügt, der dazu dient, die zu beobachtenden Sterne alle nahe durch dieselben Punkte der andern verticalen Fäden, also in der Nähe dieses horizontalen, durchgehen zu lassen, wo es jetzt nicht mehr nöthig ist, die verticalen unter sich ganz genau parallel einzuspannen, was nur schwer oder gar nicht erreicht werden kann.

Um nun noch die Collimationslinie, d. h. den mittleren verticalen Faden des Mittagsrohrs ganz genau in die Ebene des Meridians zu bringen, wird man am besten einen dem Nordpole des Aequators nahen Stern in seiner obern sowohl, als auch in seiner unteren Culmination an dem Mittagsrohre beobachten. Geht die Uhr bereits sehr nahe nach Sternzeit, so beobachte man die Uhrzeit der zwei Augenblicke, wo z. B. der Polarstern in seiner oberen und unteren Culmination ist, und subtrahire die letzte Zeit von 12 Uhr. Die halbe Differenz der so erhaltenen zwei Zeiten dividirt man dann durch den Cosinus der Polhöhe und durch die Tangente der Declination des Sterns: was herauskommt, ist die gesuchte Abweichung des Rohrs von dem Meridian oder ist das gesuchte Azimut (Einl. §. 20). Um dieß durch ein Beispiel zu erläutern, nehmen wir an, man hätte für die obere Culmination des Polarsterns 0 Stunden 58 Minuten 20 Sekunden, und für die untere 12 Stunden 58 Minuten 50 Sekunden gefunden, so ist jene Differenz 30, also ihre Hälfte 15 Zeitsekunden. Die Declination des Polarsterns ist aber nahe 88° 16′ und die Polhöhe Wiens 48° 12′6. Von jenem Winkel ist die Tangente 31.2416 und von diesem der Cosinus 0.6664, also beträgt auch das Azimut des Fernrohrs 0.721 Zeitsekunden und zwar gegen Ost, da jene Differenz positiv ist. Man wird daher in diesem Falle das Fernrohr oder vielmehr die Drehungsaxe AB desselben mittelst der bereits erwähnten Schraube bei der Unterlage B dieser Axe, um 0.721 Zeitsekunden westlicher stellen, um die Collimationslinie in die Ebene des Meridians zu bringen. Die Beobachtungen der nächstfolgenden Tage werden zeigen, ob man diese Zurechtstellung des Fernrohrs ganz genau vorgenommen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

hat. Dieß wird nämlich der Fall seyn, wenn die erwähnte Differenz der beiden Sternzeiten genau gleich Null ist.

Dieß sind die wesentlichsten Correctionen des Mittagrohrs, die man mit aller Sorgfalt vornehmen muß, ehe man an die eigentlichen Beobachtungen mit diesem Instrumente geht. Da es schwer ist, diese drei Fehler, der auf die Drehungsaxe senkrechten Stellung der Collimationslinie, der Horizontalität der Drehungsaxe und des Azimuts des Fernrohrs, durch bloße mechanische Mittel, wie Schrauben, Libellen und dergl. sind, völlig wegzubringen, und da sich auch diese Fehler durch äußere Einwirkungen auf das Instrument häufig ändern, so ziehen es die neueren Beobachter vor, diese Fehler durch jene Mittel überhaupt nur so klein als möglich zu machen, und dann den Rest derselben oder vielmehr die Folgen dieser Reste auf die künftigen Beobachtungen in Rechnung zu bringen, ein Verfahren, das viel genauer ist, als jenes, das sich aber hier ohne Umständlichkeit nicht gut vortragen läßt.

§. 180. (Andere Correctionen des Mittagsrohrs.) Allein es gibt bei diesem Instrumente noch andere Fehler, auf die ein genauer Beobachter ebenfalls Rücksicht nehmen soll. Man sieht z. B. ohne meine Erinnerung, daß der Künstler, welcher solche Instrumente verfertigt, die Endpunkte A und B der Drehungsaxe, mit welchen diese Axe eigentlich auf ihren Lagern aufliegt, mit der größten Sorgfalt ausarbeiten muß. Diese Endtheile der Axe sind Cylinder mit kreisförmiger Basis. Wenn nun diese Basis bei dem einen oder dem anderen Endpunkte der Axe kein vollkommener Kreis, sondern z. B. eine Ellipse wäre, oder wenn sie auch beide Kreise, aber von verschiedenem Durchmesser wären, oder wenn beide Cylinder einander nicht genau gegenüberstünden u. s. w., so würden diese Unvollkommenheiten der mechanischen Ausführung, die doch der Künstler nicht wohl gänzlich vermeiden kann, eben so viele Fehlerquellen seyn, auf welche der Beobachter, da er sie nicht, wie jene drei, wegschaffen oder doch so viel möglich vermindern kann, bei den Berechnungen seiner Beobachtungen Rücksicht nehmen muß. Schwerer noch ist es, diejenigen Fehler zu bestimmen, die von der Wirkung der Schwere auf das Fernrohr in den verschiedenen Lagen desselben gegen den Horizont kommen, so wie jene, welche die Temperatur in den verschiedenen Theilen des Instrumentes erzeugt. Um diese letzten Fehler wenigstens so viel möglich zu vermeiden, hat man eigene Beschirmungen, welche bei den Sonnenbeobachtungen nicht nur das Instrument, sondern auch die beiden Pfeiler P und Q in Schatten stellen, so daß nur das Objectiv D des Fernrohrs den Sonnenstrahlen bloß gegeben wird. Man hat gefunden, daß der Mangel dieser Beschirmung des Instruments oft sehr große Fehler erzeugt. Selbst der oben erwähnte Ring im Innern des Fernrohrs, welcher die Fäden trägt, ist einer solchen Verstellung durch die Sonnenstrahlen ausgesetzt, wenn dieselben vor der Beobachtung den westlichen, und nach derselben den östlichen Rand des Ringes bescheinen, daher man vor diesen Ring einen zweiten anzubringen pflegt, welcher den ersten vor der unmittelbaren Einwirkung der Sonnenstrahlen beschützen soll.

Noch muß erwähnt werden, daß man für diese, so wie überhaupt für alle in dem Meridian aufgestellte Instrumente, in angemessenen Entfernungen von z. B. einer Viertelmeile im Nord und Süd eigene Meridianzeichen aufzustellen pflegt, Säulen oder Pfeiler, die in ihren höchsten Theilen mit einer eingetheilten Scale versehen sind, deren Theile sich durch das Fernrohr gut lesen lassen, und durch deren Hülfe man nicht nur die Richtung des Meridians sehr genau bestimmen, sondern

auch das Fernrohr leicht wieder darauf zurückführen kann, wenn es sich durch irgend einen Zufall davon entfernt hat.

§. 181. (Beobachtungen mit dem Mittagsrohre.) Durch alle diese und manche andere Rücksichten ist man dahin gekommen, mit solchen Instrumenten die Correction der Uhr, d. h. die Zeitbestimmung sowohl, als auch die Bestimmung der Rectascension der Gestirne bis auf zwei oder drei Zehntheile einer Zeitsekunde genau zu erhalten.

Wir wollen nur noch kurz anzeigen, auf welche Weise man mit dem Mittagsrohre jene beiden Beobachtungen anzustellen pflegt, vorausgesetzt, daß man die Fehler desselben durch das vorhergehende Verfahren bereits weggebracht hat.

Zuerst also dient dieses Instrument zur Bestimmung der Zeit, d. h. zur Berichtigung der Uhr, die man bei allen folgenden Beobachtungen braucht. Es ist bereits früher (I. §. 161) gesagt worden, daß man auf Sternwarten die Uhren gewöhnlich nach Sternzeit gehen läßt, so daß sie zwischen zwei nächsten Mittagen oder zwischen zwei nächsten Culminationen der Sonne, nicht 24 Stunden, sondern nahe 24 Stunden 3 Minuten 56 Sekunden geben, wobei vorausgesetzt wird, daß eine solche Uhr vor allem gleichförmig gehe, d. h. daß sie im Laufe mehrerer Tage gegen die richtige Sternzeit täglich oder stündlich um dieselbe Größe zu- oder abnehme.

Um nun für jeden Augenblick diese Abweichung der Uhr von der wahren Sternzeit zu finden, wird man das Mittagsrohr, mittelst des Index Ao des Kreises mn nahe auf die mittägige Höhe eines Fixsterns stellen, dessen Rectascension für diesen Augenblick man genau kennt. Es sey dieser Stern Aldebaran oder α im Stier, dessen Rectascension 4 Stunden 26 Minuten 25.3 Sekunden seyn soll. Da der Gang der Uhr, etwa bis auf eine Minute, schon aus den früheren Beobachtungen bekannt ist, so wird man einige Zeit, ehe die Uhr 4 Stunden 26 Minuten zeigt, an das Instrument gehen, um dasselbe auf den gewählten Fixstern zu stellen, und dann abwarten, bis der Stern in das Feld des Fernrohrs tritt. Gesetzt, dasselbe sey mit drei senkrechten Fäden versehen, die in gleichen Entfernungen von einander stehen, und man habe die Uhrzeiten des Durchgangs des Sterns durch diese Fäden gefunden, wie folgt:

Durch den ersten Faden	Uhrzeit	4 St.	26 M. 54.2 S.
zweiten . . .		4	27 39.3
dritten . . .		4	28 23.8

Addirt man diese drei Zeiten und dividirt die so erhaltene Summe durch 3, d. h. nimmt man das Mittel aus diesen drei Beobachtungen, so erhält man

4 St. 27 M. 39 S.

für die Uhrzeit desjenigen Augenblicks, wo der Stern durch den Meridian ging. Allein die wahre Sternzeit dieses Augenblicks ist bekanntlich (I. §. 161) gleich der Rectascension desselben oder gleich

4 St. 26 M. 25.3 S.

Die Differenz dieser beiden Zeiten ist 1 Minute 13.8 Sekunden, also geht auch die Uhr um die Zeit, wo sie 4 Stunden 28 Minuten zeigte, um 1 Minute 13.8 Sekunden gegen Sternzeit voraus, oder sie geht um 1 Minute 13.8 Sekunden zu früh.

Ebenso wird man an demselben Tage durch eine andere Beobachtung, z. B. von Wega oder α der Leyer, deren Rectascension 18 Stunden 31 Minuten 19.2 Sekunden ist, finden, daß die Uhr um diese Uhrzeit um 1 Minute 14.2 Sekunden gegen Sternzeit voraus ist, woraus folgt, daß

sie in 14 Stunden 5 Minuten Uhrzeit um 0.4 Sekunden gegen Sternzeit vorausgeht, so daß sie also, wenn man ihren Gang gleichförmig annimmt, in jeder Stunde um 0.028 Sekunden gegen Sternzeit voraus-eilt. Aus mehreren solchen Beobachtungen wird man das Mittel nehmen, und so den Stand und Gang der Uhr gegen die große Himmelsuhr oder gegen die wahre Sternzeit mit aller nur wünschenswerthen Schärfe bestimmen können.

Um nun auch, nachdem der Zustand der Uhr vollkommen bekannt ist, die Rectascensionen solcher Gestirne, deren Ort am Himmel man noch nicht kennt, durch das Mittagsrohr zu bestimmen, wird man kurz vor der Culmination desselben das Fernrohr auf dieses Gestirn stellen, und wieder die Uhrzeiten der Durchgänge desselben durch die drei Fäden bemerken. Gesetzt, man habe an demselben Tage von irgend einem Kometen beobachtet

am ersten Faden die Uhrzeit	10 St.	43 M.	16.2 S.
zweiten	10	44	20.4
dritten	10	45	24.3

Das Mittel dieser drei Zahlen ist 10 Stunden 44 Minuten 20.3 Sekunden, und dieß ist also auch zugleich die Uhrzeit der Culmination des Kometen. Allein die Uhr ging um 4 Stunden 27 Minuten Uhrzeit bereits um 1 Minute 13.8 Sekunden gegen Sternzeit voraus und accelerirt in jeder Stunde um 0.028 Sekunden, also ging sie zur Zeit der Beobachtung des Kometen um 1 Minute 13.98 Sekunden gegen Sternzeit voraus, oder der Komet culminirte, wie aus dieser Beobachtung und aus dem bereits bekannten Fehler der Uhr folgt, um 10 Stunden 43 Minuten 6.32 Sekunden Sternzeit, und dieß ist daher auch (I. §. 161) die gesuchte Rectascension des Kometen.

Das Vorhergehende wird hinreichen, die Einrichtung und den Gebrauch des Mittagsrohrs jedem Leser deutlich zu machen. Ich habe mich absichtlich etwas umständlicher darüber verbreitet, da das Instrument eines der wichtigsten der neueren Astronomie ist, und da das, was hier von ihm gesagt worden ist, sich mit einigen Aenderungen auch auf andere Meridianinstrumente anwenden läßt.

§. 182. (Zeitbestimmung bloß durch Hülfe eines einfachen Fernrohrs.) Da eine genauere Kenntniß der Zeit nicht bloß dem Astronomen nothwendig, sondern auch jedem Anderen willkommen ist, dessen Geschäfte auf irgend eine Art genau an die Zeit gebunden sind, so wollen wir hier einige Mittel zu diesem Zwecke mittheilen, von welchen man mehrere selbst ohne alle eigentliche Instrumente anwenden kann.

Das einfachste unter allen ist ohne Zweifel der Gnomon, von welchem wir schon oben (I. §. 49) gesprochen haben, und der in einem geradlinigen, auf horizontalem Boden senkrecht aufgestellten Stabe besteht. Diese Lage des Stabes oder der Stange wird man leicht mittelst eines Bleilothes erhalten. Wird ein solcher Stab den Sonnenstrahlen ausgesetzt, so bemerkt man, daß der Schatten desselben auf der horizontalen Ebene um den Stab herumgeht, und daß er immer kürzer wird, je näher die Sonne an dem Meridian, oder je näher die Zeit dem Mittage ist. In gleichen Entfernungen von dem Mittage, z. B. drei oder vier Stunden vor und nach dem Mittage eines gegebenen Tages, hat dieser Schatten gleiche Länge und steht auch, zu beiden Seiten des Meridians, gleichweit von ihm ab, so daß also dieser Schatten vor und nach dem Mittage mit der Mittagslinie (Einl. §. 15) gleiche Winkel macht.

Diese wenigen Bemerkungen reichen hin, eine Sonnenuhr der ein-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

fachsten Art zu construiren. Man ziehe nämlich aus dem Fußpunkte der Stange, wo sie den Boden berührt, als aus einem Mittelpunkte, mittelst einer daselbst befestigten Schnur mehrere concentrische Kreise von verschiedenen Halbmessern und bemerke in der Peripherie eines jeden Kreises diejenigen zwei Punkte, die vor und nach dem Mittag von dem Endpunkte des Schattens getroffen werden. Theilt man dann in jedem Kreise den zwischen diesen beiden Punkten enthaltenen Bogen in zwei gleiche Theile und vereiniget diesen Theilungspunkt mit dem Fußpunkte der Stange durch einen auf dem horizontalen Boden gezogene gerade Linie, so wird dieselbe die Mittagslinie seyn, und so oft in künftigen Tagen der Schatten der verticalen Stange auf diese Mittagslinie fällt, wird dieser Augenblick den des wahren Mittags an diesem Tage bezeichnen. Eigentlich wird, wie man sieht, schon ein einziger jener Kreise zu diesem Zwecke genügen, auch sind die anderen nur gezogen worden, um dadurch den Versuch wiederholen, und sich von der Genauigkeit der Ausführung überzeugen zu können. Die verschiedenen Mittagslinien, die jeder dieser Kreise gibt, sollen nämlich alle auf eine und dieselbe Linie fallen, und wenn, wie dieß gewöhnlich der Fall ist, da sich das Schattenende der Stange nicht ganz genau beobachten läßt, wenn diese Mittagslinien unter einander etwas abweichen sollten, so wird man unter ihnen das Mittel nehmen. Am sichersten wird man diese Beobachtungen zur Zeit der Solstitien (Einl. §. 22) anstellen, weil da die Declination der Sonne sich am wenigsten ändert.

Dadurch sind wir also in den Stand gesetzt, jeden Tag wenigstens den Augenblick des wahren Mittags genau anzugeben. Allein die anderen Stunden des Tages sind uns noch unbekannt. Wir wollen daher sehen, wie man auch zur Kenntniß dieser letzteren gelangen kann.

Ich setze dabei voraus, daß man eine gute, d. h. eine gleichförmig gehende Uhr habe. Eine solche Uhr mag immerhin täglich um eine beträchtliche Zeit, z. B. um eine ganze Minute, vor der wahren Zeit vorausgehen oder hinter ihr zurückbleiben, wenn sie nur im Laufe eines jeden Tages um dieselbe Größe von der Wahrheit abweicht. Unsere vorhergehenden einfachen Beobachtungen an der verticalen Stange werden uns bald von der Brauchbarkeit der Uhr überzeugen, wenn man an dieser Stange mehrere Tage nach einander den Augenblick des wahren Mittags an der Uhr beobachtet und dabei auf die Zeitgleichung (I. §. 158) Rücksicht nimmt.

Gesetzt, man hätte folgende Uhrzeiten des wahren Mittags gefunden, denen ich sogleich die mittlere Zeit dieser Mittage hinzusetze:

	Uhrzeit.	Mittlere Zeit.	Differenz.
am 5. Jul.	12 St. 2 M. 24 S.	12 St. 4 M. 6 S.	1 M. 42 S.
7.	12 1 35	12 4 25	2 50
10.	12 0 24	12 4 54	4 30
20.	11 55 41	12 5 54	10 13

Aus diesen Beobachtungen folgt daher, daß die Uhr am 5. Julius im wahren Mittag gegen die mittlere Zeit um 1 Minute 42 Sekunden, und am 20. Julius schon um 10 Minuten 13 Sekunden zu spät ging. Diese Uhr scheint also, wie man gewöhnlich urtheilen hört, schlecht zu gehen, da sie in 15 Tagen um volle 8 Minuten 31 Sekunden zu spät geht, also in einem Monate von 30 Tagen um 17 Minuten 2 Sekunden oder mehr als eine Viertelstunde zu spät gehen wird. Allein wenn man den Gang dieser Uhr zwischen den einzelnen Beobachtungstagen näher betrachtet, so findet man, daß sie im Gegentheile eine gute Uhr ist.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

In der That, während der beiden ersten Tage blieb sie um 1 Minute 8 Sekunden, also täglich um 34 Sekunden zurück. In den drei Tagen vom 7. bis zum 10. Julius blieb sie 1 Minute 40 Sekunden, also täglich wieder 33.3 Sekunden zurück. In den zehn letzten Tagen endlich, vom 10. bis zum 20. Julius blieb sie 5 Minuten 43 Sekunden, also täglich 34.3 Sekunden zurück. Ihre tägliche Retardation gegen mittlere Zeit ist daher

aus der ersten Vergleichung 34.0 Sekunden
zweiten „ 33.3 „
dritten „ 34.3 „

und da die drei letzten Zahlen so wenig unter einander verschieden sind, so kann man den Gang der Uhr während dieser 15 Tage als gleichförmig, nämlich ihre tägliche Retardation im Mittel gleich 33.87 Sekunden annehmen.

Eine solche Uhr vorausgesetzt, beobachte man nun an einem vor seinem Fenster stehenden Thurme oder höheren Hause, mittelst eines Fernrohres von nur schwacher Vergrößerung, die vorüberziehenden Fixsterne, wie sie nach einander von der Mauer bedeckt werden und hinter ihr verschwinden. Wenn diese Mauer weit genug, etwa einige hundert Klafter, von dem Auge des Beobachters entfernt ist, so haben diese Verschwindungen der Sterne augenblicklich statt und können daher mit vieler Schärfe beobachtet werden. Wenn ferner der Theil der Mauer, an welchem man diese Verschwindungen sieht, senkrecht auf dem Horizonte steht, wie dieses bei den meisten Mauern der Fall ist, so wird ein Fixstern, dessen Declination ungeändert bleibt, alle Tage des Jahres um dieselbe Sternzeit hinter der Mauer zu verschwinden scheinen, wenn anders das Auge des Beobachters immer dieselbe Lage beibehält. Denn eigentlich geht der Stern im Augenblicke seiner Verschwindung durch den Verticalkreis (Einl. §. 10), der durch das Auge und durch die senkrechte Mauer des Thurmes bestimmt wird, oder der Stern hat in diesem Augenblicke dasselbe Azimut (Einl. §. 20), welches auch der Thurm für den Beobachter hat. Allein wenn für einen am Himmel fixen Stern S' (I. Fig. 2) das Azimut RZS' nicht geändert wird, so bleibt auch sein Stundenwinkel RNS' und also auch die Sternzeit VQ seines Durchgangs durch den Verticalkreis ZS' immer derselbe, da nach Einl. §. 28 diese Sternzeit nichts anders ist, als die Summe seines Stundenwinkels QVQ' oder QQ' und seiner Rectascension Q'V. Derselbe Stern wird daher alle Tage um dieselbe Sternzeit verschwinden, und man darf diese Sternzeit nur einmal genau bestimmen, um durch die beobachtete Verschwindung des Sterns auch für jeden anderen Tag sofort den Fehler seiner Uhr gegen Sternzeit bestimmen zu können.

Dabei wird, wie gesagt, bloß vorausgesetzt, daß das Auge des Beobachters immer denselben Ort unverändert beibehalte. Allein dieser Forderung wird man sehr leicht genügen, wenn man z. B. an seinem Fensterstocke einen größeren festen Nagel schief gegen den Horizont so einschlägt, daß das Fernrohr, während der Beobachtung, in den Winkel, welchen der Nagel mit den Fensterbalken bildet, frei herabsinkt. In dieser Lage richtet man dann das Fernrohr auf den Thurm so, daß das Auge die bekannte Stelle des Thurms, wo der Eintritt des Sterns statt haben soll, in der Mitte des Feldes erblickt.

Man sieht ohne meine Erinnerung, daß es zu solchen Beobachtungen am bequemsten ist, seine Uhr nach Sternzeit gehen zu lassen, wie dieß auch auf allen Sternwarten bereits eingeführt ist (Vergl. I. §. 161). Allein da wir nun einmal daran gewöhnt sind, unsere Uhren nach mitt-

lerer Sonnenzeit gehen zu lassen, so können wir auch hier diese Einrichtung beibehalten, wenn wir nur bemerken, daß (a. a. O.) die mittlere Zeit der Verschwindung des Sterns hinter dem Thurme jeden Tag um 3 Minuten 55.907 Sekunden früher statt hat, als an dem vorhergehenden Tage. Auch mag man bemerken, daß der gewählte Stern, der am ersten Tage zu einer für diese Beobachtungen bequemen und geschickten Abendstunde verschwindet, immer früher am Tage zu dem Thurme kommen und daher am Ende durch das vielleicht nur schwache Fernrohr ganz unsichtbar werden wird. Diese Acceleration, die, nach dem Gesagten, täglich 3 Minuten 55.907 Sekunden beträgt, wird nach einem Monate nahe auf zwei, und nach einem halben Jahre auf zwölf Stunden steigen. Allein diesem Umstande läßt sich leicht begegnen, wenn man gleich die ersten Nächte nicht bloß einen, sondern mehrere Sterne beobachtet, deren Verschwindungen eine oder eine halbe Stunde von einander entfernt sind. Wenn dann später auch die letzten dieser Sterne schon zu nahe an dem Tage fallen, so kann man mit ihnen wieder andere auf dieselbe Weise verbinden und in einem Jahre z. B. 50 Sterne beobachten, so daß in jeder halben Stunde des Tages im ganzen Jahre wenigstens einer derselben beobachtet werden kann.

Diese Methode ist so einfach, daß es kaum nöthig seyn wird, sie durch ein Beispiel zu erläutern. Gesetzt, man habe an irgend einem Tage durch den oben erwähnten Gnomon oder sonst auf irgend eine Weise gefunden, daß die Uhr um 2 Minuten 40 Sekunden gegen mittlere Zeit zu spät gehe. An demselben beobachtete man auf die eben angezeigte Art die Verschwindung eines Sterns, die z. B. in dem Augenblicke statt hatte, als die Uhr 8 Stunden 45 Minuten 36 Sekunden gab. Da aber diese Uhr um 2 Minuten 40 Sekunden zu spät geht, so ist die mittlere Zeit der Verschwindung des Sterns 8 Stunden 48 Minuten 16 Sekunden.

Da derselbe Stern jeden folgenden Tag um 3 Minuten 55.908 Sekunden früher verschwindet, so wird er am zweiten Tag um 8 Stunden 44 Minuten 20 Sekunden, am dritten um 8 Stunden 40 Minuten 24.2 Sekunden mittlerer Zeit verschwinden. Hat man nun diese folgenden Verschwindungen ebenfalls beobachtet und z. B. gefunden, daß die des zweiten Tages um 8 Stunden 41 Minuten 46 Sekunden und die des dritten um 8 Stunden 37 Minuten 56 Sekunden Uhrzeit statt hatte, so findet man die Correctionen der Uhr für diese drei Tage auf folgende einfache Weise.

	Tag I.			II.			III.		
	St.	M.	S.	St.	M.	S.	St.	M.	S.
Mittlere Zeit	8	48	16	8	44	20.1	8	40	24.2
Uhrzeit	8	45	36	8	41	46	8	37	56
Verspätung der Uhr	2	40		2	34.1		2	28.2	

so daß man also jeden Tag den Fehler der Uhr und zugleich ihren täglichen Gang erhält, der in unserem Beispiele 5.9 Sekunden beträgt, um welche die Uhr jeden Tag gegen die mittlere Zeit vorausgeht oder accelerirt. Die Uebereinstimmung des täglichen Ganges aus jedem Beobachtungspaare gibt zugleich einen Beweis von dem guten Gange der Uhr.

Wenn man bedenkt, wie einfach diese Beobachtungen sind und mit welcher großen Schärfe sie sich anstellen lassen, so daß sie selbst von Astronomen, die mit keinem Mittagsrohre versehen sind, mit Vortheil gebraucht und allen anderen bisher erwähnten Zeitbestimmungen vorgezogen werden können, so muß man sich verwundern, daß diese Methode,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

selbst außer dem eigentlich wissenschaftlichen Leben, nicht überall eingeführt ist, wo man einer genauen Zeitbestimmung bedarf. Unsere Uhrmacher z. B. werden nie einen höheren Grad ihrer Kunst erreichen und mit den Chronometermachern Englands und Frankreichs, deren jeder eine kleine Privatsternwarte in seinem Hause hat, rivalisiren können, so lange sie nicht einmal genau wissen, ob die von ihnen verfertigten Uhren einen regelmäßigen Gang haben. Denn welches Mittel haben sie, dieses zu erfahren? — Sogenannte Probeuhren oder Regulatoren, von welchen sie einstweilen voraussetzen, daß sie gut sind. Aber was berechtigt sie zu dieser Voraussetzung? Einige bedienen sich zu diesem Zwecke sogar der Sonnenuhren, die sie sich auf der Rückseite ihres Hauses von irgend einem vielleicht sehr unerfahrnen Menschen aufzeichnen lassen, ohne zu bedenken, daß noch nie eine solche Uhr verzeichnet worden ist, durch welche man die Zeit bis auf eine oder auch auf mehrere Sekunden genau erhalten kann. Ja viele von ihnen kennen noch nicht einmal den Unterschied zwischen wahrer und mittlerer Zeit, und wollen ihre Uhren, denen sie doch vor allen einen gleichförmigen Gang geben sollen, zwingen, nach der Sonne d. h. ungleichförmig zu gehen. Alles dieß hindert sie aber nicht, als *Künstler*, wie sie sich selbst zu nennen belieben, mit Stolz auf die anderen *Handwerker* herabzusehen, die sie tief unter sich erblicken, wenn gleich mancher von diesen letztern sein Handwerk mit viel mehr Kenntniß desselben und mit viel mehr Ueberlegung treibt, als jene ihre sogenannte Kunst zu behandeln pflegen.

§. 183. (Zeitbestimmung selbst ohne Fernrohr.) Da eine wenigstens genäherte Kenntniß der Zeit selbst im bürgerlichen Leben so nothwendig ist, und da nicht Jedermann sich die Instrumente oder das Fernrohr dazu verschaffen kann, so wird es wünschenswerth seyn, denselben Zweck noch auf eine einfachere Weise zu erreichen.

Der oben erwähnte Gnomon, eine verticale Stange auf horizontalem Boden, ist zwar einfach genug und seine Anschaffung in Jedermanns Bereiche. Allein seine Aufstellung im *Freien* setzt ihn zu vielen Veränderungen durch Winde, Witterung, Störungen durch Menschen und Thiere aus, als daß er für längere Zeit mit Sicherheit gebraucht werden könnte. Für einen oder einige Tage aber läßt er sich ohne Mühe und Kosten errichten, um dadurch den Stand und Gang einer Uhr, für diese wenigen Tage, kennen zu lernen und dann, mit Hülfe einer solchen Uhr, andere Mittel zur künftigen, dauernden Zeitbestimmung in Bewegung zu setzen, wie wir dieß so eben in Beziehung auf die Sternverschwindungen gethan haben, und wie wir es auch hier, in Beziehung auf eine andere Methode der Zeitbestimmung, wieder thun wollen.

Setzen wir also, um die Sache anfangs so einfach als möglich vorzutragen, voraus, daß man in seiner Wohnung ein Fenster habe, dessen Richtung wenigstens nahe nach Süden gehe, so daß dasselbe von der Sonne im Mittag beschienen werde. An dem obersten Theile desselben, zwischen den beiden Glasfenstern, befestige man eine Schnur auf eine unveränderliche oder doch immer wieder leicht und sicher zu findende Weise. Diese Schnur, die nahe so lang, als das Fenster hoch ist, trage an ihrem unteren Ende ein an ihr frei schwebendes Gewicht, schwer genug, die Schnur straff zu spannen. Die Schwankungen der Schnur durch Luftzug der beiden Fenster zu vermeiden oder doch zu vermindern, kann man den untern Theil des Gewichtes in einer mit Wasser gefüllten Schaale gehen lassen.

Hat man die Dicke der Schnur stark genug gewählt, um den Schatten derselben, wenn sie von der Sonne beschienen wird, entweder auf dem

Fußboden oder auch an einer der Wände des Zimmers gut zu sehen, so wird man bemerken, daß dieser Schatten sich um so schneller bewegt, je weiter er von der Schnur entfernt ist, und solche Fenster wird man daher zu unserm Zwecke vorzugsweise auswählen, weil man im Allgemeinen die Zeit durch diesen Schatten desto genauer bestimmen wird, je schneller sich dieser Schatten bewegt, wenn er zugleich so deutlich und scharf begränzt, als möglich, gesehen wird.

Kennt man nun mit Hülfe des erwähnten Gnomons, oder mittelst einer durch den Gnomon regulirten Uhr, an irgend einem hellen Tage den Augenblick des wahren Mittags genau, so wird man, in diesem Augenblick, den Ort des Schnurschattens auf dem Boden oder an der Wand des Zimmers durch eine gerade Linie verzeichnen, und so oft in künftigen Tagen der Schatten der Schnur wieder auf diese Linie fällt, so oft wird man auch den Augenblick des wahren Mittags dieses Tages haben. Es ist übrigens für sich klar, daß man, statt jener Schnur, auch den Fensterrahmen oder die Fenstermauer selbst gebrauchen und ihren Schatten wie zuvor beobachten kann, vorausgesetzt, daß dieser Rahmen, oder daß die Fensterwand vollkommen vertical ist, wovon man sich leicht mittelst eines Bleilothes überzeugen wird.

Allein dadurch erhält man nur die Zeit des Mittages und daher vielleicht durch mehrere Wochen keine Zeitbestimmung, selbst wenn die Witterung günstig, die Sonne aber im Mittage zufällig durch Wolken bedeckt ist. Auch wird diese Methode dadurch sehr beschränkt, daß nicht jede Wohnung zu jenen Beobachtungen gelegene Fenster darbietet.

Es wäre daher zu wünschen, daß man dieses an sich ebenso einfache als sichere Verfahren auch auf jede andere Stunde des Tages und auf jede Lage des Fensters, wenn dasselbe nur nicht gegen Nord steht, ausdehnen könnte.

Man kann das auch, aber, wie dieß beinahe in allen Dingen zu geschehen pflegt, dieser Vortheil läßt sich nur auf Kosten eines anderen erreichen. Man kann sich nämlich von der Zeit des Mittags oder von der beschränkenden Lage des Fensters ganz unabhängig machen, wenn man sich dafür eine, übrigens sehr leichte trigonometrische Rechnung gefallen lassen will. Dem Astronomen ist dieß allerdings kein Hinderniß, und die mit diesen Rechnungen nicht Bekannten werden doch wohl unter ihren Freunden leicht einen finden, der sie dieser kleinen Mühe überheben wird; für diese will ich diese erweiterte Methode der Zeitbestimmung hier kurz auseinander setzen.

Ich setze also voraus, daß man an einem Tage, für welchen man den Stand seiner Uhr, etwa durch Hülfe jenes Gnomons, genau kennt, aus irgend einem auch nicht gegen Süden gelegenen Fenster den Schatten jener Schnur oder auch den Schatten des verticalen Fensterstockes, auf dem Boden oder an der Wand des Zimmers, in einem Augenblicke bemerkt und angezeichnet habe, wo es z. B. genau drei Uhr Abends wahre Sonnenzeit war. Die Frage ist: wie viel wird es alle anderen Tage des Jahres wahre Zeit in dem Augenblicke seyn, wo jener Schatten wieder dieselbe bezeichnete Stelle einnimmt?

In dem sphärischen Dreiecke ZNS' (I. Fig. 2) zwischen dem Zenith Z, dem Pol N des Aequators und dem Mittelpunkte S' der Sonne kennt man die Seite NS' oder die Poldistanz der Sonne, ferner die Seite NZ oder die Aequatorhöhe des Beobachtungsorts, und den Stundenwinkel ZNS' der Sonne zur Zeit der Beobachtung an dem ersten Tage. Daraus findet man aber sofort durch die bekannten Vorschriften der Trigonometrie das Azimut RZS' (Einl. §. 20) der Sonne.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Hat man z. B. diese erste Beobachtung zu Wien, dessen Aequatorhöhe 41° 48′ ist, an einem Tage gemacht, an welchem die Poldistanz der Sonne 80° war, und zwar zu dem Augenblicke, wo die wahre Zeit 3 Stunden, also der Stundenwinkel 45° betrug, so findet man daraus das Azimut der Sonne 59° 55′ für diesen Augenblick.

Dasselbe Azimut wird aber die Sonne alle Tage des Jahres in demjenigen Momente haben, wo der Schatten der Schnur wieder auf die bezeichnete Stelle der Wand tritt, aber der Stundenwinkel oder die wahre Zeit dieses Momentes wird eine andere seyn, weil die Poldistanz NS′ der Sonne für jeden Tag eine andere ist. Das Dreieck NZS′ wird sich also auch geändert haben, indem wohl die Seite NZ und der Winkel NZS′ derselbe bleibt, die Linie NS′ aber näher gegen Z herauf oder weiter von Z herabgerückt ist, nachdem die Poldistanz der Sonne seit jenem ersten Tage kleiner oder größer geworden ist.

Diese Poldistanz der Sonne aber kann man mit Hülfe eines jeden astronomischen Kalenders, für jeden Tag des Jahres, leicht finden, und ebenso wird man auch für jede gegebene Poldistanz der Sonne den ihr entsprechenden Tag des Jahres oder eigentlich die zwei Tage finden, da die Sonne im Allgemeinen zweimal des Jahrs dieselbe Poldistanz hat. So findet man z. B. aus diesem Kalender, daß jener erste Beobachtungstag, an welchem die Poldistanz der Sonne 80° betrug, entweder der 16. April oder der 28. August gewesen ist.

Diese Poldistanz kann aber, da die Schiefe der Ecliptik $23^1/_2$ Grad beträgt, von $66^1/_2$ bis $113^1/_2$ Grad wachsen. Nehmen wir also diese Poldistanz nach und nach zu 66, 67, 68 bis 113 Graden an, so bekommen wir eben so viele Dreiecke NZL′, in welchen allen die Seite NZ=41° 48′ und der äußere Winkel oder das Azimut RZS′=59° 55′ ist, während die Seite NS′ nach der Ordnung 66, 67, 68 Grade beträgt, und es wird sich nun bloß darum handeln, in diesem Dreiecke aus den bekannten Seiten NZ und NS′ und dem Winkel RZS′ den unbekannten Stundenwinkel ZNS′ zu finden, welcher letzte zugleich die gesuchte wahre Zeit seyn wird, zu welcher der Schatten der Schnur in den verschiedenen Tagen des Jahres wieder auf die bezeichnete Stelle fällt. Nimmt man z. B. für unseren Fall nach der Ordnung die Poldistanz der Sonne gleich 75, 80, 85 und 90 Graden, so findet man daraus die wahre Zeit und die zwei Tage des Jahres durch folgende kleine Tafel.

Poldistanz der Sonne.	Wahre Zeit.	Tage des Jahrs.
75° . .	2 St. 45 M. 0″ . .	1. Mai u. 12. August.
80° . .	3 — 0 — 0″ . .	16. April u. 28. August.
85° . .	3 — 14 — 28″ . .	2. April u. 10. September.
90° . .	3 — 28 — 36″ . .	21. März u. 23. September.

u. s. w.

Auf diese Weise wird man sich, wenn man die Poldistanzen nach den einzelnen Graden wachsen läßt, eine Tafel entwerfen, aus welcher man für jeden Jahrestag die wahre Zeit jenes Momentes nehmen kann. Denn gesetzt, man hätte am 2. April den Schatten der Schnur auf der bezeichneten Stelle in einem Augenblicke gesehen, wo die Uhr 3 Stunden, 20 Minuten, 48 Sekunden gab, da sie doch nach der vorhergehenden Tafel 3 Stunden, 14 Minuten, 28 Sekunden geben sollte, so sieht man daraus, daß die Uhr an diesem Tage um 6 Minuten 20 Sekunden gegen wahre Zeit zu früh ging. Will man aber, wie gewöhnlich, die Uhr nicht mit der wahren, sondern mit der mittleren Zeit vergleichen,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

so sieht man aus der oben (I. §. 158) gegebenen Tafel, daß die Zeitgleichung am 2. April 3 Minuten 42 Sekunden beträgt, so daß also die gesuchte mittlere Zeit jenes Tages 3 Stunden, 18 Minuten, 10 Sekunden ist, oder daß die Uhr an diesem Tage um 2 Minuten 38 Sekunden gegen mittlere Zeit zu früh geht, und so fort mit allen andern Tagen des Jahres.

§. 184. (Sonnenuhren.) Nachdem wir uns über den wichtigen Gegenstand der Zeitbestimmung so umständlich verbreitet haben, würde es unangemessen scheinen, eines der im gemeinen Leben gewöhnlichsten Mittel zu diesem Zwecke hier ganz mit Stillschweigen zu übergehen.

Unsere Erde bewegt sich in einem Sterntage um ihre Axe von West nach Ost, und zwar, wie wir oben gesehen haben, auf eine ganz gleichförmige Weise oder mit einer völlig unveränderlichen Geschwindigkeit. Wir haben bereits früher gezeigt, daß man sich die daraus folgenden Erscheinungen ganz eben so gut dadurch erklären kann, daß man die Erde in Ruhe läßt, und dafür den ganzen Himmel in derselben Zeit, aber in verkehrter Richtung, oder von Ost nach West, sich um die Erde bewegen läßt. Nehmen wir diese letztere, als die gewöhnlichste und augenfälligste Erklärung an, so würde also die Sonne, wenn sie immer denselben Ort am Himmel einnähme, so wie alle Fixsterne, während jeden Sterntages um die ruhende Erdaxe die ganze Peripherie eines Kreises zurücklegen. Denken wir uns hinter der Erde, auf der der Sonne entgegengesetzten Seite, irgend eine ebene oder krumme, aber feste und unveränderliche Fläche, so wird der Schatten, welchen die von der Sonne beschienene Erdaxe hinter sich wirft, auf diese Ebene fallen und auf ihr eben so gleichförmig weiter gehen, wie die Sonne selbst mit dem ganzen Himmel um die ruhende Erde in ihrer täglichen Bewegung weiter schreitet, und so oft diese Sonne, in den folgenden Tagen, von dem Meridian eines bestimmten Beobachters wieder dieselbe Entfernung, d. h. so oft die Sonne wieder denselben Stundenwinkel hat, so oft wird auch der Schatten der Erdaxe wieder dieselbe Stelle auf jener Ebene einnehmen, so daß, wenn man nur einmal weiß, welche Stelle er für 1, 2, 3 .. Uhr einnimmt, man künftig auch immer rückwärts, aus dem Orte des Schattens auf die ihm entsprechende Tageszeit, schließen wird.

Dabei haben wir vorausgesetzt, daß die Sonne, gleich einem Fixstern, immer dieselbe Stelle an dem sich täglich um die Erde bewegenden Himmel, z. B. den Frühlingspunkt (I. §. 22), einnimmt. Setzen wir statt dieser Sonne einen eben so hellen Fixstern in den Frühlingspunkt, so würden wir auf diese Weise, durch den Schatten auf unserer Fläche, eigentlich die verschiedenen Stunden des Sterntags erhalten. — Allein die wahre Sonne steht nicht fest unter den anderen Sternen des Himmels, sondern sie bewegt sich, wie wir oben gesehen haben, täglich nahe einen Grad gegen Osten, und zwar nicht alle Tage mit derselben, sondern eigentlich mit einer veränderlichen Geschwindigkeit. Dadurch wird aber unsere Sache nicht wesentlich geändert. Der Schatten der Erdaxe, wie dieselbe von der wahren Sonne beschienen wird, wird noch immer seinen täglichen Weg auf jener Fläche zurücklegen, und er wird auch auf derselben immer wieder dieselbe Stelle einnehmen, so oft diese wahre Sonne dieselbe Stelle gegen den Meridian des Beobachters einnimmt, d. h. so oft die wahre Sonne, in dem Laufe eines jeden künftigen Tages, wieder denselben Stundenwinkel hat. Der Schatten der Erdaxe auf jener Fläche wird also nicht mehr, wie zuvor, den Stundenwinkel des Frühlingspunkts, oder die Sternzeit, sondern er wird den Stundenwinkel der wahren Sonne, d. h. er wird die wahre Zeit (I. §. 155) angeben.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Dieß wäre demnach die einfachste und zugleich die sicherste Sonnenuhr, die man haben könnte, und einmal auf jener Ebene die Orte des Schattens der Erdaxe für die verschiedenen Stunden, Minuten und Sekunden des wahren Tages bestimmt, würden wir, so oft dieser Schatten wieder auf eine der so bezeichneten Stellen fiele, sofort auch daraus die wahre Zeit dieses Augenblickes, ohne Instrumente, ohne Rechnung, durch den bloßen Anblick jener Flächen finden.

Allein wo ist jene Fläche, oder wie sollen wir uns eine solche verschaffen? — Da dieß offenbar für unsere Kräfte unmöglich ist, müssen wir deßhalb ganz von unserer Unternehmung abstehen?

Eine sehr einfache Betrachtung wird uns helfen, dieses an sich unüberwindliche Hinderniß zu umgehen, und unsern Zweck auf einem andern Wege zu erreichen. Der Halbmesser unserer Erde beträgt, wie wir oben gesehen haben, 859 deutsche Meilen; der Halbmesser der Erdbahn aber, oder mit anderen Worten, die mittlere Entfernung der Sonne von der Erde hat 20,658,000 Meilen. Die letzte ist also über 24,000mal größer, als die erste. Die ganze Erde ist also nur als ein sehr kleiner Körper, nur als ein beinahe verschwindender Punkt gegen jene hohle Himmelskugel anzusehen, in deren Oberfläche sich die Sonne aufhält. Wollten wir uns z. B. diese beiden Kugeln in ihrem wahren Verhältnisse durch ein Modell darstellen, in welchem der Durchmesser der kleineren, der Erde, einen Schuh beträgt, so müßten wir dem Durchmesser der größeren, der Himmelskugel, einen Durchmesser von 24,000 Fuß, also von mehr als einer deutschen Meile geben, da schon 22,842 P. Fuß auf eine solche Meile gehen. Also würde auch eine so kleine Kugel von nur einem Schuh im Durchmesser, wenn wir hinter ihr eine feste Fläche anbringen, oder wenn wir sie vor der festen Wand eines Hauses oder vor dem Dache eines Thurmes u. s. w. aufstellen, uns ganz dieselbe Dienste leisten, wie jener vorhergehende zu große, und darum für uns unmögliche Apparat, wenn nur, was allerdings hier Hauptsache ist, wenn nur die Axe dieser kleinen Kugel, wofür hier irgend ein durch ihren Mittelpunkt gehender, und zu beiden Seiten verlängerter Stift genommen werden kann, mit der großen Weltaxe genau parallel gelegt wird. Wegen der so geringen Größe der Erde gegen die ungemeine Entfernung der Sonne kann man nämlich, ohne allen merklichen Fehler, annehmen, daß die Sonnenstrahlen, obschon sie eigentlich aus der Sonne divergent ausgehen, auf alle Punkte der Erde in unter sich parallelen Richtungen auffallen, und daß es daher, in Beziehung auf unsere Absicht, gleichviel ist, auf welchem Punkte der Oberfläche der Erde man diese Axe anbringt, wenn man sie nur mit der wahren Axe der Erde vollkommen parallel stellt, so daß also auch sogar jene kleine Kugel, von der wir so eben gesprochen haben, ganz überflüssig wird, indem schon ein einfacher, der Erdaxe paralleler Stift genügt, um diesen unsern Endzweck zu erreichen, nämlich um durch den Schatten eines solchen Stifts, den er auf eine hinter ihm stehende, ebene oder krumme Fläche wirft, die wahre Zeit in jedem Augenblicke anzugeben.

§. 185. (Horizontale Sonnenuhr: erste Methode) Unsere Aufgabe reducirt sich demnach auf folgende zwei Fragen: wie soll man erstens einen geradlinigen Stift so stellen, damit er der Erdaxe parallel werde, und wie soll man zweitens auf einer hinter diesem Stifte stehenden Fläche die Orte des Schattens dieses Stiftes für jeden Augenblick der wahren Zeit angeben?

Um die Antworten auf diese Fragen nicht gleich anfangs zu sehr zu compliciren, wollen wir uns jene Fläche als eine horizontale Ebene,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

z. B. als ein dem Horizonte parallel gelegtes Tischblatt denken. Hier wird es sehr leicht seyn, unsern Stift in dem Tische in der durch die erste Frage geforderten Weise aufzustellen. Die Erdaxe macht nämlich mit dem Horizonte eines jeden Ortes auf der Oberfläche der Erde einen Winkel, der gleich der Polhöhe oder, was dasselbe ist, der gleich der geographischen Breite dieses Ortes ist (Einl. §. 27), welche letzte man bekanntlich aus jeder guten Karte des Landes, in welchem jener Ort liegt, nehmen kann. Für Wien z. B. ist die geographische Breite 48° 12′ 35″. Sei also ABDE (Fig. 103) die erwähnte horizontale Tafel. Man ziehe in ihr, durch irgend einen willkührlich gewählten Punkt C, die zwei unter sich senkrechten Linien AB und DE und befestige in dem Punkte C der Tafel einen geradlinigen Stift CP über dieser Tafel so, daß er mit den beiden Linien CD und CE einen Winkel von 90 Graden, mit der Linie CA aber einen Winkel von 48° 12′ 35″ macht, so wird dieser Stift der Erdaxe parallel stehen, sobald man die horizontale Tafel so stellt, daß die Linie CA genau nach Nord, also auch CD nach Ost, CE nach West und CB endlich nach Süd gerichtet ist, so daß also die Linie ACB die Mittagslinie (Einl. §. 15) des Ortes vorstellt. — Einfacher wird sich dieser Stift noch so in seine gehörige Lage stellen lassen. Man bilde sich z. B. aus Carton oder Metallblech ein bei G rechtwinkliges Dreieck CGP, dessen einer Winkel bei C gleich der Polhöhe des Ortes, also in unserem Beispiele, gleich 48° 12′ 35″ ist, und stelle dann dieses Dreieck *senkrecht* auf die Ebene der Tafel so, daß der Scheitel C desselben in den oben gewählten Punkt C der Tafel, und daß die Seite CG des Dreiecks in die oben gezogene Linie CA der Tafel fällt. In dieser Lage wird die grösste, oder die dem rechten Winkel G gegenüberstehende Seite CP die wahre Lage des Stiftes angeben, so daß man also, bei dieser Stellung des Dreiecks, den Stift nur in die Richtung der Seite PC des Dreiecks bringen, und in dieser Lage an der Tafel befestigen kann.

Damit ist also die erste unserer Fragen beantwortet. Allein wie soll man nun, in derselben Tafel, die Linien finden, auf welche der Schatten des Stiftes fallen muß, wenn es eben 1, 2, 3... Uhr wahre Zeit ist?

Zu diesem Zwecke kann man sich des folgenden graphischen Verfahrens bedienen. — Nachdem man, wie zuvor, durch einen willkührlich gewählten Punkt C der Tafel die beiden unter sich senkrechten Geraden AB und DE gezogen hat, ziehe man nun, ebenfalls in der Ebene dieser Tafel, die Linie CQ so, daß sie mit der Linie CA einen Winkel ACQ gleich der Polhöhe des Ortes bilde. Man nehme dann in dieser Linie CQ irgend einen, ebenfalls willkührlichen, Punkt P und errichte in diesem Punkte P auf die Linie CQ eine Senkrechte, welche die Linie AC in dem Punkte H schneiden soll. Durch diesen Punkt H ziehe man eine auf AC senkrechte, also mit DE parallele Gerade D′E′. Man nehme ferner in der Linie AC von dem Punkte H aus die Linie HO genau so groß, als jene Senkrechte HP war, und ziehe aus dem so bestimmten Punkte O, als aus einem Mittelpunkte, mit irgend einem willkührlichen Halbmesser, z. B. mit dem Halbmesser OH den Halbkreis MHN. Theilt man dann die Peripherie dieses Kreises von dem Punkte H aus, zu beiden Seiten desselben, in sechs gleiche Theile, und zieht durch die Theilungspunkte a, b, c .. die Halbmesser Ca, Cb, Cc... und verlängert dieselben, bis sie die oben erwähnte Gerade D′E′ in den Punkten a′, b′, c′... schneiden, so hat man nur diese Punkte a′, b′, c′... mit dem oben gewählten Punkte C durch die geraden Linien Ca′XI, Cb′X, Cc′IX

u. s. w. zu verbinden, um die gesuchten Schattenlinien zu erhalten, auf welche nämlich der Schatten des Stiftes, der auf die oben erwähnte Weise in der Tafel befestiget wurde, in den Augenblicken fallen wird, wann es 11, 10, 9.. Uhr wahre Zeit Morgens ist. Eben so erhält man auf der andern Seite von AC die Schattenlinien für 1, 2, 3... Uhr Abends, und wenn man die Peripherie des Halbkreises MHN, statt wie zuvor in 12, genau in 24 oder in 48 gleiche Theile theilt, so erhält man auch die Schattenlinien für die Halben- und Viertelstunden zwischen jenen bereits gefundenen ganzen. Hat man die Tafel groß genug gewählt, so wird man selbst noch kleinere Theile der Stunde mit Sicherheit auf ihr eintragen können. — Eine solche Sonnenuhr wird eine Horizontaluhr genannt, weil sie auf eine horizontale Tafel verzeichnet ist. Stellt man in der That diese Tafel mittelst einer Libelle (§. 178) genau horizontal, und die Linie AC in die Richtung der Mittagslinie, so daß C auf der Nordseite liegt, so wird der Schatten des Stiftes CP oder CQ, so oft er von der Sonne beschienen wird, auf der bezeichneten Tafel die wahre Zeit angeben.

§. 186. (Horizontale Sonnenuhr: zweite Methode.) Obschon die angeführte Verzeichnung einer solchen Uhr von Jedermann leicht ausgeführt werden kann, so gibt es doch noch eine einfachere Art, eine Horizontaluhr zu construiren.

Beide Methoden beruhen im Grunde auf der Auflösung von zwei ebenen Dreiecken, durch die man ohne Mühe findet, daß die Tangente des Winkels ACa′ oder ACb′.. der Schattenlinie Ca′ oder Cb′.. mit der Mittagslinie CA der Uhr für jeden gegebenen Stundenwinkel der Sonne, gleich ist der Tangente dieses Stundenwinkels multiplicirt in den Sinus der Polhöhe des Ortes, in welchem man die Sonnenuhr errichten will. Sucht man z. B. den Winkel ACM oder ACN für den Stundenwinkel von 30°, oder von 2 Stunden vor oder nach dem Mittage für die Polhöhe von 50°, so findet man die Tangente von 30° gleich 0.57735 und den Sinus von 50° gleich 0.76604. Beider Produkt gibt 0.44227 für die Tangente des gesuchten Winkels ACM, welcher Winkel daher gleich 23° 51′ 31″ ist, und so fort für alle übrigen Stundenwinkel. Hat man so diese Winkel ACa′, ACb′,.. für alle einzelnen Stundenwinkel berechnet, so wird man sie mittelst des sogenannten Transporteurs an die Seite CH rechts und links von derselben auf die Tafel auftragen, und die Sonnenuhr wird vollendet seyn.

Da ich aber, dem Zwecke dieser Schrift gemäß, jene Rechnungen, so einfach sie auch seyn mögen, nicht als bekannt voraussetzen darf, so wollen wir sie, durch Hülfe einer bereits voraus berechneten Tafel, unsern Lesern ganz entbehrlich machen.

Ist nämlich wieder CDE (Fig. 104) die oben erwähnte horizontale Tafel, so ziehe man, wie dort, durch den willkührlichen Punkt C die Gerade CA und darauf senkrecht die Linie DAE. In der Linie CA errichte man, senkrecht auf die Tafel, das Dreieck GCP, dessen Winkel bei C gleich der Polhöhe ist, und befestige dann, in dem Punkte C, nach der Richtung der Seite CP den Stift CQ. Endlich theile man die gerade Linie CA in 1000 gleiche Theile, und trage auf der Linie DAE, zu beiden Seiten von A, so viele dieser Theile auf, als die folgende Tafel für jeden Stundenwinkel angibt, wodurch man die Punkte a, b, c.. und a′, b′, c′.. erhält, die, mit C verbunden, die gesuchten Schattenlinien Ca, Ca′, Cb, Cb′.. der Horizontaluhr geben.

Wollte man also eine solche Uhr, z. B. für Weimar errichten, so wird man, da die geographische Breite dieser Stadt 51° beträgt, von

den 1000 gleichen Theilen der Linie CA, 208 von A nach a und nach a' tragen, um die Schattenlinien für die erste Stunde vor und nach Mittag zu erhalten. Nimmt man eben so Ab = Ab' = 449 solcher Theile, so erhält man die Schattenlinien für zehn Uhr vor und für zwei Uhr nach dem Mittage, und so fort für alle übrigen Stunden und Unterabtheilungen derselben.

Die folgende Tafel erstreckt sich über den größten Theil Deutschlands.

Wahre Zeit.	Geographische Breite.						
	47°	48°	49°	50°	51°	52°	53°
0 St. 0 M.	0	0	0	0	0	0	0
0 » 30 »	96	98	99	101	102	104	105
1 » 0 »	196	199	202	205	208	211	214
1 » 30 »	303	308	313	317	322	326	331
2 » 0 »	422	429	436	442	449	455	461
2 » 30 »	561	570	579	588	596	605	613
3 » 0 »	731	743	755	766	777	788	799
3 » 30 »	953	968	984	998	1013	1027	1041
4 » 0 »	1267	1287	1307	1327	1346	1365	1383
4 » 30 »	1766	1794	1822	1849	1876	1902	1928
5 » 0 »	2729	2773	2817	2859	2900	2941	2981
5 » 30 »	5555	5645	5733	5819	5903	5985	6066

Für sechs Uhr Morgens oder Abends ist die Entfernung des Durchschnittspunktes der Schattenlinien mit der Linie DAE, von A an gezählt, unendlich groß, d. h. diese Schattenlinie fällt in die durch C mit DE parallel gezogene Linie VI, VI. Will man dann noch die übrigen weiter gegen Morgen oder gegen Abend fallenden Schattenlinien auf der Tafel verzeichnen, so wird man nur die bereits erhaltenen Schattenlinien rückwärts über C hinaus verlängern. So gehört z. B. die Schattenlinie C.IX für 9 Uhr Morgens, also auch ihre Verlängerung auf der anderen Seite von C für 9 Uhr Abends, und eben so wird die Linie C.III verlängert die Schattenlinie für 3 Uhr Morgens geben, wo man diese Linien offenbar nicht weiter fortsetzen wird, als die größte halbe Tageslänge des Orts beträgt, die wir oben (I. §. 88) in einer eigenen Tafel angegeben haben.

§. 187. (Sonnenuhr für jede gegebene Fläche.) So einfach die vorhergehenden Vorschriften zur Verzeichnung einer Sonnenuhr auf einer ebenen horizontalen Tafel jedermann erscheinen werden, so wird man doch schon ohne ausdrückliche Erinnerung bemerken, daß die Construction einer Sonnenuhr auf irgend einer anderen, schief gegen den Horizont und gegen den Meridian gestellten Ebene, z. B. auf der Ebene einer senkrechten Mauer oder auf der eines schief liegenden Daches sehr zusammen gesetzt werden kann, und noch mehr werden sich die Schwierigkeiten häufen, wenn eine Sonnenuhr auf irgend einer krummen Fläche, z. B. auf der Seitenwand eines runden Thurms oder auf einem runden Kuppeldache verzeichnet werden soll. Alle diese Uhren werden mit der vorhergehenden Horizontaluhr bloß darin überein kommen, daß der Stab, dessen Schatten die Stunde anzeigt, immer der Weltaxe parallel gestellt

werden soll, da dieß, wie wir oben gesehen haben, die Hauptbedingung ist, die jeder Zeitbestimmung dieser Art zu Grunde liegen muß. Die Verzeichnung der Schattenlinien aber wird bei diesen Uhren, je nach der Stellung und Krümmung der Flächen, auf welchen sie verzeichnet werden sollen, für jede Uhr eine andere seyn.

Allein ohne uns hier in die oft sehr verwickelten Regeln einzulassen, die man bei der Construction einer solchen Uhr zu beobachten hat, wollen wir vielmehr ein Mittel suchen, die Horizontaluhr, die wir nach dem Vorhergehenden als bereits construirt, und mit der größten Sorgfalt ausgeführt voraussetzen, auf jene ebene oder krumme Fläche aufzutragen oder gleichsam zu projiciren.

Zu diesem Zwecke wird man die bereits verfertigte, und zur größeren Genauigkeit in einem bedeutenderen Maaßstabe ausgeführte Horizontaluhr auf einen festen Tisch unmittelbar vor jener Fläche, z. B. vor jener Wand anbringen, auf welcher man die neue Uhr verzeichnen will. Auf diesem Tische stellt man dann die Tafel der Horizontaluhr, mittelst einer Libelle horizontal, und überdieß die Linie CA (Fig. 103 und 104) genau in die Mittagslinie, so daß der Punkt C nach Süd und der Punkt A genau nach Nord steht. Am einfachsten wird man dieß letzte, wenn man nicht schon eine verläßliche und genaue Pendel- oder Taschenuhr hat, erreichen, wenn man mit Hülfe des bereits oben erwähnten Gnomons den Augenblick bemerkt, wo der Schatten der verticalen Stange auf das schon durch frühere Beobachtungen bekannte Zeichen des Mittags fällt, und wenn man, in diesem Augenblicke, die immer horizontale Tafel der Uhr so dreht, daß der Schatten ihres Stiftes CQ genau auf die Schattenlinie CA der zwölften Stunde der Horizontaluhr fällt.

In dieser Lage ist also die Horizontaluhr auf ihrem Tische vollkommen orientirt. Verlängert man nun, etwa durch einen gespannten Faden den Stiel CQ der Horizontaluhr, bis dieser Faden die Wand, auf welcher die neue Uhr verzeichnet werden soll, in einem Punkte R trifft, so wird man in diesem Punkte R der Wand einen Stiel, z. B. eine Stange von Eisen so befestigen, daß er dem gespannten Faden genau parallel wird. Da sonach dieser Stiel auch der Weltaxe parallel ist, so wird er der Stiel der neuen Uhr seyn.

Auf dieselbe Weise, wie man den Stiel der Horizontaluhr verlängert hat, wird man aber auch die Schattenlinien derselben verlängern können, indem man nämlich den in C (Fig. 103 und 104) befestigten Faden von seiner ersten Lage CQ abhebt, und ihn in die Lage CA, Ca', C'b' . . der Schattenlinien der Horizontaluhr für 12, 11, 10 Uhr u. s. f. bringt, ihn in dieser Lage spannt, und die Punkte r, r', r'' . . der Wand bemerkt, in welchem der so gespannte Faden die Wand trifft. Verbindet man dann diese Punkte r, r', r'' .. der Wand mit dem vorigen Punkte R derselben durch die geraden Linien Rr, Rr', Rr'' . ., so erhält man sofort auch die Schattenlinien der neuen Uhr für 12, 11, 10 .. Uhr und sofort für jede andere Stunde des Tages.

Dieß setzt voraus, daß die Wand, auf welcher die neue Sonnenuhr verzeichnet werden soll, eine Ebene, z. B. die senkrechte Wand eines Hauses oder die ebene Fläche irgend eines Daches ist, denn nur dann werden schon zwei Punkte wie R und r oder wie R und r' u. s. hinreichen, die gerade Linie, d. h. die Schattenlinie der Uhr zu bestimmen. Ist aber diese Wand eine krumme Fläche, z. B. die Oberfläche eines cylindrischen oder kegelförmigen Gebäudes, so sind die Schattenlinien einer solchen Wand nicht mehr gerade, sondern ebenfalls krumme Linien, zu deren Verzeichnung jene zwei Punkte nicht mehr hinreichen.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Allein in diesem Falle kann man sich eines sehr einfachen Mittels bedienen, diese krumme Schattenlinien unmittelbar zu finden. Dieses Mittel läßt sich auch eben so bequem und sicher zugleich bei ebenen Wänden anbringen, und es hat noch den Vortheil, daß man die neue Sonnenuhr selbst ohne Hülfe der Sonne oder zur Nachtzeit verzeichnen kann. Dieses Mittel besteht in einer Lampe, deren Licht man in einer beträchtlichen Entfernung von der Horizontaluhr aufstellt. Am besten wird man eine solche Lampe wählen, die ihr Licht nicht durch ein gewöhnliches Fensterglas, sondern durch eine Glaslinse schickt, in deren Brennpunkte die Flamme der Lampe steht. Dann werden nämlich die von der Flamme auf die Linse fallenden Strahlen, nach der Brechung durch diese Linse, unter sich parallel auf die Horizontaluhr treten, wie dieß auch mit den Strahlen der Sonne der Fall ist, und man wird daher eine solche Lampe auch ganz nahe an die Horizontaluhr halten können, um den Schatten des neuen Stiels auf der krummen Wand desto deutlicher zu sehen. Hält man nun diese Lampe so, daß der Stiel CQ der Horizontaluhr nach und nach auf die Schattenlinien CA, Ca', Cb' .. derselben für 12, 11, 10 .. Uhr fällt, so wird auch der Schatten des neuen Stiels auf der krummen Wand diejenigen krummen Linien angeben, auf welche der Schatten dieses neuen Stiels, wenn er von der Sonne beschienen wird, um 12, 11, 10 .. Uhr fallen wird, und sofort für alle übrigen Stunden des Tages, so daß man also nur, für jede jener Lagen der Lampe, den Schatten des neuen Stiels auf der krummen Wand, seiner ganzen Länge nach, anzeichnen darf, um sofort auch die entsprechenden Schattenlinien der neuen Sonnenuhr zu erhalten.

§. 188. (Meridiankreis.) Wir haben in dem Vorhergehenden die vorzüglichsten Mittel angezeigt, durch welche man die Zeit einer jeden Beobachtung bestimmen kann. Man wird von selbst bemerken, daß diese Mittel nicht alle von gleichem Werthe sind, und daß es z. B. dem gegenwärtigen Zustande der Wissenschaft ganz unangemessen wäre, wenn irgend ein Astronom seine Zeit durch eine Sonnenuhr bestimmen wollte, da die Construction derselben, so viel Sorgfalt man auch darauf verwendet haben mag, doch nie die Genauigkeit gewähren kann, die von den astronomischen Beobachtungen in unseren Tagen gefordert wird. Im Gegentheile ist das Mittagsrohr ohne Zweifel das beste und sicherste Mittel, nicht bloß zu einer genauen Bestimmung der Zeit, sondern auch zur Beobachtung der Rectascension der Gestirne.

Allein durch diese Rectascension wird der Ort eines Gestirns am Himmel noch nicht vollständig angegeben, indem alle andern, die in demselben Declinationskreise (Einl. §. 13) mit jenem liegen, auch eine mit ihm gemeinschaftliche Rectascension haben. Es ist daher noch erforderlich, daß der Astronom auch, nebst der Rectascension, die Declination jedes Gestirns durch seine Beobachtungen bestimme, um dadurch die Lage desselben, und zwar gegen den Aequator vollständig anzugeben.

Wir haben zwar bereits oben (I. §. 46) gezeigt, wie man zu diesem Zwecke den Quadranten gebrauchen kann, wenn man ihn in der Ebene des Meridians aufstellt. Wenn man nämlich die Polhöhe seines Beobachtungsortes, nach der ebendort auseinander gesetzten Methode, durch frühere Beobachtungen bereits bestimmt hat, so wird man nur von jeder, in dem Meridian mittelst des Quadranten beobachteten Höhe eines Gestirns die Aequatorhöhe des Beobachtungsortes subtrahiren, um sofort die gesuchte Declination des Gestirns zu erhalten. Allein wir haben auch bereits erinnert, daß der Quadrant, selbst der Mauerquadrant, seiner ganzen Einrichtung nach, nicht so verläßliche Resultate darbietet,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

oder daß er die gesuchten Höhen der Sterne nicht mit der Schärfe zu geben im Stande ist, die man dem gegenwärtigen Bedürfnisse der so sehr verfeinerten Beobachtungskunst angemessen nennen kann.

Man mußte daher auf ein anders eingerichtetes Instrument bedacht seyn, welches diese Höhe, und dadurch die Declinationen der Gestirne mit einer größeren Sicherheit geben kann. Auch dieses Instrument ist von demselben dänischen Astronomen Römer, der das Mittagsrohr erfunden hat, und zwar nahe zu gleicher Zeit ausgedacht worden. Es besteht, um es am einfachsten zu sagen, in einem, mit einem Fernrohre versehenen und auf das genaueste eingetheilten Kreise, dessen Ebene sich in der Ebene des Meridians befindet.

Es wurde oben gesagt, daß an der Drehungsaxe AB des Mittagsrohrs CD (Fig. 101) eine Alhidade Ao befestiget ist, die während der Drehung des Fernrohrs auf einem, an dem Pfeiler P befestigten Halbkreise mn auf und nieder geht, und daß man dadurch die Höhe findet, auf welche man das Fernrohr stellen soll, damit der verlangte Stern im Felde dieses Fernrohrs erscheine. Zu diesem Zwecke war es genug, jenen Kreis nur klein, etwa von einem Fuß im Durchmesser zu machen, und seinen Umfang bloß von fünf zu fünf Minuten zu theilen, da man durch diesen Kreis, nicht etwa die Höhe der durch den Meridian gehenden Sterne genau messen, sondern nur überhaupt diese Sterne in dem Fernrohre zu dem Gesichte des Beobachters bringen will, um dann die Rectascension derselben genau beobachten zu können. Wollten wir daher auch die Höhen, oder, was für Meridianbeobachtungen dasselbe ist, die Declinationen dieser Sterne, mit derselben Genauigkeit an diesem Instrumente bestimmen, so dürfte man nur diesen Kreis mn größer machen, genau eintheilen, und überhaupt auf seine Construction alle die Sorgfalt verwenden, welche der neue Zweck, zu dem er nun bestimmt ist, nothwendig macht.

Auf diese Weise also entstand der Meridiankreis, den man in seinen vorzüglichsten Theilen in der Fig. 105, und zwar so abgebildet sieht, wie man jetzt in Deutschland dieses Instrument nach Reichenbachs Angabe zu verfertigen pflegt.

Man bemerkt hier wieder, wie bei dem Mittagsrohre, die auf den beiden Pfeilern P und Q ruhende horizontale Drehungsaxe AB, in deren Mitte das darauf senkrechte Fernrohr CD angebracht ist. Die beiden Enden A und B dieser Drehungsaxe sind mit ihren Pfeilern durch zwei Metallstücke in Verbindung, deren jedes aus zwei starken Platten besteht. Die erste, dem Pfeiler nächste Platte ist unmittelbar an dem Pfeiler fest, und die andere, welche die eigentlichen Lager trägt, auf welchen die cylindrischen Enden der Rotationsaxe aufliegen, lassen sich an den ersten Platten durch Schrauben bewegen, und zwar die eine auf und nieder, um dadurch die Rotationsaxe mittels der Libelle horizontal zu stellen, und die andere im Horizonte vor- und rückwärts, um dadurch diese Axe senkrecht auf den Meridian oder das Fernrohr CD in die Ebene des Meridians zu bringen.

An dem einen Ende der Rotationsaxe sind zwei concentrische, zu dieser Axe senkrechte Kreise mn angebracht. Die Peripherien dieser beiden in einer Ebene liegenden Kreise sind einander so nahe, daß sie sich beinahe berühren, und daß ein unbewaffnetes Auge nur mit Mühe die Gränze unterscheidet, die sie von einander trennt. Der größere oder äußere dieser beiden Kreise ist an seinem mit Silber eingelegten Limbus in Grade und Minuten eingetheilt, und dieser Kreis ist mit der Rotationsaxe fest und unveränderlich verbunden, so daß er sich, wie das

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Fernrohr, zugleich mit dieser Axe dreht. Der kleinere oder innere Kreis, der auch die Alhidade genannt wird, trägt an vier Orten seines Limbus, von welchen Orten je zwei einander gegenüber stehen, einen Vernier, um dadurch, wie wir weiter unten sehen werden, die Minuten des andern Kreises noch weiter unterzutheilen, so daß man jetzt mit Hülfe beider Kreise unmittelbar zwei Secunden lesen, und selbst die einzelne Secunde meistens noch mit Sicherheit schätzen kann. Statt dieses Verniers können wir hier einstweilen eine einfache, feine gerade Linie substituiren, die am Rande des innern Kreises, an vier Orten desselben, in der Richtung des Halbmessers gezogen ist, und mittelst welcher man die Lage des äußern Kreises gegen den festen inneren, auf diesem letzten ablesen kann. Dieser zweite Kreis oder die Alhidade ist nicht wie der erste, an der Drehungsaxe AB, sondern er ist an dem Pfeiler P befestiget, und bleibt daher, auch während der Drehung des ersten Kreises, fest und unveränderlich stehen. Die Oeffnung im Mittelpunkte dieser Alhidade ist nämlich etwas größer, als das Ende A der Drehungsaxe, damit diese frei durch jene Oeffnung gehen kann. Die Befestigung der Alhidade an dem Pfeiler aber wird durch die starke metallene Vorrichtung ab bewirkt. Der Theil a dieser Vorrichtung ist ein starkes, in den Pfeiler fest eingemachtes Eisenstück, und der Theil b ist eine solide Platte von Messing, die an ihrem obersten Theile mit dem Mittelpunkte der Alhidade durch Schrauben fest verbunden ist. Beide Theile sind bei c mit einander durch eine feine Schraube in Verbindung gebracht. Um sich von der unveränderlichen Lage der Alhidade zu versichern, wird an die Speichen derselben, bei d, eine Libelle befestiget. Wenn sich diese Libelle durch irgend eine kleine Verstellung der Alhidade ändert, so wird, durch die erwähnte feine Schraube bei c, die Alhidade in ihrer Ebene bewegt, bis die Blase jener Libelle wieder den frühern Ort, also auch die Alhidade selbst wieder ihre erste Stelle einnimmt.

Eine ähnliche Vorrichtung hat man auch an dem andern Ende B der Rotationsaxe. Man sieht hier das in dem Pfeiler Q befestigte Eisenstück a', und die solide Platte b' von Messing. Diese Platte umgibt in ihrem obern Theile bei d' die Rotationsaxe frei, so daß diese ungehindert durch die etwas größere Oeffnung der Platte gehen kann. Allein durch die Mitte dieser Platte und längs der Richtung c'd' geht eine metallene Stange, deren unteres Ende bei c' in einer Schraubenmutter lauft, und mit einer granulirten kleinen Scheibe versehen ist, die man bei h sieht, mittels welcher man jene Stange bequem drehen kann. Bewegt man diese Schraube h rückwärts, so geht das obere Ende d der Stange herab, und läßt die Rotationsaxe ganz frei, daher man jetzt diese Axe mit dem Fernrohre und dem an sie befestigten äußern Kreise frei drehen, und das Fernrohr nahe auf den eben zu beobachtenden Stern so stellen kann, daß er wenigstens in dem Felde des Fernrohrs erscheine. Hat man dieß erlangt, so wird man nun noch das Fernrohr sammt seinem äußeren Kreise etwas weniger sanft bewegen müssen, um nun auch den horizontalen Faden im Brennpunkte des Fernrohrs (vergleiche oben) ganz genau auf das Gestirn zu stellen. Um dieß mit Sicherheit zu bewirken, schraubt man zuerst die Stange durch ihre vertikale Schraube h wieder aufwärts, wodurch der obere Theil d' dieser Stange an die Rotationsaxe angedrückt, und dadurch diese Axe, sammt Kreis und Fernrohr, gleichsam festgestellt wird, und jetzt kann man, mittels einer anderen feinen, horizontalen Schraube fe', deren granulirte Scheibe bei f ist, die Platte c'd', also auch die jetzt an sie gleichsam befestigte Rotationsaxe sehr sanft und so lange bewegen, bis der Stern

von dem horizontalen Faden des Fernrohrs bedeckt wird. In diesem Zustande liest man den Ort der vier Verniere der Alhidade an dem äußern Kreise ab, und das Mittel aus diesen vier Ablesungen gibt die gesuchte, beobachtete Höhe des Sterns.

Bei der vorhergehenden Beschreibung des Meridiankreises sind noch mehrere kleine Einrichtungen, der Kürze und der leichteren Uebersicht wegen, übergangen worden, die von dem Künstler an dem Instrumente angebracht wurden, um dadurch die Sicherheit und Bequemlichkeit der Beobachtungen zu erhöhen. Hier mögen die beiden folgenden Bemerkungen, als ein ergänzender Nachtrag des Vorhergehenden, genügen. Erstens ist die Rotationsaxe ihrer Länge nach, und auch der Pfeiler in der Richtung dieser Axe ausgehöhlt, um durch eine, an der andern Seite des Pfeilers aufgestellte Lampe das Innere des Fernrohrs zu erhellen, und die feinen Fäden im Brennpunkte desselben, während der nächtlichen Beobachtungen, sichtbar zu machen. Da diese Vorrichtung schon bei der Zeichnung (Fig. 101) des Mittagsrohrs angezeigt wurde, so schien es unnöthig, sie hier zu wiederholen. Zweitens ist es nicht genug, daß ein Instrument irgend einer Art bloß so gut als möglich aus der Hand des Künstlers hervorgeht, es muß auch für längere Zeit, für viele Jahre in seinem ersten guten Zustande bleiben, ohne sich zu früh abzunutzen und dadurch unbrauchbar zu werden. Vor allem wird es nöthig seyn, dafür zu sorgen, daß die cylindrischen Enden A und B der Rotationsaxe durch das große Gewicht des Instrumentes, bei dem häufigen Gebrauche desselben, nicht abgerieben werden und dadurch ihre ursprüngliche Gestalt verändern, wo dann die Hauptbedingungen des Instruments verloren gehen und das Fernrohr sich nicht mehr in der Ebene des Meridians bewegen, sondern bald zu der einen, bald zu der andern Seite von ihm abweichen würde, je nachdem verschiedene Theile dieser abgenützten cylindrischen Zapfen mit ihren Unterlagen in Berührung kommen. Dieses zu verhüten, dient, auf der Seite B der Axe, die metallene Stange r, die an ihrem untern Ende in einen Ring ausläuft. Die Oeffnung dieses Rings ist bedeutend größer, als die Dicke der Axe an diesem Orte und an dem innern Rande dieses Ringes, in dem untern Theile desselben, bei p und q sind zwei kleine kreisförmige Scheiben, sogenannte Frictionsräder angebracht, die sich um ihre Axe bewegen und mit ihrem oberen Theile etwas über die innere Fläche des Rings hervorstehen. Der oberste Theil dieser vertikalen Stange r hat eine Oeffnung, in welche das eine Ende einer andern horizontalen Stange u eingreift, während an dem anderen Ende dieser Stange ein daselbst verschiebbares, mit Blei gefülltes Gewicht R' angebracht wird. Diese Stange wird durch einen Stift u gehalten, der durch die auf dem Pfeiler Q befestigte Säule s getragen wird. Auf diese Weise bilden die beiden Stangen r und u einen Hebel, dessen Unterlage der Stift u, dessen Kraft das Gewicht R' und dessen Last die Schwere der ihm zugewendeten Hälfte des Instruments ist, und man sieht leicht, daß man das Gewicht R' so lange von dem Unterstützungspunkte u entfernen kann, bis der von beiden Körpern beschwerte Hebel sehr nahe im Gleichgewichte ist, oder bis das Instrument, statt mit seiner ganzen früheren Last, nur mehr mit einem so geringen Theile derselben auf seinem Lager bei B aufliegt, daß es nur eben nicht frei in der Luft schwebt. Dieselbe Vorrichtung sieht man auch an dem anderen Ende A der Rotationsaxe; durch eine gehörige Stellung der beiden Gegengewichte R und R' werden die verticalen Stangen r so erhöht, daß die oben erwähnten beiden Frictionsrollen p und q in ihren oberen Theilen den untern Theil der Axe berühren, und

daß nun diese Axe auf den vier Rollen ihrer beiden Hebel, wie auf den Rädern eines Wagens hin und her gedreht werden kann, während das ganze schwere Instrument vielleicht nur mehr mit dem tausendsten Theile seines eigentlichen Gewichtes auf den cylindrischen Endpunkten dieser Axe ruht. Ein ähnliches Gegengewicht sieht man auch in S, welches bestimmt ist, die Schwere der auf seiner Seite stehenden Kreise auf dieselbe Art zu balanciren. Da man, wie wir bald sehen werden, dieses Instrument öfters umkehren muß, so daß diese Kreise bald auf der Seite des Pfeilers P, bald auf jener von Q zu liegen kommen, so muß jeder Pfeiler zwei Säulen tragen, von welchen die eine s für die Axe und die andere t für die beiden Kreise bestimmt ist.

§. 189. (Rectification des Meridiankreises.) Da dieses Instrument nicht nur die Rectascensionen, wie das Mittagsrohr, dem es so ähnlich ist, sondern auch die Höhen der Gestirne, während ihres Durchganges durch den Meridian, anzeigen soll, so werden, für die Rectification desselben zuerst alle diejenigen Vorschriften gelten, die wir schon oben §. 178 bei dem Mittagsrohre angeführt haben und die daher hier keiner neuen Aufzählung bedürfen.

I. Um die gleiche Größe und Lage der cylindrischen Zapfen A und B der Rotationsaxe zu prüfen, kann man, für verschiedene Stellungen des Fernrohrs über dem Horizonte, die Hänglibelle mit ihren Hacken an diesen Zapfen einhängen und zusehen, ob die Blase der Libelle immer dieselbe Lage beibehält. Man stellt z. B. das Fernrohr horizontal, das Objektiv D nach Süden, während der Kreis mn auf der Seite des östlichen Pfeilers P steht. Hängt man bei diesem Stande des Instruments die Libelle zweimal, in verkehrter Lage, an die Axe, so sey z. B. 10 die halbe Differenz der beiden Lesungen. Man kehre nun das Instrument um, so daß der Kreis mn auf den westlichen Pfeiler Q komme und stelle das Fernrohr wieder horizontal, aber das Objektiv nach Nord und hier sey, nach der doppelten Einhängung der Libelle, die halbe Differenz der zwei Lesungen gleich 22. Daraus folgt, daß die Libelle bei der ersten Lage des Instruments um $^1/_2$ (22 — 10) oder um 6 Theilstreiche anders stand als bei der zweiten. Beträgt nun, wie oben (§. 128) der Theilstrich $^2/_3$ Secunden, so macht dieser Unterschied der beiden Lagen der Rotationsaxe 6mal $^2/_3$ oder 4 Secunden, zum Zeichen, daß entweder die beiden Zapfen der Axe von der genauen cylindrischen Gestalt abweichen, oder daß die Axen dieser Cylinder nicht ganz scharf in einer geraden Linie liegen.

II. Um die Gleichheit der Durchmesser dieser Cylinder zu untersuchen, wiederhole man die so eben erwähnten Operationen mit der Libelle, doch so, daß das Objektiv des Fernrohrs, in beiden Lagen des Instruments, immer nach derselben Seite, z. B. immer nach Süd gerichtet wird; findet man in der ersten Lage jene halbe Differenz z. B. 15 gegen Ost und in der zweiten 5 gegen West, so ist die Summe dieser Zahlen 20, und diese durch $^2/_3$ multiplicirt, gibt 13.3 Secunden für die gesuchte Ungleichheit der Durchmesser jener Cylinder. Sollten aber beide halbe Differenzen östlich oder beide westlich gefunden werden, so würde man die Differenz jener zwei Zahlen nehmen und dadurch 10mal $^2/_3$ oder 6.3 für die Ungleichheit der Cylinderdurchmesser erhalten.

III. Wenn der äußere Kreis mn mit dem inneren nicht genau concentrisch liegt, so wird die Ablesung der beobachteten Höhen der Sterne dadurch geändert oder sie wird fehlerhaft seyn. Allein diesem Fehler kann man sehr leicht dadurch begegnen, daß man an zwei einander diametral gegenüber liegenden Vernieren abließt, wofür der Künstler schon

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gesorgt hat, indem er die oben erwähnten vier Verniere unter rechten Winkeln gegen einander stellte.

IV. In den neueren Zeiten hat man auch diejenigen Fehler zu berücksichtigen gesucht, welche aus der Wirkung der Schwere auf Fernrohr und Kreis, bei den verschiedenen Lagen derselben, entstehen. Zu diesem Zwecke beobachtet man einen Circumpolarstern in seiner oberen sowohl, als auch in seiner unteren Conjunktion und zwar in jeder zweimal, indem zuerst der Kreis mn östlich, und dann westlich von dem Fernrohre steht.

Allein die an diesen Instrumenten angebrachten Fernröhre sind so lichtstark, daß man damit nicht nur die Fixsterne der zweiten und dritten Größe, wie den Polarstern bei Tage, sondern daß man auch das Bild dieser Sterne in einem Spiegel durch diese Fernröhre sehr gut sehen kann. Man wählt dazu gewöhnlich eine mit Quecksilber gefüllte Schale, weil die Oberfläche dieses Metalls sehr gut spiegelt und weil sie, wie überhaupt alle Flüssigkeiten, im ruhenden Zustande eine genau horizontale Lage einnimmt. Wenn man aber das Bild eines Sterns in einen vor das Objektiv gestellten horizontalen Spiegel beobachtet und dann wieder das Fernrohr unmittelbar, wie bei den gewöhnlichen Beobachtungen, auf den Stern selbst wendet, so durchläuft das Fernrohr, zwischen diesen beiden Beobachtungen, an dem Kreise einen Winkel, der genau gleich der doppelten Höhe dieses Sterns ist. Denn da, nach dem bekannten optischen Gesetze, der Reflexionswinkel des von dem Spiegel zurückgeworfenen Lichtstrahls gleich dem Einfallswinkel des unmittelbar von dem Stern kommenden Strahls ist, so sieht man das Bild des Sterns im Spiegel genau ebenso tief unter dem Horizonte, als man den Stern selbst über dem Horizonte erblickt.

Beobachtet man daher dieses Bild des Polarsterns, sowie früher ihn selbst, ebenfalls in beiden Culminationen und in beiden Lagen des Kreises mn, so erhält man dadurch acht Beobachtungen, aus welchen man, durch eine zweckmäßige Combination derselben, jene Beugung des Instrumentes finden kann, die aus der verschiedenen Einwirkung der Schwere auf die einzelnen Theile desselben entsteht.

§. 190. (Gebrauch des Meridiankreises.) Da dieses Instrument, wie bereits gesagt, zugleich ein Mittagsrohr ist, so wird man die Beobachtungen der Durchgänge der Sterne an den vertikalen Fäden des Fernrohrs ganz ebenso anstellen, wie oben (§. 181) bei dem Mittagsrohre gesagt worden ist, und dadurch entweder die Correction der Uhr, wenn die Rectascension des Sterns bekannt ist, oder diese Rectascension finden, wenn der Stand und Gang der Uhr bereits durch andere vorhergehende Beobachtungen an diesem Instrumente gegeben ist.

Allein der Meridiankreis soll, nebst den Rectascensionen, auch die Höhen der durch ihn in dem Meridian beobachteten Gestirne geben, zu welchem Zwecke er mit dem oben beschriebenen, auf seine Drehungsaxe senkrechten und auf das Genaueste eingetheilten Kreise versehen ist. Wenn nun der Nullpunkt des Kreises, wo die auf ihm verzeichnete Reihe der Grade eben anfängt, von dem Künstler schon genau in denjenigen Punkt der Peripherie gesetzt worden wäre, der bei dem zwischen seinen Pfeilern aufgestellten Kreise dem Horizonte entspricht, wenn nämlich derjenige Durchmesser desselben, der durch die Punkte 0° und 180° geht, in dem Horizonte läge, und daher der durch 90° und 270° gehende Durchmesser auf dem Horizonte senkrecht stünde, so würde man nur den horizontalen Faden des Fernrohrs auf den durch den Meridian gehenden Stern stellen, und die Verniere des Kreises ablesen, um auch sofort schon die

gesuchte Meridianhöhe des Sterns zu erhalten. Allein der Künstler hat das nicht gethan und kann es auch nicht thun, so wenig, daß er vielmehr jenen Nullpunkt der Theilung ganz willkührlich nehmen und es dem Beobachter überlassen muß, zu suchen, wie viel er ihn unrecht genommen hat. Man pflegt dieß den Collimationsfehler des Instruments zu nennen, so daß also, wenn der eigentliche Horizontalpunkt des Kreises, nicht wie er sollte, auf 0°, sondern z. B. auf 10° 20′ 30″ fallen sollte, der Collimationsfehler desselben gleich diesem Bogen seyn würde, wo man also dann von jeder an dem Instrumente abgelesenen Höhe nur wieder diesen constanten Fehler 10° 20′ 30″ zu subtrahiren haben würde, um sofort die wahre beobachtete Höhe zu erhalten.

Wie findet man aber diesen Collimationsfehler? — Diese Frage ist für den Beobachter von der größten Wichtigkeit, da man, ohne die Kenntniß dieses Fehlers, wie man sieht, eigentlich gar nicht beobachten kann.

§. 191. (Den Horizontalpunkt des Kreises zu finden.) Ein Mittel zu diesem Zwecke haben wir im Grunde schon in dem vorhergehenden §. 189 kennen gelernt.

Beobachtet man nämlich ein Gestirn zur Zeit seiner Culmination zuerst unmittelbar, indem man das Fernrohr auf die gewöhnliche Weise auf dasselbe richtet, und beobachtet man es auch in dem Spiegel eines Quecksilberhorizontes, indem man das Fernrohr auf das Bild des Gestirnes in diesem Spiegel richtet, so erhält man dadurch, wie wir gesehen haben, einen von dem Fernrohre auf dem eingetheilten Limbus des Kreises durchlaufenen Bogen, der genau gleich der doppelten Höhe des Gestirns über dem Horizonte des Beobachters ist, so daß also die Mitte dieses Bogens der gesuchte Horizontalpunkt des Kreises seyn wird. Hätte man z. B. die direkte von der Refraction (I. §. 185) befreite Höhe eines Sterns gleich 102°, und die im Spiegel reflectirte gleich 48° gefunden, so würde die wahre Höhe desselben gleich der halben Differenz dieser Zahlen oder gleich 27° und der Collimationsfehler gleich der halben Summe derselben oder gleich 75° seyn, so daß man also von jeder an diesem Instrumente direkt beobachteten Höhe den Collimationsfehler 75° subtrahiren muß, um die wahre Höhe des Gestirns zu erhalten.

Ohne Hülfe eines solchen Spiegels kann man den Collimationsfehler des Kreises auch dadurch finden, daß man ein Gestirn zweimal direkt, aber in verkehrten Lagen des Kreises beobachtet. Gesetzt man hätte in der ersten Lage des Instruments, wo der Kreis mn z. B. gen Ost oder an der Seite des östlichen Pfeilers P stand, wenn man den horizontalen Faden des Fernrohrs auf ein Gestirn richtet, an dem Kreise die Zahl 40° 13′ 10″ gelesen. Man hebe dann das Instrument aus seinen Lagern bei A und B, stelle es in verkehrter Richtung, so daß der Kreis mn jetzt auf den westlichen Pfeiler Q kömmt, und bringe endlich den Faden des Fernrohrs wieder auf denselben Stern, wo dann der Kreis 44° 32′ 20″ zeigen soll. Man sieht, daß sonach das Fernrohr zwischen diesen beiden Beobachtungen auf seinem Kreise einen Bogen durchlaufen hat, der gleich ist der doppelten Zenithdistanz dieses Sterns, und daß daher die Mitte dieses Bogens dem wahren Zenithpunkte des Beobachters entspricht. Nimmt man daher die halbe Differenz dieser beiden Zahlen, so erhält man den Collimationsfehler gleich 2° 9′ 35″, und diese Zahl ist es, die man zu allen Beobachtungen, wo der Kreis östlich steht, addiren und von allen, wo der Kreis westlich steht, subtrahiren muß, um die wahre Zenithdistanz des Gestirns zu erhalten, die demnach hier gleich 42° 22′ 45″ oder gleich der halben Summe jener beiden ersten Zahlen ist.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Da in beiden Beobachtungen der Stern denselben Ort am Himmel einnehmen, also im Meridian seyn muß, und da jeder Stern, wegen der täglichen Bewegung des Himmels nur einen Augenblick im Meridian ist, so wird man jene zwei Beobachtungen in zwei nächstfolgenden Tagen, zur Zeit der beiden Culminationen des Sterns, anstellen. Wenn man aber das Instrument schnell genug umkehren kann, um das Gestirn in beiden Lagen des Kreises noch im Fernrohre sehen zu können, was z. B. bei dem sich sehr langsam bewegenden Polarstern statt hat, so kann man diese beiden Beobachtungen auch schon in einem einzigen Tage, ja in wenigen Minuten vollenden. Zwar beobachtet man dann beidemale den Stern nicht in, sondern außer dem Meridian und in unter sich verschiedenen Höhen; aber da die Gestirne in der Nähe des Meridians ihre Höhe nur sehr wenig ändern, so kann man diese Aenderung ihrer Höhe bis zu ihrer Meridianhöhe sehr leicht und sicher berechnen und selbst ohne alle Rechnung unmittelbar aus den Beobachtungen ableiten. Ein Beispiel wird dieß sogleich deutlich machen.

Gesetzt man hätte einen Stern zweimal in der östlichen und eben so oft in der westlichen Stellung des Kreises zu folgenden Sternzeiten beobachtet:

	Sternzeit.	Beobachtete Zenithdistanz des Sterns.
Kreis Ost . .	18ʰ 57′ 11″	40° 0′ 39″
	18 58 48	39 59 54
Kreis West .	19 1 24	43 34 23
	19 3 20	43 33 30

Diese vier Beobachtungen sind zwar zu verschiedenen Zeiten gemacht worden, wo also auch der Stern verschiedene Höhen hatte, so daß daher diese Beobachtungen unmittelbar untereinander nicht verglichen werden können. Dieß könnten sie nur, wenn alle vier in einem und demselben Augenblicke z. B., um die Mitte aus allen jenen vier Sternzeiten, also um die Sternzeit 19ʰ 0′ 11″ beobachtet worden wären. Allein auf diese Zeit lassen sich jene Beobachtungen leicht zurückführen, da aus ihnen selbst die Veränderung der Zenithdistanzen des Sterns für jede gegebene Zeit hervorgeht. Die beiden ersten zeigen z. B., daß in der Zeit von 1′ 37″ die Zenithdistanz um 45″ abgenommen hat, also wird sie auch in einer Zeitminute um 27.″3 abnehmen. Ebenso zeigen die beiden letzten, daß in der Zeit von 1′ 56″ die Zenithdistanz um 53″ abnimmt, also wird sie auch in einer Zeitminute um 27.5″ abnehmen. Wir können daher, im Mittel aus allen vier Beobachtungen, annehmen, daß die Zenithdistanz des Sterns in einer Zeitminute um 27.4″ abnimmt.

Allein die erste Beobachtung ist von jener imaginären mittleren, die um 19ʰ 0′ 11″ angestellt seyn soll, um 3.0, die zweite um 1.38, die dritte um 1.22 und die vierte endlich um 3.15 Zeitminuten entfernt. Multiplicirt man also diese vier Zahlen durch 27.4, so erhält man die Reduktionen, die man an die vier beobachteten Zenithdistanzen anbringen muß, um sie alle auf jene imaginäre um 19ʰ 0′ 11″ angestellte Zenithdistanz zu bringen. Man hat so

Beob.	Zenithdistanz.	Reduktion.	imag. Zenithdistanz.	
I.	40° 0′ 39″	1′ 22.2″	39° 59′ 16.8″	} Kreis Ost.
II.	39 59 54	0 37.8	39 59 16.2	
III.	43 34 23	0 33.4	43 34 56.4	} Kreis West.
IV.	43 33 30	1 26.3	43 34 56.3	

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Wir erhalten demnach im Mittel aus je zwei Beobachtungen folgende zwei, in demselben Augenblicke statt habenden Zenithdistanzen des Sterns

Kreis Ost . . . 39° 59′ 16.5″
Kreis West . . . 43 34 56.3

und von diesen beiden Zahlen gibt daher wieder, wie zuvor, die halbe Differenz derselben den gesuchten Collimationsfehler des Kreises, der gleich 1° 47′ 49.9″ ist, und die halbe Summe gibt die wahre Zenithdistanz des Sterns, die gleich 41° 47′ 6.4″ ist.

Dieses Verfahren, den Collimationsfehler zu bestimmen, ist sehr brauchbar bei solchen Kreisen, die sich schnell umwenden lassen, und sie gibt zugleich sehr genaue Resultate, wenn man in beiden Lagen des Instruments mehrere Beobachtungen anstellt und aus ihnen allen das Mittel nimmt.

§. 192. (Den Polpunkt des Kreises zu finden.) Wie man aber in dem Vorhergehenden den Horizontalpunkt oder, was dasselbe ist, den Zenithpunkt des Kreises bestimmte, um zu wissen, von welchem Punkte des eingetheilten Limbus man die Höhen oder die Zenithdistanzen zu zählen hat, eben so kann man auch an dem Kreise denjenigen Punkt desselben bestimmen, welcher dem Pole des Aequators am Himmel entspricht, wo man dann alle Beobachtungen der Sterne auf diesen Instrumentalpolpunkt beziehen und sonach unmittelbar die Poldistanzen (Einl. §. 13) dieser Sterne erhalten wird.

Diesen Polpunkt wird man aber am besten durch die Beobachtung der Circumpolarsterne in ihren beiden Culminationen bestimmen können. Steht nämlich der Kreis mn auf der Westseite und nennt man h und h′ die beiden Zahlen, bei welchen das Fernrohr zur Zeit der oberen und der unteren Culmination stand, so ist die Zahl des Kreises, die dem Polpunkte entspricht, oder so ist der Polpunkt des Instruments gleich h — p für die obere, und gleich h′ + p für die untere Culmination, wo p die Poldistanz des beobachteten Sterns bezeichnet, und wo bei den Größen h und h′ schon auf die Verbesserung der Refraktion Rücksicht genommen ist.

Wenn aber der Kreis auf der Ostseite des Fernrohrs ist, und man hier k und k′ die beiden Ablesungen nennt, so ist der gesuchte Polpunkt des Kreises P′ gleich k + p in der oberen und k′ — p in der unteren Culmination.

Daraus folgt also, daß man, selbst ohne die Poldistanz p des Sterns zu kennen, nur die halbe Summe der Größen h und h′ beider Culminationen bei der westlichen Stellung, oder die halbe Summe der Größen k und k′ bei der östlichen Stellung des Kreises zu nehmen braucht, um sofort den Polpunkt des Instrumentes zu erhalten. Nehmen wir an, um dieß durch ein Beispiel deutlich zu machen, man hätte bei der westlichen Lage des Kreises in der oberen Culmination h = 318° 15′, und in der unteren h′ = 315° 1′ gefunden, so ist der Polpunkt des Instruments in dieser Lage 316° 38′, oder man muß von allen in dieser Lage des Kreises gemachten Beobachtungen die Größe 316° 38′ subtrahiren, um die Poldistanz des beobachteten Sterns zu erhalten.

Hätte man eben so bei der östlichen Lage des Kreises in der oberen Culmination k = 40° 12′, und in der unteren k′ = 43° 26′ gefunden, so würde der Polpunkt des Instruments für diese Lage 41° 49′ seyn, oder man wird von allen in dieser Lage des Kreises gemachten Beobachtungen die Größe 41° 49′ subtrahiren, um die Poldistanzen der beobachteten Gestirne zu erhalten.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

So wie also zuvor (§. 191) der Zenithpunkt des Kreises durch die Umkehrung desselben von Ost nach West oder durch die Beobachtung desselben Sterns in verkehrten Lagen des Instruments gefunden wird, so wird auch hier der Polpunkt desselben durch die Beobachtung der beiden Culminationen desselben Sterns bestimmt. Da nun hier, in unserem Beispiele, beide Culminationen nicht nur in der einen, sondern auch noch in der anderen Lage des Instruments beobachtet worden sind, so erhält man dadurch auch die Aequatorhöhe des Beobachtungsortes, die nämlich gleich der halben Differenz der Größen 41° 49′ weniger 316° 38′ oder gleich 42° 35.″5 ist. Auch die Poldistanz des so beobachteten Sterns findet man unmittelbar aus den vier erhaltenen Zahlen, indem sie gleich der halben Differenz der Zahlen h und h′, oder auch der Zahlen k und k′, also hier gleich 1° 37′ ist. Die Uebereinstimmung zwischen diesen beiden Differenzen wird zugleich ein Beweis für die Richtigkeit der vier Beobachtungen und der daraus abgeleiteten Werthe der beiden Polpunkte seyn.

§. 193. (Gebrauch des Collimators.) Noch ein anderes Mittel, den Zenithpunkt des Kreises zu finden, muß seiner Vorzüglichkeit wegen hier erwähnt werden. Es ist dieses der vor einigen Jahren von dem Kapitän Kater in England vorgeschlagene Collimator. Dieser besteht in einem kleinen Fernrohre, welches in seinem Brennpunkte mit einem Kreuzfaden versehen und nahe senkrecht auf einem in seiner Mitte durchbrochenen eisernen Teller befestiget ist, durch dessen Oeffnung das Fernrohr geht. Dieser Teller wird auf dem in einem Gefäße enthaltenen Quecksilber frei schwimmend erhalten und das Rohr so gestellt, daß das Objektiv desselben den höchsten Punkt einnimmt, während das Ocular, oder vielmehr, nach weggenommenem Ocular, der Kreuzfaden desselben, mittelst eines Planspiegels, durch eine nebenstehende Lampe erleuchtet wird. Bringt man diese Vorrichtung unter den Mittelpunkt des Fernrohrs des Meridiankreises, und stellt man dieses letzte Fernrohr nahe senkrecht, so daß das Objektiv desselben den tiefsten Punkt einnimmt, so kann man durch dies so gestellte Kreisrohr den Kreuzfaden des Collimators erblicken, und dann durch eine kleine Bewegung des Kreisrohrs die Fäden beider Fernröhre genau auf einander bringen. In dieser Stellung des Kreisrohrs liest man dann seine Lage an dem Limbus des Kreises ab.

Dreht man dann den immer auf dem Quecksilber schwimmenden Teller des Collimators im Horizonte um 180 Grade, so daß die westliche Seite des Tellers jetzt auf die östliche kömmt, und bringt wieder durch eine kleine Bewegung des Kreisrohrs die Fäden beider Fernröhre neuerdings genau auf einander, und liest auch in dieser zweiten Lage den Kreis wieder ab, so gibt die halbe Summe der beiden Ablesungen an dem Meridiankreise sofort den Nadirpunkt (Einl. §. 8) des Kreises, der dann, um 180° vermehrt oder vermindert, der gesuchte Zenithpunkt desselben seyn wird.

Dabei wird vorausgesetzt, daß das kleine Fernrohr des Collimators wenigstens nahe senkrecht auf der horizontalen Fläche des Quecksilbers sey. Man kann dieses leicht durch kleine Gewichte erreichen, die man in verschiedenen Punkten des eisernen Tellers auflegt und daselbst verschiebt. Wenn auf diese Weise das Fernrohr des Collimators auch nur nahe senkrecht gestellt ist, so wird die optische Axe dieses Fernrohrs, bei der erwähnten Drehung des Tellers um 180 Grade, die Oberfläche eines sehr spitzen Kegels beschreiben, von dessen kreisförmiger Basis man, durch jenes Verfahren, zwei einander genau gegenüberstehende Punkte beobach-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

tet, in deren Mitte, als in dem Mittelpunkte dieser Basis, die auf dem Queckſilber vertical ſtehende, alſo nach dem Zenithe des Beobachters gehende Linie liegen muß, daher man auch die Mitte der beiden Ableſungen am Kreiſe zu nehmen hat, um den geſuchten Punkt deſſelben zu erhalten.

Uebrigens muß der Kreuzfaden des Collimators genau in dem Brennpunkte ſeines Objektivs liegen, was man durch das oben (§. 177) erklärte Verfahren leicht erreichen wird, weil man ſonſt dieſen Kreuzfaden durch das große Fernrohr des Kreiſes nicht deutlich ſehen kann. Eine kleine äußere Schraube, die den die Kreuzfäden tragenden Ring in der Ebene dieſes Ringes bewegt, wird dazu dienen, den einen dieſer Fäden mit dem horizontalen Faden des Kreisrohres nahe parallel zu ſtellen.

Man ſieht, daß der eigentliche Zweck des Collimators iſt, uns den Stellvertreter eines Fixſterns zu geben, der in einem ſehr kleinen Kreiſe ſich bewegt, deſſen Mittelpunkt das Zenith oder eigentlich das Nadir des Beobachters iſt. Wenn man die Zenithdiſtanz dieſes Sterns in den beiden Punkten ſeines Kreiſes beobachtet, die dem Süd- und Nordpunkte des Himmels am nächſten liegen, und wenn man dann die Mitte der beiden Ableſungen nimmt, ſo erhält man dadurch den Punkt des Inſtrumentalkreiſes, der dem Zenithe entſpricht.

§. 194. (Verſchiedene Meridiankreiſe.) Obſchon die von Römer vorgeſchlagenen ganzen Kreiſe unbezweifelte und auch gleich anfangs allgemein anerkannte Vorzüge vor den Quadranten beſitzen, ſo konnten ſie doch die erſten Künſtler noch nicht mit derjenigen Genauigkeit verfertigen, welche den Wünſchen der Beobachter ihrer Zeit zu entſprechen im Stande geweſen wäre. Aus dieſer Urſache blieb auch der Mauerquadrant, in Verbindung mit dem Zenithſector, bis nahe zu dem Anfange des gegenwärtigen Jahrhunderts das einzige oder doch das vorzüglichſte Inſtrument zur Beobachtung der Zenithdiſtanzen der Geſtirne. Doch war zu dieſer Zeit ſchon ein ganz vorzüglicher Kreis von ſechs Fuß Durchmeſſer, welchen der berühmte Ramsden in England verfertigt hatte, im Beſitze Piazzi's in Palermo, eines der eifrigſten und geſchickteſten Beobachter. Ein nahe gleich großes Inſtrument dieſer Art wurde um dieſelbe Zeit für die Sternwarte in Dublin vollendet, und ein kleinerer, unter der Benennung des Weſtbury Circle, war in den Händen von Pond. Alle dieſe Inſtrumente haben gute Früchte getragen. Die ſchönſten und reichſten aber verdankt man jenem in Palermo, durch welchen uns Piazzi den erſten großen und verläßlichen Sternkatalog von 7456 Sternen geliefert hat. Seit Troughton i. J. 1809 ſeine vortreffliche Methode, dieſe Inſtrumente einzutheilen, bekannt gemacht hat, eine Methode, die ſpäter durch Reichenbach weſentliche Verbeſſerungen erhielt, nahm die Güte und Brauchbarkeit derſelben immer zu. Indeß waren jene Kreiſe von Ramsden in ihrer Bauart weſentlich von den oben beſchriebenen verſchieden. Dieſe Kreiſe waren nämlich zwiſchen zwei metallenen Säulen befeſtiget, welche letzten wieder auf einer horizontalen Platte ruhten, die ſich, ſammt Kreis und Säulen, um ihre vertikale Axe bewegen ließen, daher dieſe Inſtrumente auch mit einem nahe eben ſo großen horizontalen Kreiſe verſehen waren, um damit die Azimuthe, ſowie mit jenem die Zenithdiſtanzen, zu meſſen. Aus dieſer Urſache wurden ſie auch in England unter der Benennung des altitude and azimuthal instrument oder des reversible circle bekannt.

Im Jahre 1812 vollendete Troughton den erſten Mauerkreis (mural circle), der auf der Sternwarte in Greenwich aufgeſtellt wurde

und der in der Geschichte der beobachtenden Astronomie Epoche machte. Dieser in dem Meridian aufgestellte Kreis steht unmittelbar mit einem soliden Pfeiler von Mauerwerk in Verbindung, welcher Pfeiler auch die Verniere oder Mikroscope trägt, durch welche die Ablesungen an den Kreisen geschehen. Man sieht, daß ein solcher Kreis eine viel solidere Aufstellung gewährt, als jene reversiblen Kreise von Ramsden. Dafür können sie aber auch nicht umgewendet werden, und man ist daher bei ihnen bloß auf die Beobachtungen der Poldistanzen beschränkt, ohne auch zugleich Zenithdistanzen zu erhalten, weil man an ihnen, durch die Beobachtung beider Culminationen der Circumpolarsterne, wohl den Polpunkt, aber nicht den Zenithpunkt des Kreises bestimmen kann, während im Gegentheile die Kreise von Ramsden sich sehr leicht umwenden und die Verticalität ihrer Drehungsaxe sehr sicher angeben lassen. Im Jahre 1825 wurde ein ganz ähnlicher Kreis von Troughton auf dieselbe Sternwarte gebracht, und das regelmäßige Verfahren eingeführt, daß die Sterne an dem einen Kreis unmittelbar, und an dem andern zu gleicher Zeit in einem Quecksilberhorizont beobachtet wurden, wodurch man daher, nebst den Poldistanzen, auch die Zenithdistanzen der Sterne erhielt. Seit dieser Einrichtung sollen die Beobachtungen Pond's in Greenwich an Genauigkeit sehr gewonnen haben.

Die Engländer geben ihrem Meridian- oder Mauerkreise eine etwas veränderte Gestalt, die man in Fig. 106 abgebildet sieht. Man wird, nach der bereits vorausgegangenen Erklärung des deutschen Kreises, das Allgemeine dieser Veränderung schon bei dem ersten Anblicke der Zeichnung übersehen. Das Fernrohr AB ist zwischen zwei parallelen, unter einander verbundenen Kreisen D, E befestiget. Diese Kreise, deren jeder seine Eintheilung trägt, drehen sich zugleich mit dem Fernrohre um die horizontale Axe HH, und die Größe der Drehung wird durch die vier Mikroscope F, F abgelesen, die an den beiden Mauerpfeilern befestiget sind, auf welchen das ganze Instrument steht. Senkrecht auf das Fernrohr ist eine Röhre CC in der Mitte der Axe HH befestiget, in welcher, bei der horizontalen Stellung des Fernrohrs, das Bleiloth hängt, dessen unteres Gewicht in dem Gefäße bei G im Wasser geht, um die Oscillationen des Gewichts, die durch Luftzug entstehen könnten, zu vermindern.

Wenn aber diese großen und kostbaren Kreise auch die Distanzen der Sterne von dem Pole oder dem Zenithe mit großer Schärfe geben mochten, so schienen sie doch die Rectascensionen nicht mit der gewünschten Verläßlichkeit darzustellen, was wohl in dem eigenen Baue, vorzüglich in der kurzen und schwachen Drehungsaxe des Fernrohrs liegen konnte; wenigstens fuhren die englischen Astronomen fort, ihre Rectascensionen an dem ihnen viel sicherer erscheinenden Mittagsrohre zu nehmen. Erst in den neueren Zeiten hat man diesem Umstande durch eine andere Einrichtung jener Instrumente abzuhelfen gesucht, wie die Kreise von Wollaston und Groombridge zeigen. Diese bestehen in zwei einander parallelen Kreisen, die durch Querstangen fest unter einander und mit einer starken horizontalen Axe, der des Mittagsrohrs ähnlich, verbunden sind. Das Fernrohr geht mitten durch diese Axe und liegt zwischen jenen beiden Kreisen, mit welchen dasselbe an seinen zwei Endpunkten fest verbunden ist.

Reichenbach in München hat weder diese, noch die vorhergehende Bauart seiner Meridiankreise angenommen, sondern die oben (§. 188 Fig. 105) beschriebene gewählt und sie zugleich ganz aus einem Stücke gegossen, während die englischen aus vielen einzelnen bloß durch Schrau-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

ben zusammengehaltenen Theilen bestehen. Diese Kreise haben bereits an vielen Sternwarten Deutschlands durch eine sehr große Anzahl trefflicher Beobachtungen, der Pol- und Zenithdistanzen sowohl, als auch der Rectascensionen, ihre Vorzüglichkeit bewährt und daher auch, bei den Astronomen dieses Landes, allgemeinen Eingang gefunden. Nicht so in England, wo man noch die ältere Einrichtung vorziehen will, und wo man zu der vielleicht noch zu wenig bekannten deutschen Bauart kein Vertrauen hegt *).

§. 195. (Multiplikationskreise.) Die bisher betrachteten Meridian- und Mauer-Kreise sind, wie schon ihre Benennung zeigt, vorzugsweise nur zu solchen Beobachtungen bestimmt, die in der Ebene des Meridians vorgenommen werden. Da sie aus dieser Ursache einen fixen Stand haben, so werden sie auch gewöhnlich in größeren Dimensionen verfertiget, wie denn die Durchmesser dieser Kreise in Deutschland bis drei, in England aber selbst bis sechs und mehr Fuß halten. Diese mit so viel Sorgfalt gebauten und so sicher aufgestellten Meridianinstrumente sind es eigentlich, welche den Werth einer Sternwarte konstituiren, und sie werden daher auch immer dort angewendet, wo man in den Beobachtungen eine vorzügliche Genauigkeit verlangt.

Aber es gibt auch öfters Fälle, wo man außer dem Meridian beobachten muß, und dann sind jene Instrumente nicht mehr anwendbar. Vorzüglich sind es die Höhen der Sterne, die man zur Zeitbestimmung, wenn man kein Mittagsrohr hat, beobachtet, und dann muß man dieselben absichtlich so weit als möglich von dem Meridian entfernt nehmen. Zu diesen und ähnlichen Zwecken eignet sich nun besonders der Multiplikationskreis, den man in Fig. 107 abgebildet sieht.

Er besteht in zwei koncentrischen Kreisen m m und n n, die sich in einer Vertikalfläche um ihre gemeinschaftliche horizontale Axe AB drehen, welche letztere an einer vertikalen Säule EF befestiget ist. Diese cylindrische Axe selbst ist in der Figur nicht sichtbar, da sie von dem zur Aufnahme dieser Axe durchbohrten Würfel B, an dem obersten Theile der Säule EF, und durch den hohlen Cylinder QF bedeckt wird. Ein Ende dieser horizontalen Axe steht auf der Rückseite des Würfels bei B über demselben etwas hervor, sowie auch der Cylinder Q an seiner untern Seite eine Oeffnung hat, durch die man zu dem andern Endpunkte dieser Axe gelangen kann. Man hat diese beiden Enden der Axe zu der Absicht frei gelassen, um an sie die Haken einer Hänglibelle anbringen zu können, durch die man, wie man bald sehen wird, diese Axe genau horizontal, also auch die Ebene der beiden Kreise m und n genau verti-

---

*) So sagt Airy in seiner Geschichte der Astronomie der letzten drei Jahrzehnte: An instrument of this kind in Germany would I conceive be below mediocrity, unless the workmanship were not exquisite, and when made in the best possible way, I cannot but think, that its mechanical structure is extremely weak. Er tadelt bei Reichenbachs Einrichtung vorzüglich, daß das Fernrohr mit seinen beiden Enden nicht unmittelbar mit dem Kreise verbunden ist, wie bei den Mauerkreisen von Troughton; daß der Gebrauch des deutschen Kreises nicht ohne Umwendung statt haben könne; daß diese Umwendung nicht so leicht, wie bei den Kreisen in Palermo und Turin geschehen soll, und daher auch nur zuweilen und gelegentlich vorgenommen werde und dergl., und schließt endlich damit, that this instrument is little known in England.

kal stellen kann, da diese Kreise von dem Künstler schon auf der Drehbank vollkommen senkrecht auf ihre Axen abgedreht werden müssen. Damit übrigens diese Kreise mit ihren Gewichten die Axe, an deren einem Ende sie beide angebracht sind, nicht schief drücken können, ist ein mit Blei gefülltes Gegengewicht H auf der andern Seite der Axe angebracht, welches durch den Hebel p q, dessen Unterstützungspunkt die Säule EG ist, jenes von den Kreisen abwärts gedrückte Ende Q der Axe, wieder eben so viel aufwärts hebt.

Senkrecht auf diese horizontale Axe AB ist das Fernrohr CD angebracht, wo C das Ocular und D das Objektiv desselben ist. Dieses Fernrohr ist mit dem inneren Kreise m m, der zugleich die Verniere trägt, fest verbunden und kann nur mit diesem Kreise zugleich vertikal auf und ab bewegt werden. Der äußere Kreis n n ist in Grade und Minuten eingetheilt, oder er trägt die Theilung, und der innere das Fernrohr und die Verniere. Das Fernrohr hat gegen seine Mitte bei A eine mit einem Schieber versehene Oeffnung, durch welche man das Licht einer Lampe in das Innere des Rohrs fallen läßt, um damit die Fäden im Brennpunkte bei C zur Nachtzeit zu sehen. Da die Beobachtung sehr hoch oder nahe am Zenithe stehender Sterne bei diesem Baue des Instruments beschwerlich, wo nicht unmöglich wäre, weil dann das Fernrohr in die vertikale Lage FQ kömmt, so ist im Innern desselben bei C ein kleiner Planspiegel angebracht, dessen Ebene mit der optischen Axe CD des Fernrohrs einen Winkel von 45 Graden macht, wo dann die Ocularröhre O senkrecht auf diese Axe CD gestellt wird. Bei dieser Einrichtung fallen die von dem Gestirne nach der Richtung DC kommenden Strahlen auf den Spiegel unter einem Winkel von 45 Graden auf und werden von ihm unter einem eben so großen Winkel, also in der Richtung der Ocularröhre O in das Auge des Beobachters reflektirt, so daß der Gesichtsstrahl aller, hohen und niederen, Sterne, für den Beobachter immer eine horizontale, also zur Beobachtung selbst sehr bequeme Lage hat.

Die oben erwähnte vertikale Säule FQ besteht aus einem hohlen Cylinder, der an seinem untersten Theile F auf drei starken Füßen K befestiget ist. An der unteren Seite dieser Füße wird durch drei Schrauben, von denen man in der Zeichnung nur die zwei a und c sehen kann, eine dreiarmige Spange von Stahl, von welchen nur die zwei a b und b c sichtbar sind, angeschraubt, und auf der Mitte b dieser starken, elastischen Stahlfeder steht die eigentliche vertikale Axe des Instruments, die durch die Höhlung des Cylinders FQ geht und an ihrem obersten Ende die bereits erwähnte innere horizontale Axe AB der beiden Kreise aufnimmt. Noch ist unter jenem Fußgestelle, zwischen ihm und der Stahlspange, ein horizontaler Kreis M an das untere Ende der vertikalen Axe des Instruments befestigt, der sich daher mit dieser Axe dreht. Man sieht bei d die Druckschraube, mit welcher man diesen Kreis an das Fußgestelle bei c befestigen kann. Eben daselbst ist auch ein Index oder ein Vernier an dem Fußgestelle angebracht, durch dessen Hülfe man diesen horizontalen Kreis auf einen bestimmten Punkt im Horizonte, also auch die Vertikalkreise m und n in ein bestimmtes Azimut stellen kann.

Die Engländer, besonders Dollond, haben auch diesem Instrumente eine in mehreren Theilen veränderte Gestalt gegeben, die man in Fig. 108 sehen kann, und die, nach dem Vorhererwähnten, keiner besonderen Erklärung bedürfen wird.

§. 196. (Beobachtungen mit diesem Instrumente.) Nehmen wir an,

der äußere, die Eintheilung tragende Kreis n n (Fig. 107) sey mit dem Fußgestelle FQB des Instruments fest und unveränderlich verbunden. Um der Beständigkeit seiner Lage gewiß zu seyn, könnte man an seinen oberen Speichen eine Libelle befestigen, durch die man jede kleine Verstellung dieses Kreises sogleich erkennen und berichtigen würde.

Kann man nun voraussetzen, daß die Ebene der beiden Kreise vollkommen vertikal ist, und daß die optische Axe des Fernrohrs zu dieser Kreisebene parallel ist, so wird man, um die Höhe oder die Zenithdistanz eines Sterns zu beobachten, zuerst den unteren horizontalen Kreis M lüften, indem man die Druckschraube d nachläßt und dann das ganze Instrument um seine in dem hohlen Cylinder FQ stehende vertikale Axe so lange frei drehen, bis die Ebene des Kreises durch den zu beobachtenden Stern geht. Dann öffnet man auch die ähnliche (und deßhalb in der Zeichnung nicht angegebene) Druckschraube, welche den innern Kreis an dem festen äußeren hält, so daß man also jetzt diesen innern Kreis, sammt dem an ihm befestigten Fernrohre, um seine horizontale Axe AB so lange drehen kann, bis das Gestirn im Felde des Fernrohrs, in der Nähe des in demselben ausgespannten Fadens, erscheint. In dieser Lage befestige man nun wieder die beiden Druckschrauben des Kreises M sowohl, als auch die des inneren vertikalen Kreises m m, so steht jetzt das Instrument in der vorbereitenden Lage, die zu den eigentlichen Beobachtungen erfordert wird.

Bemerken wir nun, daß bei jeder dieser Druckschrauben auch noch eine andere feine Mikrometer-Schraube angebracht ist, die in der Lage der Tangente ihres Kreises liegt und dazu bestimmt ist, die obschon durch ihre Druckschrauben bereits geklemmten oder befestigten Kreise noch etwas weniges in ihrer Ebene weiter zu bewegen. Wir haben eine solche Mikrometer-Schraube schon oben (§. 188) bei Gelegenheit des Meridiankreises angeführt, wo sie auch (Fig. 105) bei fh abgebildet ist.

Durch diese Mikrometer-Schrauben bewegt man nun das Fernrohr in vertikaler und horizontaler Richtung ganz leise so, daß der bereits im Felde des Fernrohrs stehende Stern in der Mitte des Feldes ganz genau auf den horizontalen Faden zu stehen komme. In diesem Augenblicke liest man die neben dem Instrumente stehende Uhr und dann auch den Stand der Verniere des inneren Kreises gegen den festen, eingetheilten äußeren Kreis ab, wodurch man die gesuchte Zenithdistanz des Sterns für eine gegebene Zeit erhält, vorausgesetzt, daß man den Kollimationsfehler (§. 191) des Kreises bereits kennt, d. h., daß man bereits weiß, wie viel man von jeder Lesung am Kreise abziehen oder dazu addiren muß, um die wahre Zenithdistanz der Beobachtung zu erhalten.

Diesen Kollimationsfehler findet man aber entweder durch Umwendung des Instruments oder durch einen Queckſilberhorizont ganz auf dieselbe Art, wie bereits oben (§. 191) bei dem Meridiankreise gesagt worden ist, und man sieht von selbst, daß hier die erste Methode ganz besonders anwendbar ist, weil das Instrument, nach der Einrichtung seines Baues, sich so leicht und sicher umwenden läßt, so daß einmal der Kreis auf der einen und dann auf der entgegengesetzten Seite der vertikalen Säule FB zu stehen kömmt.

§. 197. (Multiplicirende Beobachtungen an diesem Instrumente.) Das so eben angezeigte Verfahren möchte wohl das sicherste und bequemste zugleich seyn. Die sehr zahlreichen und guten Beobachtungen, welche auf diese Art an einem solchen Instrumente, dessen Kreise nur einen Durchmesser von 18 Zoll haben, auf der Sternwarte in Wien gemacht

worden sind, lassen über die Vorzüglichkeit dieses Gebrauches keine Zweifel mehr übrig.

Man hat aber, in früheren Zeiten wenigstens, geglaubt, daß dieses Instrument wesentlich gewinnen würde, wenn man ihm eine Einrichtung geben könnte, durch welche man die Beobachtungen desselben vervielfältigen und sie auf diese Weise von den meisten derjenigen Fehler unabhängig machen würde, denen jede einzelne, isolirte Beobachtung ihrer Natur nach, ausgesetzt seyn muß. Hieher gehören z. B. vorzüglich die Fehler der Theilung. Diese Fehler waren in der That, in der Mitte des vergangenen Jahrhunderts, bei den meisten Instrumenten noch so groß, daß der berühmte Tobias Mayer, der dieses Prinzip der Multiplikation der Beobachtungen zuerst aufgestellt hat, der beobachtenden Astronomie einen für seine Zeit sehr wesentlichen Dienst erwiesen hat. Allein seitdem haben sich die Umstände so sehr geändert, und die Theilung der Instrumente ist, besonders durch Reichenbach, selbst bei den kleinen Kreisen, zu einer so großen Vollkommenheit gebracht worden, daß diese früher nothwendige oder doch wohlthätige Einrichtung jetzt nicht nur überflüssig, sondern selbst schädlich erscheint, indem dadurch eine Menge neuer Fehlerquellen geöffnet werden, die vorzüglich von der geringeren Stabilität des Instruments bei den Multiplikationen entspringen; die oft bedeutend größer sind, als die der etwa noch unrichtigen Theilung, welche man dadurch wegbringen will, und die endlich dem Gebrauch des Instruments, für den Beobachter sowohl als für den Berechner dieser Beobachtungen, so unbequem und Zeit raubend machen, daß darin besonders die Ursache gesucht werden muß, warum die multiplicirenden Instrumente selbst unter den deutschen Astronomen, die sich doch von jeher durch ihren beharrlichen Fleiß ausgezeichnet haben, lange nicht die Früchte getragen haben, die man von anderen Instrumenten z. B., für die Verfertigung größerer Sternkataloge, in so reichem Maaße erhalten hat.

Dessenungeachtet mag es zweckmäßig erscheinen, hier wenigstens das Vorzüglichste von dieser Behandlungsart der Instrumente, die so lange als die bestmögliche gegolten hat, zur Kenntniß unserer Leser zu bringen.

Wir haben oben vorausgesetzt, daß der äußere, die Theilung tragende Kreis n n, an den Fußgestellen FB des Instrumentes fest und unveränderlich angebracht sey. Nehmen wir nun an, daß auch er, so wie der innere Kreis m m, sich um seine horizontale Axe AB bewegen lasse, und daß der äußere Kreis, mittelst einer eigenen Druckschraube an dieses Fußgestelle, so wie der innere durch seine Druckschraube an den äußern Kreis befestiget werden könne. Bei dieser Einrichtung wird man also, wenn man die Druckschraube des äußern Kreises anzieht, und dafür die Schraube des inneren Kreises lüftet, bloß den inneren sammt seinem Fernrohre bewegen, wie wir dieß bisher gethan haben. Wenn man aber im Gegentheile die Druckschraube des inneren Kreises feststellt und dafür die des äußeren öffnet, so wird man beide, jetzt mit einander verbundene Kreise, zugleich um ihre gemeinschaftliche horizontale Axe AB bewegen können. Auf diese abwechselnde Bewegung des inneren Kreises um den festen äußeren und der gemeinschaftlichen beiden unter sich verbundenen Kreise beruht das erwähnte Princip der Multiplikation, welches wir nun sogleich näher angeben wollen.

Man stellt zuerst den inneren Kreis durch seinen Vernier auf irgend einen bestimmten Theilstrich, z. B. auf Null-Grad des äußeren Kreises und befestiget jenen auf diesem durch seine Druckschraube. Dann öffnet man die Druckschraube des äußeren Kreises und dreht beide Kreise zugleich um ihre horizontale Axe AB, bis das Gestirn im Felde des Fern-

rohrs erscheint, worauf man den äußern Kreis wieder an sein Fußgestelle schließt und mit der feinen Mikrometer-Schraube dieses Kreises den horizontalen Faden des Fernrohrs genau auf den Stern bringt und die Zeit dieses Moments an der Uhr bemerkt. Nehmen wir an, die Kreise seyen während dieser Beobachtung auf der Ostseite der vertikalen Axe FB gestanden. Damit ist die erste Hälfte der Beobachtung vollendet, die aber, für sich allein, kein Resultat gibt, da der innere Kreis noch immer auf 0° des äußeren steht.

Man dreht nun beide Kreise um ihre vertikale Axe FB um 180 Grade, so daß die beiden Kreise jetzt auf die Westseite dieser Axe kommen, bis der Stern wieder in der Ebene dieser Kreise erscheint und löst dann, bei immer geschlossenem äußeren Kreis, den innern, und bewegt ihn sammt seinem Fernrohre so lange um seine horizontale Axe AB, bis der Stern zum zweitenmale in der Nähe des Fadens erscheint. In dieser Lage befestiget man den inneren Kreis durch seine Druckschraube wieder an den äußeren und bringt dann, durch die Mikrometer-Schraube dieses inneren Kreises, den horizontalen Faden des Fernrohrs genau auf das Gestirn.

Jetzt ist auch die zweite Hälfte der Beobachtung geendet, und da zwischen beiden das Fernrohr offenbar um die doppelte Zenithdistanz des Sterns auf dem äußeren Kreise fortgerückt ist, so wird auch das Ablesen dieses Kreises sofort die gesuchte doppelte Zenithdistanz des Gestirns geben.

Es ist aber für sich klar, daß man von dem jetzt gefundenen Punkte des äußeren Kreises eben so gut, wie zuvor von dem Nullpunkte desselben, ausgehen, und dieselbe Beobachtung, so oft man will, wiederholen kann. Man wird nämlich jetzt die beiden geschlossenen Kreise wieder in ihre erste Lage, wo der Kreis östlich von der vertikalen Axe steht, bringen, den äußeren Kreis lüften und ihn sammt den noch an ihm befestigten inneren so lange drehen, bis der Faden wieder den Stern deckt, worauf der äußere Kreis geschlossen, beide wieder auf die Westseite gedreht und dann der innere gelöst und so lange gedreht wird, bis der Faden wieder auf den Stern fällt, wo dann die zweite Ablesung des äußeren Kreises die vierfache Zenithdistanz des Sterns angeben wird. Ganz ebenso wird man auch die 6, 8, 10fache Zenithdistanz desselben erhalten. In der Ordnung wird man sich mit der doppelten oder vierfachen Zenithdistanz begnügen, und da diese Beobachtungen, mit einiger Uebung, schnell genug auf einander folgen, so wird es immer erlaubt seyn, die Höhenänderung des Gestirns während dieser Beobachtungen als der Zeit proportional oder als gleichförmig sich ändernd anzusehen. Dann wird man also auch das Mittel aus allen so erhaltenen Zenithdistanzen, d. h. den durch die Anzahl der Beobachtungen dividirten Bogen, welcher das Fernrohr durchlaufen hat, als die Zenithdistanz ansehen, die für das Mittel der sämmtlichen Beobachtungszeiten gehört. Gesetzt man habe im Anfange der Beobachtung den inneren Kreis auf 10° 5′ 30″ des äußeren gestellt und am Ende von zwei vollständigen oder doppelten Beobachtungen seinen Stand gleich 242° 50′ 40″ gefunden. Die Uhrzeiten der vier Momente, wo der Faden den Stern deckte, seyen 4^h 30′, 4^h 34′, 4^h 37′ und 4^h 43′, gewesen, so ist die Differenz von jenen beiden Ablesungen 232° 45′ 10″, und die Summe von diesen vier Uhrzeiten 18^h 24′. Nimmt man also von jeder dieser Zahlen den vierten Theil, so erhält man als Resultat dieser Beobachtungen, daß um 4^h 36′ Uhrzeit die einfache Zenithdistanz des Sterns gleich 58° 11′ 17.″5 ist.

§. 198. (Rectifikation des Multiplikationskreises.) Wir haben bisher vorausgesetzt, daß die Ebene der beiden Kreise vollkommen vertikal und die optische Axe des Fernrohrs zu dieser Ebene parallel ist. Allein durch welche Mittel kann man dieser Forderung genügen?

Zu diesem Zwecke muß man zuerst die vertikale Axe bE oder den stählernen Cylinder, der in seinem untersten Punkte auf der Spange a b c steht, und auf welchem eigentlich das ganze Instrument ruht, in eine auf dem Horizonte senkrechte Stellung bringen. Dieß wird man mittelst einer Libelle thun können, die man über jener Axe bei uu zwischen den zu dieser Absicht frei gelassenen Bogen der Säule EG aufstellt, welche den Unterstützungspunkt des oben erwähnten Hebels für das Gegengewicht trägt. Stellt man dann den Kreis, also auch diese Libelle mit der Linie, die durch zwei der drei Fußschrauben geht, z. B. mit der Linie KK' parallel, so soll z. B. der Mittelpunkt der Blase bei dem Theilstriche 10 stehen. Dreht man dann den Kreis um seine vertikale Axe FB um 180 Grade, bis er wieder mit der Linie KK' parallel ist, und zeigt in dieser Lage der Mittelpunkt der Blase z. B. 20, so wird man die eine oder die andere dieser beiden Fußschrauben K oder K' so lange bewegen, bis die Blase das Mittel jener beiden Zahlen, d. h. bis sie die Zahl 15 zeigt. Auf diese Weise bringt man es durch einige Wiederholungen dieses Verfahrens leicht dahin, daß die Libelle, in den beiden erwähnten Lagen des Kreises, immer dieselbe Zahl z. B. 15 zeigt. Dreht man dann den Kreis im Horizonte noch um 90 Grade gegen seine beiden vorigen Lagen, so daß jetzt der Kreis durch die dritte Fußschraube K'' geht, so wird man auch diese Fußschraube K'' so lange bewegen, bis die Libelle in dieser neuen Lage ebenfalls 15 zeigt, und dann wird die Libelle in a l l e n Lagen des Kreises immer unverändert dieselbe Zahl geben, zum Zeichen, daß die erwähnte stählerne Axe des Instruments in der That vertikal ist. Sollte die Libelle bei dieser Bewegung des Kreises durch alle Punkte des Horizonts noch einen geringen Fehler dieser Vertikalität anzeigen, so wird man das so eben angezeigte Verfahren wiederholen, um dadurch diesen noch übrigen kleinen Fehler vollkommen wegzubringen.

Auf dieser vertikalen Axe ist nun in ihrem obern Endpunkte die horizontale Axe AB der beiden Kreise durch starke Schrauben im Innern des Würfels B befestiget. Diese horizontale Axe soll aber ebenfalls genau senkrecht auf jener vertikalen stehen. Es ist schon oben gesagt worden, daß die beiden Enden dieser horizontalen Axe frei stehen, damit man an sie die Haken einer zweiten Libelle anbringen kann. Hängt man nun diese Libelle in zwei einander entgegengesetzten Lagen an diese Axe, so daß derselbe Haken zuerst bei B und dann bei Q zu stehen kömmt, und zeigt sie z. B. in der ersten Lage 4 und in der andern 10, so wird man das eine Ende der horizontalen Axe durch die dazu bestimmte Schraube so lange erniedrigen oder erhöhen, bis die Libelle in beiden Lagen die Zahl 7 gibt, wo dann diese Axe AB horizontal und daher auf der Axe bE senkrecht stehen wird. Durch dieses Verfahren wird also auch die Ebene der beiden Kreise auf den Horizont senkrecht gestellt seyn, da der Künstler, wie bereits oben erinnert wurde, schon durch die Einrichtung seiner Drehbank den Kreis senkrecht auf seine Axe gestellt hat.

Noch ist übrig, die optische Axe des Fernrohrs mit der Ebene dieser Kreise parallel zu stellen. Zu diesem Zwecke wird man zuerst den horizontalen Faden desselben, durch eine sanfte Bewegung des Fernrohrs, längs einem scharf begränzten und sehr entfernten terrestrischen Gegenstande hinlaufen lassen und ihn mittelst der dazu bestimmten Schraube

um seinen Mittelpunkt so lange drehen, bis der Faden, seiner ganzen Länge nach, immer scharf auf dem Objekte bleibt. Dann stellt man auch den zweiten oder vertikalen Faden, oder eigentlich nur den dem horizontalen zunächst stehenden Theil desselben, auf jenen terrestrischen Gegenstand und liest dabei den Azimutalkreis M ab. Jetzt dreht man die Kreise auf die entgegengesetzte Seite der vertikalen Axe bE, bis der Horizontalkreis genau 180 Grade mehr zeigt, als in der ersten Lage, und sieht nun zu, ob der vertikale Faden auch in dieser zweiten Lage das terrestrische Objekt wieder genau treffe. Hat dieß nicht statt, so verbessert man die Hälfte des so gefundenen Fehlers durch diejenige Schraube, welche das Fadennetz in horizontaler Richtung zu bewegen bestimmt ist. Eine Wiederholung dieses Verfahrens wird den noch übrig gebliebenen Fehler bald bis zur völligen Unmerklichkeit desselben vermindern.

§. 199. (Theodolit.) Dieses Instrument unterscheidet sich nicht wesentlich von dem Multiplikationskreise; die Bauart und Einrichtung ist in beiden dieselbe, nur daß bei dem Multiplikationskreise der Höhenkreis, bei dem Theodoliten aber der Horizontalkreis der wichtigere und daher auch der mit mehr Sorgfalt von dem Künstler ausgearbeitete ist. Aus dieser Ursache wird auch der Theodolit mehr zu geodätischen Messungen, für irdische Gegenstände, gebraucht, wo man vorzüglich die horizontale Distanz derselben sucht, während der Multiplikationskreis, wie wir gesehen haben, besonders zur Beobachtung der Höhe der Gestirne bestimmt ist. Es wäre aber wünschenswerth, beide Kreise bei beiden Instrumenten gleich groß und gleich gut zu machen, damit jedes derselben zu dem geodätischen sowohl, als astronomischen Zwecke brauchbar werde.

Der Theodolit ist in Fig. 109 vorgestellt. Man sieht hier wieder die drei starken Fußschrauben K, K′, K″ des dreiarmigen Fußgestells; diese Arme sind an ihren Enden, wo sie die Fußschrauben aufnehmen, in zwei Theile gespalten, und diese Theile können durch eigene Seitenschrauben k, k′, k″ einander genähert werden, um jede Wankung der Fußschrauben zu verhindern. Diese letzten Schrauben laufen an ihren unteren Enden in eine konische Stahlspitze aus, die in einer ähnlichen konischen Vertiefung einer starken Metallscheibe y, y′, y″ sich bewegt, welche Scheiben an ihrer untern Seite mit anderen drei kurzen, konischen Stahlspitzen versehen sind, womit sie fest und unverrückbar auf dem Beobachtungstische P aufliegen. An der untern Seite dieser drei Arme des Fußgestelles ist wieder (wie bei Fig. 107) die metallene Spange aFc angeschraubt. Auf dieser Spange steht die eigentliche vertikale Drehungsaxe FE des Theodoliten, die sich in dem hohlen Cylinder QQ′ frei bewegt, und an deren oberen Ende der Horizontalkreis RR′ senkrecht auf jene Axe befestiget ist. Dieser Horizontalkreis ist entweder ein einfacher Kreis, über dessen Ebene eine in dem Mittelpunkte desselben, unter E, an die Axe FE befestigte Alhidade, die an ihrem anderen Ende mit einem Verniere versehen ist, auf und ab läuft, oder er besteht, wie bei dem Multiplikationskreise, aus zwei koncentrischen Kreisen, von welchen der äußere oder größere durch eine eigene Druckschraube an die Hülse QQ′ der vertikalen Axe FE befestiget werden kann, während der innere, das Fernrohr und den Höhenkreis tragende Kreis sich entweder innerhalb des festen äußeren frei drehen oder, wenn er durch seine Druckschraube an diesen äußeren Kreis befestiget wird, mit diesem zugleich um die Axe FE rotiren kann, um dadurch die gemessenen horizontalen Winkel auf dieselbe Weise zu multipliciren, wie dieß oben für das in Fig. 107 abgebildete Instrument bei den Höhenwinkeln gezeigt worden ist.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

In beiden Fällen sind auf dem inneren Kreise RR' vertikale Säulen fg befestiget, die an ihren oberen Enden die horizontale Drehungsaxe AB des Instruments tragen. Senkrecht auf diese Drehungsaxe ist der Vertikalkreis TT' des Theodoliten und das Fernrohr CND desselben befestiget. Dieser Vertikalkreis ist ebenfalls entweder ein einfacher Kreis mit seiner an der Axe AB befestigten Alhidade, de, oder er ist ein doppelter koncentrischer Kreis, auf dieselbe Art, wie in Fig. 107 eingerichtet, um damit auch die Höhen multipliciren zu können. Das Fernrohr CND ist in seiner Mitte bei N unter einem rechten Winkel gebrochen, wo dann ein im Innern des Rohrs bei N angebrachter kleiner Spiegel die von dem Objektive D nach der Richtung DN einfallenden Strahlen in die darauf senkrechte Richtung NC nach dem Okular C zu reflektirt. Bei dieser Einrichtung des Fernrohrs wird also das Auge des Beobachters bei C immer das Gestirn, es mag hoch oder niedrig stehen, in der horizontalen Richtung der Linie CN erblicken, zu welchem Ende demnach die eine Hälfte NC der Drehungsaxe durchbohrt oder hohl seyn muß. Damit die Drehungsaxe AB durch die Objektivhälfte ND des Fernrohrs nicht schief gedrückt wird, ist das Gegengewicht H an der Stange NH angebracht. Um endlich den Höhenkreis TT' in jeder seiner Lagen fest zu stellen, wird man die Druckschraube n, die unmittelbar auf die Drehungsaxe AB wirkt, anziehen. Um dann dem so befestigten Kreis sammt seinem Fernrohre doch noch eine kleine Bewegung zu geben, durch welche man den Faden des Fernrohrs genau auf den Stern bringen kann, ist eine eigene Vorrichtung hL mit ihrer Mikrometerschraube mh angebracht, die ganz der bei dem Meridiankreise (Fig. 105) bei c'd' und f h beschriebenen ähnlich ist und daher hier keiner weiteren Erläuterung bedarf.

§. 200. (Gebrauch und Rectifikation des Theodoliten.) Wenn der Kreis RR' und die Drehungsaxe AB bereits horizontal, und wenn der Höhenkreis TT' so wie die optische Axe des Fernrohrs bereits senkrecht auf der Drehungsaxe AB, also auch senkrecht zu dem Horizonte gestellt sind, so wird man, wenn das Instrument nicht multiplicirt oder wenn die beiden äußeren Kreise RR' und TT' fest sind, bei der Beobachtung mit diesem Instrumente auf folgende Weise verfahren.

Gesetzt, man wollte den Winkel, welchen zwei Thurmspitzen in dem Auge des Beobachters bilden, und zugleich die Differenz der Höhen dieser Spitzen über dem Horizonte finden. Zu diesem Zwecke wird man also den Höhenkreis TT' sammt dem Fernrohre um die Vertikalaxe FE, und zugleich das Fernrohr ND um seine Horizontalaxe AB so lange drehen, bis die Spitze des einen Thurms im Felde des Fernrohrs nahe bei dem Durchschnitte der beiden Kreuzfäden desselben erscheint. Jetzt werden beide Kreise RR' und TT' durch ihre Druckschrauben geschlossen und der Fadendurchschnitt, mit Hülfe der Mikrometerschrauben dieser beiden Kreise genau auf die Thurmspitze gebracht, wo dann die beiden Kreise abgelesen werden. Dann werden sie wieder gelüftet und so lange gedreht, bis auch die zweite Spitze im Felde des Fernrohrs erscheint, wo dasselbe Verfahren wiederholt und die Stellung der beiden Kreise wieder abgelesen wird. Die Differenz der beiden Lesungen an dem Kreise RR' gibt dann den gesuchten Horizontalwinkel der beiden Thürme, so wie die Differenz der beiden Lesungen des Kreises TT' die gesuchte Höhendifferenz der Spitzen dieser Thürme geben wird.

Will man die absolute Höhe dieser Objekte selbst kennen, so wird man zuerst den Zenithpunkt des Höhenkreises TT' durch die oben (§. 191) erwähnten Methoden bestimmen. Man wird z. B. die Höhe irgend eines weit entfernten und scharf begränzten Gegenstandes in zwei entgegenge-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

setzten Lagen des Instruments beobachten, indem bei der ersten Beobachtung der Kreis TT' rechts und in der zweiten links von dem Fernrohre ND steht. Diese Differenz der beiden Lesungen oder der während dieser beiden Beobachtungen von dem Fernrohre durchlaufene Bogen wird die doppelte Zenithdistanz des Objekts seyn. Da man dadurch die einfache, wahre Zenithdistanz und die ihr, in beiden Lagen des Kreises entsprechende Theilzahl kennt, so weiß man auch, welche konstante Größe man von jeder Lesung an diesem Kreise abzuziehen oder zu ihm hinzuzusetzen hat, um in jeder anderen Beobachtung sogleich wieder die wahre Zenithdistanz des Gegenstandes zu erhalten.

Stellt man ebenso den Nullpunkt des Horizontalkreises RR' in der Ebene des Meridians auf, oder, was dasselbe ist, weiß man, welcher Punkt dieses Horizontalkreises dem Meridiane entspricht, so wird man auch alle an diesem Kreise abgelesenen Bogen nur von jenem Meridianpunkte an zählen, oder von jeder Lesung an diesem Kreise eine bekannte Konstante abziehen, um sofort auch die Azimute der beobachteten Gegenstände zu erhalten.

Alles dieß setzt aber voraus, daß von den beiden Kreisen RR' und TT', so wie von den beiden Axen AB und FE die eine horizontal und die andere genau vertikal sey. Dieser Forderung zu genügen oder das Instrument zu rektificiren, wird man ganz so, wie oben (§. 198) bei dem Multiplikationskreise gesagt worden ist, verfahren.

Um zuerst die vertikale Drehungsaxe FE vollkommen senkrecht auf den Horizont zu stellen, wird man sich einer Libelle bedienen, die mit ihren zwei Füßen auf die cylindrischen Enden der Axe AB aufgestellt wird, so daß die Glasröhre der Libelle zwischen den Speichen des Kreises TT' zu stehen kommt. Dann stellt man diese Axe AB parallel zu zwei Fußschrauben KK' und verbessert, bei der jedesmaligen Umdrehung des Kreises um 180 Grade, die eine dieser beiden Fußschrauben so lange, bis die Mitte der Blase in beiden Lagen des Instruments immer denselben Punkt zeigt. Ist z. B. 12 der Theilstrich, bei welchen die Mitte dieser Blase in der ersten Lage steht, und ist 20 derselbe für die zweite Lage des Instruments, so wird in der zweiten Lage die erwähnte Fußschraube so bewegt, daß die Mitte der Blase zu dem Theilstrich 16 oder zu dem Mittel von jenen beiden komme. Ist dieß berichtigt, so wird die Axe AB in eine auf die beiden vorigen senkrechte Lage gebracht, und bloß durch die dritte Fußschraube die Mitte der Libelle wieder auf den Theilstrich 16 zurückgeführt. Zeigt dann die Libelle, bei allen Richtungen der Axe AB, immer denselben Punkt, so wird die Axe FE vollkommen vertikal oder der von dem Künstler auf diese Axe senkrecht abgedrehte Kreis RR' wird vollkommen horizontal seyn, wodurch die erste der oben erwähnten Bedingungen erfüllt ist.

Allein nun ist es noch möglich, daß die beiden Stützen fg, welche die horizontale Drehungsaxe AB tragen, von ungleicher Länge sind, wo dann die auf dieser Stütze ruhende Axe AB nicht mehr horizontal, also auch der auf diese Axe AB von dem Künstler bereits senkrecht abgedrehte Kreis TT' auch nicht mehr vertikal seyn würde, worin doch die zweite Bedingung besteht, die statt haben muß, wenn das Instrument in der That zu Beobachtungen tauglich seyn soll. — Um nun auch dieser Forderung zu genügen, wird man dieselbe Libelle, ohne übrigens jetzt den Kreis selbst weiter zu bewegen, zuerst in einer und dann in der entgegengesetzten Lage auf die Endpunkte der Axe AB stellen, so daß derselbe Fuß der Libelle zuerst nach A und dann nach B kömmt. Steht die Libelle in diesen beiden Lagen derselben bei verschiedenen Theilstrichen, so

wird man durch eine eigens dazu bestimmte Schraube, die an der einen der Stützen fg bei Z angebracht ist, diese Stütze etwas erhöhen oder erniedern, bis die Libelle in der Mitte zwischen jenen beiden abgelesenen Theilstrichen steht, und dieses Verfahren wird man so lange wiederholen, bis die Libelle in ihren beiden Lagen immer denselben Theilstrich zeigt, wo dann die Drehungsaxe AB horizontal ober dem Kreise RR' parallel, und zugleich der Kreis TT' gegen den Horizont senkrecht seyn wird.

Um endlich auch noch die optische Axe des Fernrohrs mit dem Kreise TT' parallel zu stellen, wird man den senkrechten Faden desselben auf irgend ein scharf begränztes terrestrisches Objekt richten und dann die Axe AB sammt Fernrohr und Höhenkreis aus ihren beiden Lagern bei A und B herausheben, um es in verkehrter Stellung, so daß jetzt das Axenende A auf das Lager B komme, wieder in diese Lager zurückbringen. Wird jetzt das Fernrohr wieder auf das terrestrische Objekt zurückgebracht, und weicht der Faden etwas von demselben ab, so wird man die Hälfte des bemerkten Fehlers durch die Schraube bei A verbessern, welche bestimmt ist, das Fadennetz in horizontaler Richtung zu bewegen.

§. 201. (Aequatorial.) Wenn man einen Höhenkreis, wie z. B. den in Fig. 107 beschriebenen, so aufstellen wollte, daß die früher verticale oder auf dem Horizonte senkrechte Drehungsaxe FE jetzt auf dem Aequator senkrecht steht, d. h. daß diese Axe in der Ebene des Meridians aufgestellt, mit dem Horizonte einen Winkel bildet, der gleich der Polhöhe des Beobachtungsorts ist, so würde man ein Aequatorial haben, wie dasselbe in Fig. 110 abgebildet erscheint. Dieses Instrument ist also von einem Höhenkreise nur in der Aufstellung seiner Axe wesentlich verschieden. Bei dem Höhenkreise geht diese Drehungsaxe nach dem Zenithe, bei dem Aequatorial aber nach dem Pole des Aequators, oder dort steht die Axe senkrecht auf dem Horizonte, während diese Axe EF (Fig. 110) hier der Weltaxe parallel liegt; dort stellt also auch der auf diese Axe senkrechte Kreis M (Fig. 107) den Horizont vor, während hier dieser Kreis AA' (Fig. 110) mit dem Aequator parallel ist; dort endlich liegt der verticale Kreis mn (Fig. 107) immer in der Ebene eines Höhenkreises, während hier dieser Kreis BB'' (Fig. 110), wie man ihn auch um die ihm parallele Axe EF drehen mag, da seine Ebene stets durch diese Axe gehend angenommen wird, immer in dem Declinationskreise derjenigen Sterne liegt, durch welche seine Ebene geht. So wie daher bei dem Höhenkreise (Fig. 107) der Kreis M die Azimuthe und der Kreis mn die Zenithdistanzen der Gestirne zu geben bestimmt ist, so wird bei dem Aequatorial (Fig. 110) der auf die Drehungsaxe EF senkrechte Kreis AA die Stundenwinkel, und der mit dieser Axe parallele Kreis BB'' die Polstistanzen der Sterne, die man eben durch das Fernrohr CD beobachtet, zu geben bestimmt seyn.

Man stelle sich also eine senkrechte, auf dem Tische oder in dem Boden befestigte Säule P vor, an dessen oberem Ende eine andere cylindrische Säule EF so aufliegt, daß sie der Weltaxe parallel ist und sich um ihre eigene Axe drehen läßt. Das untere Ende E dieses Cylinders geht durch einen auf ihn senkrecht gestellten, an der Säule P befestigten Kreis. Durch das obere durchbohrte Ende F dieses Cylinders aber geht, ebenfalls auf ihm senkrecht, die Axe FG eines andern Kreises BB'', dessen Ebene also, da überhaupt jeder Kreis BB'' auf seiner Axe FG schon von dem Künstler senkrecht gestellt wird, mit der cylindrischen Säule EF parallel ist. Diesem Kreise BB' gegenüber ist das mit Blei gefüllte Gegengewicht H angebracht, um dem schiefen Druck dieses Kreises auf die Rotationsaxe EF entgegen zu wirken. Mit diesem letzten Kreise BB'

ist das Fernrohr CD so verbunden, daß es sich um den Mittelpunkt des Kreises, parallel zu der Ebene desselben, bewegen läßt, und daß es, während seiner Bewegung, eine Alhidade mm' mit sich führt, die an einem oder auch an beiden ihrer Enden mit einem Verniere versehen ist. Eine ähnliche Alhidade nn' sieht man auch bei dem anderen Kreise AA' und diese ist an die Drehungsaxe EF befestigt, so daß sich der Vernier n' derselben mit jener Axe EF zugleich über die Ebene dieses Kreises AA' hin bewegt. Bei A und B sieht man zugleich die Druckschrauben, durch welche die Alhidaden nn' und mm', die man sich hier in der Gestalt eines vierarmigen Kreuzes vorstellen kann, an ihren Kreisen festgestellt werden können, sowie die längeren Mikrometerschrauben Aa und Bb, durch welche man, auch wenn jene Druckschrauben angezogen sind, der Alhidade doch noch eine kleine Bewegung geben kann, um (wie oben §. 188) den Faden des Fernrohrs genau auf den beobachteten Stern zu stellen.

Denken wir uns also die Drehungsaxe FE des Aequatorials genau der Weltaxe parallel aufgestellt und das Instrument in allen seinen Theilen berichtiget. Dreht man dann diese Axe FE um sich selbst, so wird auch die an die Axe befestigte Alhidade nn', sowie der Deklinationskreis BB'' sammt seinem Fernrohre CD sich um diese Axe bewegen, während der Aequatorialkreis AA', der an der Säule P unveränderlich befestiget ist, allein in Ruhe bleibt. Dreht man auf diese Weise die Axe FE so lange, bis der Vernier n' auf dem höchsten Punkte des Kreises AA', also im Meridian steht, so wird dann auch der Deklinationskreis BB'' in der Ebene des Meridians seyn und senkrecht auf dem Horizonte stehen. Bewegt man in dieser Lage des Instruments das Fernrohr, parallel mit seinem Kreise, so lange, bis der Durchschnitt des Kreuzfadens auf einem Gestirne steht, so wird die Alhidade bei m oder m' die Poldistanz dieses Gestirns anzeigen, während die Alhidade n', die bei dem mit Null bezeichneten Theilstriche des Kreises AA' steht, anzeigt, daß der Stundenwinkel des Gestirns gleich Null ist, wie es seyn soll, da der Stern eben durch die Ebene des Meridians geht. Dreht man dann die Axe EF noch weiter z. B. um 30 Grade oder, was dasselbe ist, um 2 Stunden, gegen Westen, so rückt dadurch die mit dieser Axe verbundene Alhidade nn' auf ihrem festen Aequatorialkreise AA' ebenfalls um 30 Grade gegen West oder in der Richtung AnA' vor, und ganz eben so viel dreht sich auch der ebenfalls an jener Axe EF befestigte und mit ihr immer parallele Kreis BB' sammt seinem Fernrohre gegen West weiter, so daß also jetzt die Ebene dieses Kreises, und daher auch die mit ihm parallele optische Axe des Fernrohrs, in der Ebene desjenigen Deklinationskreises liegt, der zwei Stunden westlich von dem Meridian entfernt ist. In dieser Lage des Instruments wird also jeder Stern, den man in dem Durchschnitte des Kreuzfadens des Fernrohrs erblickt, in diesem Augenblicke den Stundenwinkel von 30 Graden oder von 2 Stunden haben, weil die Alhidade nn' des Kreises AA' auf den Theilstrich von 30 Graden steht, und die Poldistanz dieses Sterns wird unmittelbar durch die Alhidade m oder m' des anderen Kreises BB' angegeben werden.

Man sieht daher, daß man mit einem solchen Instrumente unmittelbar den Stundenwinkel und die Poldistanz eines Gestirns angeben kann. Bewegt man nämlich den Kreis BB' um die Drehungsaxe EF des Instruments so, daß die Ebene dieses Kreises, wenn man sie bis an den Himmel erweitert gedenkt, durch den Stern geht, und bewegt man dann das Fernrohr CD, parallel mit seinem Kreise BB' so, daß der

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Stern im Durchschnitte der Fäden erscheint, so wird die Alhidade mm' dieses Kreises BB' die Poldistanz, und die Alhidade nn' des Kreises AA' den Stundenwinkel dieses Gestirns anzeigen. Kennt man überdieß, durch Hülfe einer bereits berichtigten Uhr, die Sternzeit dieser Beobachtung, so wird man nur den durch das Instrument gegebenen Stundenwinkel von dieser Sternzeit subtrahiren, um sofort auch (Einl. §. 28) die Rectascension des beobachteten Gestirns zu erhalten. Das Aequatorial gibt also durch jede einzelne Beobachtung, wenn die Sternzeit derselben bereits bekannt ist, die Rectascension und Poldistanz des beobachteten Gestirns, wodurch die Lage des Gestirns am Himmel vollkommen bestimmt ist. Man sieht zugleich, daß von den beiden Kreuzfäden des Fernrohrs der eine, der Stundenfaden, dem Kreise BB' parallel und der andere, der Deklinationsfaden, auf dem Kreis BB' senkrecht, also mit dem andern Kreise AA' parallel gestellt seyn muß.

§. 202. (Vortheile, welche das Aequatorial bei den Beobachtungen gewährt.) Man hat so eben gesehen, daß man durch dieses Instrument die Rectascension und Poldistanz der Gestirne unmittelbar bestimmen kann. Da dieß die gewöhnliche Art ist, durch welche die Astronomen die Orte der Gestirne am Himmel angeben, so muß auch ein solches Instrument dem Beobachter vorzüglich willkommen seyn. Allein es gibt wohl nur wenige so vollkommen gebaute Aequatoriale, mit welchen man die Rectascension oder eigentlich den Stundenwinkel und die Poldistanz der Gestirne in der That unmittelbar und mit derjenigen Schärfe bestimmen kann, die man bei den so genauen Beobachtungen unserer Zeit zu fordern berechtigt ist. Bei den weniger sorgfältig gebauten Instrumenten dieser Art, die man parallaktische Maschinen nennt, pflegt man das Fernrohr derselben in der Nähe des zu beobachtenden Gestirns, z. B. eines Planeten, aufzustellen und dann diesen Planeten sowohl, als auch einen ihm nahen, bekannten Fixstern durch das, während dieser Beobachtungen unbewegt oder ruhend bleibende Fernrohr, durchgehen zu lassen, woraus man dann, zwar nicht mehr die absolute Rectascension und Poldistanz, aber doch die Differenz der Rectascension und Poldistanz des Planeten und des Sterns, also auch, wenigstens mittelbar, den Ort des Planeten erhält, da jener des Sterns schon bekannt ist. Wir werden diese sehr nützliche und anwendbare Beobachtungsart weiter unten näher kennen lernen. Hier wollen wir nur bemerken, daß, wenn das Fernrohr in der That während des Durchganges beider Gestirne unverrückt bleiben soll, die Beobachtung nur auf solche Fixsterne beschränkt bleibt, die, wenigstens in ihrer Poldistanz, nicht weiter von dem Planeten abstehen, als der Durchmesser des Feldes des Fernrohrs beträgt. Dieser Durchmesser erstreckt sich aber bei stärkeren Vergrößerungen, die hier immer vorzüglich wünschenswerth sind, nur auf fünf bis zehn Minuten, und es findet sich nur zu oft, daß man in solcher Nähe keine wohlbekannten Sterne findet, die man mit dem Planeten vergleichen kann, um daraus den Ort des letzteren am Himmel zu bestimmen. In diesem Falle sind also die sorgfältiger gearbeiteten und größern Aequatoriale, wie die von Reichenbach, von ganz vorzüglichem Nutzen, da man bei ihnen, wenigstens das Fernrohr an seinem Kreise BB' um mehrere Grade verrücken und die Differenz der Poldistanzen beider Gestirne an diesem Kreise mit großer Sicherheit ablesen kann. Dabei bleibt also die Alhidade nn' des Aequatorkreises AA' und daher auch die Ebene des Kreises BB' selbst unverrückt, und man beobachtet eigentlich beide Gestirne in demjenigen Deklinationskreise des Himmels, durch welchen die Ebene des Kreises BB' in dieser seiner Stel-

lung geht, oder, wenn man lieber will, man beobachtet jetzt die beiden Gestirne gleichsam wieder durch ein ruhendes Fernrohr, dessen Feld aber, selbst bei einer sehr starken Vergrößerung, einen Durchmesser von fünf bis zehn Graden hat, wodurch die oben erwähnte Beschränkung in der Auswahl der passenden Sterne beinahe gänzlich beseitiget wird. Auf der Sternwarte in Wien werden Beobachtungen dieser Art an dem Aequatorial von Reichenbach seit mehreren Jahren angestellt, und sie harmoniren, wie die Annalen dieser Sternwarte zeigen, sehr gut mit den gleichzeitigen Beobachtungen an dem Meridiankreise, so daß es fortan, wenn nur die zur Vergleichung gewählten Sterne genau bestimmt sind, nicht mehr nothwendig ist, die Planeten bloß zur Zeit ihrer Kulmination zu beobachten, sondern daß man sie ganz eben so gut zu jeder bequemen Abendstunde und überhaupt in jedem von der Witterung begünstigten Augenblicke nicht nur, wie in dem Meridian, einmal, sondern selbst wiederholt beobachten und auch mit mehreren Sternen vergleichen kann.

Aber auch außer den eigentlichen astronomischen Beobachtungen gewährt das Aequatorial so wesentliche Vortheile, daß diese parallaktische Aufstellung der Fernröhre, wenigstens der größeren, allgemein eingeführt zu werden verdient. Auf welchem Punkt seines Kreises BB' nämlich das Fernrohr CD gestellt wird, so beschreibt dasselbe, wenn man das Instrument um seine große Axe EF dreht, einen Kegel, dessen Axe eben diese Linie EF, d. h. die Weltaxe selbst ist, oder mit anderen Worten, das bis an den Himmel verlängerte Fernrohr beschreibt daselbst einen Kreis, dessen Pol zugleich der Pol des Aequators ist. Allein einen ganz ähnlichen Kreis beschreibt auch jeder Stern am Himmel während seiner täglichen Bewegung um die Axe der Erde, woraus also folgt, daß das Fernrohr, wenn es einmal auf einen, dem Pole nahen oder fernen Stern gestellt und dann mittelst seiner Druckschraube bei B an seinem Kreis BB' geklemmt wird, nur entweder sanft mit der Hand oder besser mit einer eigenen Vorrichtung um die Axe EF gedreht werden darf, um den Stern, den ganzen Tag durch, immer unverrückt in der Mitte des Gesichtsfeldes zu erhalten. Ganz anders verhält sich dieß bei einem Fernrohre, das wie in Fig. 107 aufgestellt ist, oder welches, wie gewöhnlich der Fall ist, bloß eine vertikale und eine horizontale Bewegung hat. Denn da die Gestirne in ihrem täglichen Gange um die Erde keine von diesen beiden, sondern vielmehr eine kreisförmige Bewegung haben, so geschieht es nur zu oft, besonders bei stärkeren Vergrößerungen, daß der Beobachter den Stern, wenn er dem Rande des Fernrohrs zu nahe tritt, aus dem Gesichtsfelde verliert, wo er dann oft nicht ohne Mühe wieder aufgesucht werden muß, was bei einem parallaktisch aufgestellten Fernrohre nie besorgt werden darf.

Dazu kömmt noch, daß diese parallaktische Aufstellung das beste und bequemste Mittel gewährt, die Gestirne selbst bei Tage zu sehen oder auch bei Nacht diejenigen lichtschwachen Gestirne aufzusuchen, die man mit unbewaffneten Augen nicht mehr bemerken kann. Wenn man z. B. mit einem wie in Fig. 107 aufgestellten Fernrohre Mars oder Jupiter am Tage oder auch die vier kleinen neuen Planeten bei Nacht sehen will, so muß man für die Zeit der Beobachtung ihr Azimut und ihre Höhe kennen, die man nur durch umständliche Berechnungen finden kann. Stellt man dann die Alhidade des Kreises M auf das Azimut und die des Kreises mn auf die Höhe oder Zenithdistanz des Sterns, so wird man den gesuchten Stern in dem Felde des Fernrohrs erblicken. Ist man aber im Besitze eines Aequatorials oder einer parallaktischen Maschine, so wird man für jede gegebene Sternzeit, in welcher man ein

seiner Lage am Himmel nach bekanntes Gestirn beobachten will, nur von dieser Sternzeit die bekannte Rectascension des Sterns subtrahiren, um den Stundenwinkel (I. §. 28) desselben zu erhalten. Stellt man dann die Alhidade mm' des Kreises AA' (Fig. 110) auf diesen Stundenwinkel und die Alhidade nn' des Kreises BB' auf die Poldistanz des Sterns, so wird man auch das gesuchte Gestirn sofort in dem Felde des Fernrohrs CD erblicken. Diese Rectascension und Poldistanz aber ist für alle Planeten und für viele Tausende von Fixsternen bereits in unseren Sternkatalogen und astronomischen Ephemeriden enthalten, aus welchen man sie daher nur, ohne alle Rechnung, nehmen darf, um das gesuchte Gestirn auch sofort in seinem Fernrohre sehen und beobachten zu können.

Wenn aber das Fernrohr sehr lang oder schwer ist, wie bei dem Spiegelteleskope, so kann man dasselbe nicht mehr gut mit einer parallaktischen Aufstellung verbinden. In diesem Falle wird es in England zwischen einem starken Gerüste aufgestellt, wie man in Fig. 111 sieht. Hier wird die vertikale Bewegung des Fernrohrs durch die in der Zeichnung sichtbaren Schnüre, die horizontale aber dadurch hervorgebracht, daß das Instrument sammt seinem Gerüste mittels vier Rollen auf der Peripherie einer kreisförmigen, horizontalen Unterlage, ebenfalls durch Schnüre oder Kurbeln herumgeführt wird. Um und über das Ganze wird ein Thurm mit einem beweglichen Dache erbaut, dessen Oeffnung man auf diejenige Stelle des Himmels bringt, die man eben beobachten will.

§. 203. (Rectifikation der Aequatorials.) Alles Vorhergehende setzt aber voraus, daß das Instrument in allen seinen Theilen so weit berichtigt ist, daß das Fernrohr, wenn es auf den Stundenwinkel und die Poldistanz eines Sterns gestellt wird, diesen Stern wenigstens in der Nähe des Durchschnittes seines Fadenkreuzes, wenn auch nicht genau in diesem Durchschnitte zeige. Dazu werden nun mehrere vorbereitende, die Stellung des Instruments betreffende Rectifikationen erfordert, von welchen die vorzüglichsten folgende sind.

1. Soll die Rotationsaxe EF des Instruments in der Ebene des Meridians liegen. 2. Soll diese Axe gegen den Horizont um die Polhöhe des Beobachtungsortes gegen Nord geneigt seyn. 3. Sollen die Alhidaden mm' und nn' der beiden Kreise so gestellt seyn, daß der erste auf Null steht, wenn das Fernrohr nach dem Pole des Aequators gerichtet ist, und daß auch der zweite auf Null steht, wenn der Kreis BB' oder sein Fernrohr CD in der Ebene des Meridians ist. 4. Soll der Kreis BB' mit der Rotationsaxe EF parallel seyn, und endlich soll auch 5. die optische Axe des Fernrohrs CD mit ihrem Kreise BB' sich parallel bewegen.

Den beiden letzten Forderungen wird man am besten auf folgende Art entsprechen. — Es wurde bereits oben (§. 201) gesagt, daß das Aequatorial nichts anderes als ein Höhenkreis ist, dessen vertikale Axe FE man schief gegen den Horizont und zwar mit der Weltaxe parallel legt. Nun wird man sich leicht eine einfache Vorrichtung, etwa nur von Holz verschaffen, durch welche man das Aequatorial so aufstellt, daß seine Drehungsaxe FE wieder in seine ursprüngliche oder vertikale Lage zurückkömmt. Dann wird man also wieder einen Höhenkreis haben und an ihm jene beiden Fehler 4 und 5 ganz ebenso berichtigen, wie dieß oben (§. 198) bei dem Höhenkreis gesagt worden ist. Man wird nämlich dann, nachdem man die Axe EF durch das oben angezeigte Verfahren auf den Horizont genau senkrecht gestellt hat, den Kreis BB' mit seiner vertikal stehenden Axe EF parallel machen, wenn man die Häng-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

libelle in zwei einander entgegengesetzten Lagen an die Axe FG dieses Kreises BB' anhängt und dadurch diese Axe FG horizontal, d. h. den Kreis BB' selbst vertikal oder mit der bereits vertikal stehenden großen Drehungsaxe FE parallel stellt. Und eben so wird man die optische Axe des Fernrohrs mit der Ebene des Kreises BB' parallel stellen, wenn man das Fernrohr in zwei einander entgegen gesetzten Lagen auf dasselbe terrestrische Objekt stellt. Dieses Verfahren hat noch den Vortheil, daß man, wenn durch das so aufgestellte Aequatorial die Zenithdistanz irgend eines terrestrischen Objekts mit umgewendetem Kreise zweimal beobachtet, (wie oben §. 191) den Zenithpunkt des Kreises BB' erhält. Wenn diese Berichtigungen vorüber sind, so legt man die Rotationsaxe EF wieder in ihr, der Weltaxe wenigstens beinahe paralleles Lager rr zurück und bringt den Kreis BB' mittelst einer an seiner Axe FG aufgehängten Libelle in eine auf dem Horizonte senkrechte Stellung.

Um dann die Drehungsaxe EF ganz genau in die Ebene des Meridians sowohl, als auch in die gehörige Neigung gegen den Horizont zu bringen, wird man einen Stern, am besten den Polarstern, einige Minuten vor seiner Kulmination mit dem Fernrohre verfolgen, und durch einen Gehülfen den einen Endpunkt E oder F der Drehungsaxe so weit östlich oder westlich bewegen lassen, daß der Stern im Augenblicke der Kulmination genau auf den dem Kreise BB' parallelen Faden, d. h. auf den Stundenfaden des Fernrohrs trifft, und dann wird die Rotationsaxe EF in der Ebene des Meridians liegen, oder die oben angeführte erste Forderung wird erfüllt seyn.

Allein dann wird diese im Meridian liegende Axe vielleicht noch einen Winkel mit dem Horizonte bilden, der von der Polhöhe des Beobachtungsortes verschieden ist. Um daher auch diese zweite Stellung der Axe noch zu berichtigen, wird man bemerken, daß der oben gefundene Zenithpunkt des Kreises BB' jetzt in der dem Aequatorial eigenthümlichen Lage, den Polpunkt dieses Kreises bildet. Dieß ist nämlich derjenige Punkt des Kreises BB', dessen Halbmesser der Rotationsaxe EF parallel ist, und der daher, wenn man ihn bis an die Sphäre des Himmels verlängert, durch den Pol des Aequators gehen soll. Da man aber die Poldistanz des Polarsterns, wie sie durch die Refraction verändert wird, ebenfalls schon kennt, so wird man das bereits in der Ebene des Meridians liegende Fernrohr auf denjenigen Punkt des Kreises BB' stellen, der von dem Polpunkte desselben um diese Poldistanz des Sterns entfernt ist, und nun zusehen, ob im Augenblicke der Kulmination der Stern, nicht nur wie zuvor auf den Stundenfaden, sondern auch auf den Declinationsfaden des Fernrohrs trifft. Ist dieß nicht der Fall, so wird man durch den Gehülfen einen der beiden Endpunkte E oder F so viel höher oder tiefer schrauben lassen, bis der Deklinationsfaden den Stern genau bedeckt, und dann wird also auch die zweite der oben genannten Bedingungen erfüllt seyn.

Liest man endlich in der so erhaltenen Stellung des Instruments die Verniere der beiden Alhidaden ab, und findet man z. B., daß der Vernier mm' des Kreises AA' bei der Zahl $0^h\ 4'\ 10''$, und daß der Vernier mm' des Kreises BB' bei der Zahl $1^\circ\ 32'\ 6''$ steht, während die Sternzeit der Beobachtung, wo der Stern im Durchschnitte des Fadenkreuzes stand, gleich $1^h\ 2'\ 30''$ war, so kann man auch daraus die Fehler des Standes dieser beiden Verniere finden. Denn gesetzt, die Rectascension des Polarsterns ist $0^h\ 59'\ 58''$ und die Poldistanz desselben $1^\circ\ 34'\ 14''$, so wird die Sternzeit weniger der Rectascension der wahre Stundenwinkel des Sterns zur Zeit seiner Beobachtung seyn. Dieser

wahre Stundenwinkel ist also in unserem Beispiele gleich 0^h 2′ 32″. Allein der an dem Kreise AA′ des Instruments abgelesene Stundenwinkel war 0^h 4′ 10″ also um 0^h 1′ 38″ größer als der wahre. Eben so war auch die wahre Poldistanz des Sterns, wie sie von der Refraction verändert wird, gleich 1° 34′ 14″, während die an dem Kreise BB′ des Instruments abgelesene Poldistanz 1° 32′ 6″ oder 0° 2′ 8″ kleiner war, als die wahre. Daraus folgt daher, daß von diesen beiden Vernieren der eine nn′ um 0^h 1′ 38″ zu weit westlich, und der andere mm′ um 0° 2′ 8″ zu nahe bei dem Pole steht, und jetzt kann man entweder diese Verniere, durch eigens dazu bestimmte Schrauben, so weit an ihren Alhidaden verschieben, daß diese Fehler gänzlich verschwinden, oder man kann auch, was sicherer ist, diese Fehler, wenn sie nur klein sind, bestehen lassen und von ihnen bei jeder Beobachtung Rechnung tragen. Dadurch ist also auch den zwei letzten der oben unter Nr. 3 angegebenen Bedingungen genug gethan worden, und jetzt wird das Instrument in vollkommen beobachtungsfähigem Zustande seyn.

Wenn man dann mit diesem Instrumente z. B. einen kleinen, mit freien Augen unsichtbaren Stern aufsuchen will, dessen Rectascension 5^h 40′ 20″ und dessen Poldistanz 36° 15′ 40″ beträgt, so wird man, um ihn zu der Sternzeit 10^h 50′ im Rohre zu erhalten, so verfahren:

Sternzeit	10^h	50′	0″	wahre Poldistanz	36°	15′	40″
Rectasc.	5	40	20″	Correktion		2	8
wahr. Stundenw.	5	9	40	Instr. Poldistanz	36	13	32
Correktion	+	1	38				
Instr. Stundenw.	5	11	18				

Man wird also den Vernier der Alhidade nn′ auf den Theilstrich 5^h 11′ 18″ des Kreises AA′, und den Vernier der Alhidade mm′ auf den Theilstrich 36° 13′ 32″ des Kreises BB′ stellen, und der verlangte Stern wird um 10^h 50′ Sternzeit in der Mitte des Feldes des Fernrohrs erscheinen. Ganz eben so würde man auch umgekehrt, wenn man die Mitte des Fernrohrs zu einer bestimmten Sternzeit auf ein noch unbekanntes Gestirn stellt, und dann die beiden Verniere abliest, die Rectascension und Poldistanz dieses Gestirns und dadurch den Ort desselben am Himmel finden. Denn gesetzt, man hätte diesen Stern um 16^h 17′ 20″ Sternzeit in der Mitte des Feldes im Durchschnittspunkte des Kreuzfadens gesehen und den Vernier des Aequatorkreises AA′ gleich 4^h 11′ 28″, den Vernier des Deklinationskreises BB′ aber gleich 54° 3′ 20″ abgelesen. Dieß vorausgesetzt hat man

Instr. Stundenw.	4^h	11′	28″	Instr. Poldist.	54°	3′	20″
Correktion	—	1	38	Correktion	+	2	8
wahrer Stundenw.	4	9	50	wahre Poldistanz	54	5	28
Sternzeit	16	17	20				
wahre Rectascension	12	7	30				

§. 204. (Berichtigung der Drehungsaxe und der beiden Alhidaden des Aequatorials.) Obschon das Vorhergehende hinreicht, von der Rectifikation sowohl, als auch von der Beobachtungsart an dem Aequatorial einen hinlänglichen Begriff zu geben und dadurch unsere Leser in den Stand zu setzen, dieses nützliche und bequeme Instrument gehörig anzuwenden, so wird es doch nicht überflüssig seyn, die vier ersten der oben unter 1, 2 und 3 erwähnten Berichtigungen noch auf eine andere Weise vorzunehmen, die weniger mechanisch ist, als jene, und die zugleich, gehörig ausgeführt, eine viel größere Sicherheit gewährt, besonders wenn

man die hier angeführten Beobachtungen auch noch mit umgewendetem Kreise BB′ wiederholt und die Libelle zu Hülfe nimmt, die gewöhnlich an dem Fernrohre CD angebracht ist. Uebrigens wird es, dem Zwecke dieser Schrift gemäß, hinreichend seyn, das hier zu beobachtende Verfahren durch einfache analytische Ausdrücke zu geben, ohne auch zugleich die geoemtrischen Beobachtungen anzuführen, welche ihnen zu Grunde liegen.

Ich setze dabei voraus, daß der Kreis AA′, wie dieß in der That gewöhnlich geschieht, in Stunden, und der Kreis BB′ in Grade eingetheilt sey. Man beobachte nun einen sogenannten Cirkumpolarstern, d. h. einen solchen, der so nahe bei dem Pole ist, daß er nicht mehr auf- und untergeht, und zwar in seinen beiden Culminationen, so daß in jeder derselben der Durchschnitt des Kreuzfadens den Stern genau deckt. Dieß vorausgesetzt, nennen wir dann s den Stundenwinkel oder die Zahl des Verniers nn′ an dem Kreise AA′ und p die Poldistanz oder die Zahl des Verniers mm′ an dem Kreise BB′, wie man diese beiden Zahlen nach der Beobachtung der obern Culmination an dem Instrumente abgelesen hat. Für die untere Culmination bezeichne man dieselben beiden Größen durch s′ und p′. Nennt man nun P die wahre Poldistanz des Sterns und Ds den Fehler des Verniers nn′ und Dp den Fehler des Verniers mm′, so erhält man diese Fehler sogleich durch die folgenden zwei einfachen Ausdrücke:

$$Ds = {}^1/_2\ (12^h - s' - s) \text{ und}$$
$$Dp = P - {}^1/_2\ (p' + p)$$

und dadurch sind also die beiden oben unter Nr. 3 angeführten Fehler bestimmt.

Nennt man dann x die Anzahl Secunden, um welche das eine Ende der Rotationsaxe EF in vertikaler Richtung, und y die Anzahl Secunden, um welche dieses Ende in horizontaler Richtung verstellt werden soll, um diese Rotationsaxe der Weltaxe genau parallel zu machen, so hat man

$$x = {}^1/_2\ (p' - p)$$
$$y = {}^{15}/_2\ (12^h + s - s')\ \text{Tang. P.}$$

und dadurch sind auch die zwei ersten der oben erwähnten Fehler bestimmt.

Um diese einfachen Ausdrücke auf ein Beispiel anzuwenden, so sey für einen Cirkumpolarstern, dessen wahre Poldistanz $P = 1^\circ\ 34'\ 10''$ beträgt, in der oberen Culmination $s = 0^h\ 2'\ 10''$ und $p = 1^\circ\ 33'\ 20''$, und in der unteren $s' = 12^h\ 2'\ 30''$ und $p = 1^\circ\ 33'\ 36''$ gefunden worden. Dieß vorausgesetzt findet man durch jene Ausdrücke sogleich die beiden Fehler der Verniere $Ds' = 10$ Zeitsecunden und $Dp = 42$ Raumsecunden. Für die doppelte Berichtigung der Axe aber erhält man in vertikaler Richtung $x = 8''$ und in horizontaler $y = 4''$.

Mittelst dieser vier Werthe würde man also jetzt die Lage der Verniere sowohl, als auch die der Axe verbessern und diese Fehler gänzlich wegbringen. Da sie aber bereits sehr klein sind, und da das Instrument durch die Einwirkung der Temperatur und der verschiedenen Biegungen seiner Theile nicht leicht ganz fehlerlos erhalten werden kann, so wird es besser seyn, diese Fehler auf die angezeigte Art von Zeit zu Zeit wieder zu bestimmen und dann bei den Beobachtungen davon Rechnung zu tragen.

Ich wünschte, durch diese Darstellung der Berichtigung und des Gebrauchs des Aequatorials zur Aufnahme dieses wichtigen und häufig

noch nicht nach seinem ganzen Werthe anerkannten Instruments beigetragen zu haben.

§. 205. (Hadley's Sextant.) Alle bisher beschriebenen Instrumente erfordern zu ihren Beobachtungen, wie man sieht, einen festen und unveränderlichen Stand. Allein auf der See kann man diesen nicht haben, und daher war noch eine andere Gattung von Instrumenten wünschenswerth, die dieser Beschränkung nicht unterliegen. Das vorzüglichste von denen, die man zu diesem Zwecke ausgedacht hat, ist der Sextant (Fig. 112), der seinen Namen von seinem Erfinder, John Hadley, hat, obschon man bereits im Jahre 1742 oder zehn Jahre nach der Bekanntmachung dieser Erfindung unter Hadley's hinterlassenen Papieren eine Schrift von Newton's Hand gefunden haben soll, in welchem der letzte dieses Instrument, als von ihm selbst erfunden, beschreibt.

Der Sextant ist bestimmt, die Winkel zweier Gegenstände in jeder Richtung desselben gegen den Horizont selbst dann zu messen, wenn der Beobachter keinen festen Stand hat, daher er, wie gesagt, besonders für den Schiffer brauchbar ist, obschon er auch für Beobachtungen auf dem festen Lande als eines der nützlichsten Instrumente erkannt werden muß.

Es besteht im Allgemeinen aus einem Kreissektor AqO, um dessen Mittelpunkt q sich eine Alhidade qM bewegt, welche bei M einen Vernier und bei q einen auf sie senkrechten Spiegel trägt. Die spiegelnde Fläche desselben geht durch den Mittelpunkt q des Kreissektors und ist mittelst einer Vorrichtung Q auf seiner Rückseite senkrecht auf der Ebene des Sektors befestigt. Ein anderer kleinerer Spiegel ist bei P ebenfalls senkrecht auf die Ebene des Sextanten und so befestiget, daß er sehr nahe parallel mit der Linie qO geht, die den Mittelpunkt q des Sextanten mit dem ersten oder dem Anfangspunkte O des eingetheilten Randes AB verbindet. Wenn daher die Alhidade QM mit ihrem Spiegel q so gestellt wird, daß der Index der Alhidade M durch diesen Anfangspunkt O der Theilung geht, so sind die Ebenen beider Spiegel zu finander parallel.

Die obere Hälfte des kleinen Spiegels P ist durchbrochen, so daß der Lichtstrahl von einem entfernten Objekte H durch diesen offenen Theil des Spiegels unmittelbar in das Auge C oder in das, auf diesen Spiegel nahe senkrecht gestellte Fernrohr DC kommen kann. Wird nun die Alhidade QM mit dem daran befestigten Spiegel q so lange gedreht, bis der Strahl eines zweiten Objektes K in der Richtung Kq auf den großen Spiegel kömmt und von demselben in der Richtung qP auf den untern Theil des kleinen Spiegels P reflektirt wird, von welchem er endlich in der Richtung PC in das Fernrohr oder in das Auge C des Beobachters fällt, so sieht dieses Auge zugleich das Objekt H durch die unmittelbaren Strahlen desselben, oder durch den durchbrochenen oberen Theil des Spiegels P, und das Objekt K durch die von beiden Spiegeln zweimal reflektirten Strahlen, in dem Felde des Fernrohrs, und man wird dann der Alhidade QM durch ihre Mikrometerschraube m noch eine kleine Bewegung geben können, durch welche man es dahin bringt, daß die Bilder der beiden Gegenstände H und K sich im Felde des Fernrohrs genau decken oder auf einander fallen. Da nun bei jedem Spiegel der einfallende Strahl Kq und der zurückgeworfene qP und eben so auch qP und PD mit der Ebene des Spiegels Q oder P immer denselben Winkel bilden und da, wie bereits erwähnt, die Ebene des kleinen Spiegels P mit der Linie qO des Anfangspunktes der Theilung parallel ist, so sieht man leicht, daß bei einer solchen Stellung der Alhidade QM, für welche die Bilder der beiden Objekte H und K sich in dem Fernrohre

decken, der Winkel, welchen beide Spiegel mit einander bilden oder, was dasselbe ist, daß dann der Winkel OqM der Alhidade mit jener Linie qO des Anfangspunktes der Theilung d. h. also, daß der von dem Vernier M der Alhidade von jenem Anfangspunkte O an durchlaufene Bogen OM gleich ist der Hälfte des Winkels, welchen die beiden Objekte H und K in dem Auge des Beobachters bilden.

Aus dieser Ursache theilen auch die Künstler den Kreisbogen AB so ein, daß jeder halbe Grad dieses Kreises durch seine beigesetzten Zahlen schon als ein ganzer betrachtet wird, so daß daher der an dem Instrumente unmittelbar abgelesene Bogen auch sofort gleich dem gesuchten Winkel HCK ist, welchen die beiden Objekte in dem Auge C des Beobachters bilden.

Diese Deckung der beiden Bilder im Fernrohre wird offenbar auch dann nicht gestört, wenn man den Sextanten um sein Fernrohr, gleichsam um die Axe CD, dreht, oder wenn man auch diese Bilder aus dem Mittelpunkte des Feldes an den Rand desselben führt. Und eben dieß ist es, was dieses Instrument zur See so brauchbar macht, wo man es während der Beobachtung mittelst der Handhabe E in freier Hand zu halten pflegt, so daß ungeachtet der Schwankungen des Schiffes die beiden Bilder der Gegenstände doch immer in dem Felde des Fernrohrs erhalten werden können. Bemerken wir noch, daß zur Beobachtung der Sonne eigene gefärbte Blendgläser bei a und b angebracht sind, die man aufwärts dreht, um das Gesicht gegen die Sonnenstrahlen durch diese Gläser zu schützen, die also auch für minder helleuchtende Gegenstände wieder zurückgeschlagen werden.

§. 206. (Beobachtungen mit dem Sextanten.) Um die Winkeldistanz zweier Gegenstände z. B. zweier Thürme oder Gestirne mit dem Sextanten zu messen, halte man das Instrument bei seiner Handhabe E mit der rechten Hand so, daß der eine H dieser Gegenstände, durch den obern Theil des kleinen Spiegels P, unmittelbar in dem Fernrohre CD erscheint, so daß also die Axe dieses Fernrohrs in die Richtung CDH des einen dieser Gegenstände gebracht wird. Dann drehe man die Fläche des ganzen Sextanten um dieses Rohr, als um seine Axe, so lange, bis diese Fläche auch durch den andern Gegenstand K geht, und in dieser Lage des Sextanten (wo also der erste Gegenstand H immer im Felde des Fernrohrs bleibt) bewege man die Alhidade QM so lange, bis auch der zweite Gegenstand K, sammt dem ersten, im Fernrohre erscheint. In dieser Stellung der Alhidade befestiget man sie, durch ihre Druckschraube, an die Fläche des Sextanten und bewege sie dann mittelst ihrer Mikrometerschraube m noch etwas, bis die Bilder der beiden Gegenstände sich in dem Felde des Rohrs vollkommen decken. Die Zahl des Theilstriches, bei welchem dann der Vernier der Alhidade steht, gibt den gesuchten Winkel der beiden Gegenstände H und K.

Wenn man aber nicht die Distanz zweier Gestirne, sondern die Höhe eines derselben finden will, so braucht man dazu noch einen Horizont, am besten eine mit Quecksilber gefüllte Schaale. Dann richtet man das Fernrohr des Sextanten so, daß man damit unmittelbar, durch den oberen Theil des kleinen Spiegels, das Bild des Gestirns in diesem Horizonte zieht, worauf man die Ebene des Sextanten um das Fernrohr als um eine fixe Axe dreht, bis diese Ebene in eine vertikale Lage kommt. Hat man dieß erreicht, so bewegt man, indem man immer das von dem Horizonte reflektirte Bild des Gestirnes im Fernrohre festhält, die Alhidade QM so lange auf oder ab, bis auch das zweite, von dem großen und dem untern Theile des kleinen Spiegels reflektirte Bild, zugleich

mit jenem, in dem Felde des Fernrohrs erscheint, worauf man wieder die Alhidade durch ihre Druckschraube fest stellt und durch die Mikrometerschraube m beide Bilder zur genauen Bedeckung bringt. Die jetzt von der Alhidade angegebene Zahl der Theilstriche ist die doppelte Höhe des beobachteten Gestirns.

Um den Queckſilber-Horizont vor dem Luftzuge zu beschützen, bedeckt man ihn mit einen Dache von zwei Glasplatten, deren Flächen einander genau parallel sind. Statt des Glases wird man sicherer diejenige Glimmergattung anwenden, die unter dem Namen Frauenglas oder Miroir d'ane bekannt ist, da diese schon von der Natur in vollkommen parallele Blätter gespalten wird. Künstliche Horizonte, die aus Spiegeln bestehen und mit Libellen horizontal gestellt werden, sind wohl bequemer, aber nie so sicher, wie jene natürlichen. Auf dem Meere endlich bedient man sich zu diesem Zwecke des Horizontes der See, d. h. derjenigen Linie, welche die Oberfläche des Meeres von dem Himmel trennt, indem man diese Linie mit dem zu beobachtenden Gestirn im Felde des Fernrohrs zur Bedeckung bringt.

§. 207. (Rectifikation des Sextanten.) Auch dieses Instrument muß, ehe es zu den Beobachtungen verwendet wird, zuerst in allen seinen Theilen berichtiget seyn. Die wichtigste dieser Berichtigungen betrifft den sogenannten Collimationsfehler des Sextanten. Es sollen nämlich, wie gesagt, beide Spiegel auf der Ebene des Sextanten senkrecht stehen, und überdieß, wenn die Alhidade auf Null steht, einander parallel seyn. — Man stelle also die Alhidade in die Nähe des Nullpunktes der Eintheilung und sehe durch das Fernrohr auf irgend einen wohl begränzten Gegenstand. Mit einer geringen Bewegung der Alhidade wird man dann das unmittelbar durch den oberen Theil des kleinen Spiegels sowohl, als auch das mittelbar durch den großen Spiegel reflektirte Bild desselben Gegenstandes in dem Fernrohre erblicken, worauf man beide, durch die Mikrometerschraube, zur genauen Deckung bringt. Steht in diesem Zustande die Alhidade nicht auf Null, sondern z. B. auf 0° 30′ des eingetheilten Randes, auf der Seite von dem Nullpunkte O nach A, so muß man von allen mit dem Instrumente beobachteten Winkeln diese Größe 0° 30′ subtrahiren, um den wahren Winkel zu erhalten. Man wird ihn addiren, wenn die Alhidade auf der andern Seite, zwischen O und B, stünde. Kann man aber bei dieser Untersuchung die beiden Bilder desselben Gegenstandes nicht zu einer genauen Bedeckung bringen, sondern gleiten sie, wenn man die Alhidade bewegt, neben einander hin, so ist dieß ein Zeichen, daß der kleine Spiegel nicht senkrecht auf der Ebene des Sextanten steht. In diesem Falle wird man dann diesem Spiegel durch die unter ihm, auf der hinteren Fläche des Sextanten, hervorstehende Schraube die gehörige Neigung gegen diese Fläche geben, damit er darauf senkrecht steht, d. h. damit die beiden Bilder in der That zur Bedeckung gebracht werden können.

Besser ist es noch, zur Bestimmung jenes Collimationsfehlers nicht ein terrestrisches Objekt, sondern die Sonne zu nehmen. Bringt man dann die beiden Bilder derselben an ihrem sehr scharf begränzten Rande an den entgegengesetzten Seiten dieses Randes zur Bedeckung, und liest für beide Bedeckungen den Stand der Alhidade ab, so ist die halbe Differenz der beiden Lesungen der Collimationsfehler des Instruments, und die halbe Summe derselben ist gleich dem Durchmesser der Sonne, wodurch man, da dieser Durchmesser aus den astronomischen Ephemeriden bereits bekannt ist, zugleich ein Prüfungsmittel hat, ob die beiden Beobachtungen in der That gut und verläßlich sind.

§. 208. (Vernier.) Dieß sind die vorzüglichsten Instrumente der neueren beobachtenden Astronomie, deren nähere Kenntniß den Lesern, wie wir glauben, interessant und nützlich zugleich seyn wird, wenn sie sich einen richtigen Begriff von den astronomischen Beobachtungen machen oder auch wohl sich derselben zu eigenen Beobachtungen bedienen wollen. Wir haben bei der Beschreibung derselben des Verniers öfter erwähnt, daher wir auch diesen hier näher angeben müssen.

Wenn dasjenige Ende der Alhidade, welches an dem getheilten Rande des Instruments auf und ab bewegt wird, bloß eine einzige gerade Linie, die wir oben angenommen haben, enthielte, so würde man mit einem solchen Instrumente keine kleineren Winkel messen können, als unmittelbar durch die Theilstriche auf dem Rande desselben angegeben sind. Wenn man daher z. B. auf einem Kreise noch die einzelnen Secunden lesen wollte, so müßte man auf seiner Peripherie nicht weniger als **1296000** Theilstriche anbringen, die alle von einander gleichweit abstehen. Dadurch würden aber, der Schwierigkeit der Ausführung für den Künstler nicht zu gedenken, selbst bei einem Kreise von beträchtlichem Halbmesser diese Theilstriche so nahe an einander stehen, daß es schwer seyn würde, sie deutlich von einander zu unterscheiden. Diesem Umstande abzuhelfen, hat Peter Vernier, ein französischer Geometer, i. J. **1631** eine eben so einfache als sinnreiche Vorrichtung ausgedacht, die jetzt ihrer Vorzüglichkeit wegen allgemein angenommen ist. Man hat sonst wohl auch den Portugiesen Nonius, der mehrere Jahrhunderte vor Vernier lebte, für den Erfinder dieser Einrichtung gehalten, daher dieselbe auch zuweilen den Namen des letzteren erhält, aber mit Unrecht, da das von Nonius zu diesem Zwecke vorgeschlagene Mittel von dem des Vernier ganz verschieden ist und auch an Anwendbarkeit weit hinter ihm zurücksteht.

Sey ab (Fig. **113**) ein Theil des eingetheilten Kreisbogens irgend eines Instruments. Dasselbe sey z. B. durch die in der Zeichnung bemerkten Striche in mehrere gleiche Theile getheilt, deren jeder **10** Minuten halten soll, so daß also jedes Intervall **0,1** oder **1,2** oder **2,3** u. f. zehn Minuten beträgt. Neben oder hier unter ihm sey der koncentrische Kreisbogen des Verniers angebracht, so daß, wenn die den Vernier tragende Alhidade um ihren Mittelpunkt bewegt wird, der Bogen des Verniers an dem festen Bogen des Kreises sich auf und ab bewegt. Allein dieser Bogen des Verniers sey nur so groß, als **9** Intervalle des oberen Kreisbogens sind, er betrage also **9**mal **10** oder nur **90** Minuten und sey dem ungeachtet doch wieder, wie jener, in **10** gleiche Theile getheilt. Daraus folgt also, daß **10** Intervalle des Verniers gleich **9** Intervallen des Kreises, daß also auch jedes einzelne Intervall des Verniers nur neun Zehntheile eines Intervalls des Kreises, d. h. daß jedes Intervall des Verniers, auf dem Kreise genommen, genau gleich neun Minuten ist. Legt man daher den Vernier an den Kreis so an, daß die beiden ersten Theilstriche **0,0** mit einander übereinstimmen oder nur eine einzige gerade Linie bilden, so werden auch die beiden letzten Theilstriche **9,10** mit einander übereinstimmen, die zweiten **1,1** aber werden um **1** Minute, die **2,2** um **2** Minuten, die **3,3** um **3** Minuten u. s. w. von einander abstehen, und man wird daher auf diesem Kreise, obschon er nur von **10** zu **10** Minuten getheilt ist, doch noch, mit Hülfe dieses Verniers, auch noch die einzelne Minute sicher und eben so gut ablesen können, als ob der Kreis selbst in diese einzelne Minuten getheilt wäre.

Gesetzt also, Kreis und Vernier stehen, wie in A so, daß der Theil-

strich 0 des Kreises zu dem Punkte 10° 0′ 0″ der Peripherie desselben gehöre, so wird man bei der Ablesung dieses Kreises sagen, daß der an dem Instrumente beobachtete Winkel 10° 0′ 0″ betrage. Steht aber der Vernier so, wie in B, so wird der beobachtete Winkel gleich 10° 1′ 0″, und eben so wird er, bei dem Stande C gleich 10° 2′ 0″ seyn und so fort durch alle Theilstriche des Verniers

Man sieht, daß sich dieselbe Vorrichtung ohne alle Abänderung auch bei einem geradlinigen Maaßstabe anbringen läßt. Sey ab ein Theil z. B. ein Fuß dieses Maaßstabes, der bei 1, 2, 3 in zehn gleiche Theile oder in zehn Zolle getheilt ist. Mit einem solchen Maaßstabe wird man also unmittelbar nur ganze Zolle in der That messen können, während man die halben, viertel Zolle u. s. bloß nach dem Augenmaße schätzen muß. Wenn man aber zu diesem Maaßstabe noch einen Vernier hat, der genau 9 solcher Zolle lang und ebenfalls wieder in 10 gleiche Theile getheilt ist, so wird man mittelst jenes Stabes auch noch die Zehntheile der Zolle oder die sogenannten Linien unmittelbar abmessen können. Denn gesetzt, man wollte den kleinen Abstand der Linie m von b in Theilen eines Zolles haben. Legt man den Vernier so wie in A, daß die Theilstriche 9 des Stabes und 10 des Verniers koincidiren, so läßt sich, in dieser Lage des Verniers, die Distanz bm offenbar nicht angeben. Rückt man also den Vernier an dem ruhenden Maaßstab weiter rechts, so daß, wie in B, die beiden Theilstriche 1 und 1 übereinstimmen, so läßt sich auch hier noch nichts über diese Distanz bm entscheiden. Rückt man aber den Vernier noch etwas weiter rechts, bis der letzte Theilstrich 10 des Verniers mit dem Striche m des Maaßstabes genau übereinstimmt und findet man, daß in dieser Stellung C des Verniers die Theilstriche 2 und 2 genau koindiciren oder in eine einzige gerade Linie fallen, so ist dieß ein Zeichen, daß die Linie m des Maaßstabes von dem vorletzten Theilstriche 9 desselben um 2 Zehntheile absteht, und daß daher die gesuchte Distanz bm gleich acht Zehntel Zolle oder gleich 8 Linien ist.

Ist zwischen den einzelnen Theilstrichen des Verniers, wie in der Zeichnung der Fig. 113, noch Raum genug, um auch jedes Intervall 01, 12, 23 desselben ebenfalls wieder in zehn gleiche Theile unterzutheilen, so wird man, mit einem solchen Verniere, auf jenem Maaßstabe nicht bloß wie zuvor die zehnten, sondern auch die hundertsten Theile eines Zolles oder die sogenannten Punkte unmittelbar messen können. Rücken aber dadurch die Theilstriche schon so nahe an einander, daß man sie mit freien Augen nicht mehr gut unterscheiden kann, so wird man eine Loupe (Mikroskop) zu Hülfe nehmen, das man an dem Verniere so befestigen kann, um es nach der ganzen Länge des Verniers zu verschieben und dadurch jeden einzelnen Theil des Verniers in den Mittelpunkt des Loupenfeldes zu bringen.

Auf diese Weise hat man es dahin gebracht, unsere Kreise von drei Fuß im Durchmesser, und selbst kleinere noch, bis zur unmittelbaren Lesung von zwei Secunden mit einer Genauigkeit zu theilen, von welcher unsere Vorgänger noch keine Idee hatten, der wir aber einen großen Theil der Fortschritte der neueren Beobachtungskunst verdanken.

§. 209. (Schraubenmikrometer.) Noch ist eine eigene Vorrichtung bei den bisher angeführten Instrumenten übrig, die der Leser kennen lernen soll, um von den Beobachtungen der Astronomen selbst einen deutlicheren Begriff zu erhalten.

Es wurde bereits früher gesagt, daß sich in dem Brennpunkte jedes Fernrohrs, wenn dasselbe auf einen Gegenstand gerichtet wird, ein klei-

nes, sehr deutliches Miniaturbildchen dieses Gegenstandes entwerfe, und daß man daher in der durch diesen Punkt auf die Axe des Fernrohrs senkrechten Ebene mehrere Fäden auszuspannen pflegt, durch welche das Gesichtsfeld des Fernrohrs gleichsam in verschiedene Parthien eingetheilt wird. Diese Fäden dienen zur genauen Bestimmung der Lage der Gestirne, die man in dem Augenblicke beobachtet, wo sie von diesen Fäden bedeckt werden.

Bisher haben wir nur die einfachste Gattung dieses Fadennetzes kennen gelernt, nämlich drei oder mehrere senkrechte, unter sich parallele Fäden, die von einem horizontalen geschnitten werden, wo man dann z. B. bei dem Mittagsrohre an den vertikalen Fäden die Rectascension und bei dem Meridiankreise an dem horizontalen Faden die Höhe oder die Deklination der Gestirne zu beobachten pflegt.

Eben so haben wir schon oben gesagt, daß das Hauptgeschäft des praktischen Astronomen eigentlich die genaue Bestimmung der größtmöglichen Anzahl von Fixsternen in allen Gegenden des Himmels ist. Zwar müssen wir, bei dem bisherigen Zustande der Wissenschaft, darauf Verzicht leisten, diese Fixsterne selbst, ihre Größe, Entfernung und dergl. kennen zu lernen; wir müssen uns begnügen, bloß den scheinbaren Ort, welchen sie am Himmel einnehmen, oder ihre Rectascension und Deklination, durch unsere Beobachtungen zu bestimmen. Allein auch diese bloße Ortskenntniß ist für die gesammte praktische Astronomie von dem größten und wesentlichsten Nutzen. Denn diese Orte dienen uns als fixe und wohlbekannte Punkte des Himmels, an welche wir alle unsere übrigen Beobachtungen der Planeten und Kometen und der Sonne selbst gleichsam anreihen, und dadurch auch den scheinbaren Ort dieser letzten Himmelskörper bestimmen. Um diese letzte aber ist es uns bisher allein zu thun, da sie es sind, die zu dem eigentlichen Haushalte des Sonnensystems gehören, auf dessen nähere Kenntniß wir, wie jetzt die Sachen stehen und wahrscheinlich noch lange stehen werden, alle unsere astronomischen Untersuchungen beschränken müssen.

Nehmen wir nun an, wir hätten unserem oben erwähnten Fadennetze eine solche Einrichtung gegeben, daß man damit nicht bloß, wie bisher, die Appulse der Sterne an diese Fäden beobachten, sondern daß man damit auch wenigstens solche Intervalle am Himmel messen könnte, die das Gesichtsfeld des Fernrohrs also z. B. 5 bis 10 Minuten nicht übersteigen. Ein solches Netz würde uns, wie man sogleich sieht, bei der Beobachtung jener Planeten und Kometen von dem größten Nutzen seyn; denn nun dürfte man ein mit einem solchen Fadennetze versehenes Fernrohr nur eben so aufstellen, daß man dadurch einen bekannten Fixstern sehen kann, von dem man weiß, daß er von dem Planeten, den man eigentlich beobachten will, nicht weiter entfernt ist, um auch diesen noch, einige Zeit vor oder nach dem Stern, in dem Felde des unverrückten Fernrohrs sehen zu können. Dann wird man, mittelst jener Fäden, bloß die Distanz jener beiden Gestirne von einander messen, um sofort, da der Ort des Fixsterns am Himmel schon bekannt ist, auch den gesuchten Ort des Planeten zu erhalten.

Eine solche Vorrichtung, deren man mehrere ausgedacht hat, ist unter der Benennung des Mikrometers bekannt, da sie, wie man sieht, zur Messung von bloß kleinen Distanzen (μικρος klein, μετρω messen) bestimmt ist.

Auf einer in dem Brennpunkte des Fernrohrs senkrecht auf die Axe desselben befestigten und in ihrer Mitte kreisförmig durchbohrten Messingplatte, HK (Fig. 114 und 115) ist ein horizontaler Faden FG und ein

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

vertikaler DE befestigt. Auf dieser Platte sind zwei feine Schieber mm' und nn', zwischen welchen und der Platte sich eine zweite, ebenfalls durchbohrte Platte, parallel mit jener ersten, mittelst einer feinen Schraube Abc auf und ab bewegen läßt. Diese zweite Platte ist ebenfalls mit einem horizontalen Faden fg versehen, der sich, wenn die zweite Platte durch ihre Schraube bewegt wird, parallel mit dem ersten FG auf und ab bewegt. Diese Schraube trägt bei ihrer Handhabe A einen Index b, der, während der Umdrehung der Schraube, auf einer eingetheilten Scheibe B herumgeht und dadurch auch z. B. den hundertsten Theil einer Umdrehung dieser Schraube anzeigt.

Wenn diese Schraube, wie hier vorausgesetzt wird, sehr feine und durchaus gleiche Windungen hat, so wird man dadurch die senkrechten Distanzen zweier Gestirne sehr genau bestimmen können, wenn einmal der Werth einer ganzen Umdrehung der Schraube bekannt ist. Zu diesem Zwecke stellt man zuerst beide Fäden fg und FG genau auf einander, so daß sie nur einen einzigen zu bilden scheinen, und bemerkt, für diesen Stand des beweglichen Fadens, den Ort des Zeigers b auf der eingetheilten Scheibe B. Dann schraubt man den beweglichen Faden fg so weit über oder unter den festen FG, bis beide Fäden irgend ein bekanntes Gestirn, z. B. die Sonne d an ihrem oberen und unteren Rande genau berühren und bemerkt nun wieder den Stand des Zeigers auf seiner Scheibe. Gesetzt der Durchmesser der Sonne betrage volle 32 Minuten, und die Schraube machte $40^1/_4$ Umgänge, um diesen Durchmesser zwischen den beiden Fäden des Mikrometers zu fassen, so folgt daraus, wie man leicht sieht, daß ein ganzer Umgang der Schraube 47.7 Secunden, und daher jeder hundertste Theil derselben 0.477 Secunden betrage. Dieß vorausgesetzt sey ein mit einem solchen Schraubenmikrometer versehenes Fernrohr im Meridian so aufgestellt, daß der Faden FG horizontal und DE vertikal steht. In dieser Stellung läßt man einen bekannten Fixstern durch das Feld des Fernrohrs gehen und schraubt den beweglichen Faden fg auf ihn, so daß der Stern, während er durch das Feld geht, die ganze Länge dieses Fadens zurücklege. Zugleich beobachtet man auch seinen Durchgang durch den festen vertikalen Faden DE. — Dasselbe thut man nun auch mit dem bald darauf folgenden Planeten und bemerkt zugleich, wie viel Umdrehungen man die Schraube gedreht hat, um den beweglichen Faden von seiner letzten Stelle, wo er den Stern traf, auf diejenige zu bringen, wo der Mittelpunkt des Planeten durch ihn ging. Diese Anzahl der Umdrehungen durch 47.7 multiplicirt, gibt sofort die Differenz der Deklinationen beider Gestirne, und die Zwischenzeit, die von dem Appulse des Fixsterns durch den Vertikalfaden DE bis zu dem des Planeten verflossen ist, gibt die Differenz der Rectascensionen beider Gestirne. Da man nun die Rectascension und Deklination des Fixsterns bereits kennt, so erhält man dadurch auch sofort die Rectascension und Deklination des Planeten.

Man sieht, daß man zu solchen Beobachtungen, so wichtig sie auch sind, keines eigenen großen kostbaren Instruments, sondern bloß eines guten Fernrohrs bedarf, von dessen fester Aufstellung während der Dauer beider Beobachtungen man versichert ist. Wenn man aber mit einem solchen Fernrohre auch außer dem Meridian beobachten will, wodurch die Anwendbarkeit desselben offenbar sehr erhöht wird, so wird es vortheilhaft seyn, ein so eingerichtetes Fernrohr mit einer, wenn gleich nicht mit der größten Genauigkeit gebauten parallaktischen Maschine §. 201 zu verbinden und dann den früher horizontalen Faden FG jetzt dem Aequator parallel zu stellen, was leicht erhalten wird, wenn man vor

den Beobachtungen einen Stern in das Feld eintreten läßt und die Platte HK mittelst einer eigenen Schraube so dreht, daß der Stern durch die ganze Länge des Feldes den Faden FG nicht verläßt. Dieß ist ein Grund mehr für die bereits oben als sehr vortheilhaft angegebene Aufstellung aller größeren Fernröhre auf einem parallaktischen Stative.

§. 210. (Rautenmikrometer.) Auch ohne Hülfe einer Schraube kann man, durch eine bloße zweckmäßige Stellung der Fäden gegen einander, die Differenz der Orte zweier einander naher Gestirne bestimmen. Eine der einfachsten und zweckmäßigsten dieser Vorrichtungen ist folgende, die von dem großen Astronomen Bradley vorgeschlagen wurde. Man denke sich um das kreisförmige Feld des Fernrohrs ein Quadrat ABCD (Fig. 116) beschrieben, dessen Seiten jenen Kreis in vier einander gegenüber stehenden Punkten berühren. Von dem oberen Berührungspunkte M ziehe man zwei gerade Linien oder hier zwei gespannte Fäden MC und MD nach den unteren Spitzen des Quadrats, und eben so von dem unteren Berührungspunkte N zwei andere nach A und B. Spannt man überdieß noch einen fünften Faden PQ, der durch den Mittelpunkt des Kreises parallel mit der Seite AB oder CD des Quadrats geht, so wird man, wie zuvor, durch eine geringe Drehung des Quadrats um seinen Mittelpunkt dieses Netz leicht so stellen, daß der letzte Faden PQ dem Wege der Sterne, d. h. dem Aequator parallel ist.

Mit einem so eingerichteten und so gestellten Fadennetze wird man dann die Differenz der Rectascensionen und Deklinationen der Gestirne leicht bestimmen, wenn man bemerkt, daß, wie aus der erwähnten Konstruktion dieses Netzes hervorgeht, jede der PQ parallele Linie ac gleich seyn muß der Entfernung bM dieser Linie von dem ihr nächsten Scheitel M oder N der Raute, welche jene vier ersten Fäden unter sich bilden. Hätte man also z. B. den Durchgang eines Fixsterns, dessen Deklination 30 Grade beträgt, durch den Punkt a um 4^h 17′ und durch den Punkt c um 4^h 21′ beobachtet, so ist die Differenz dieser Zeiten 4 Minuten. Multiplicirt man diese Differenz, um sie in Bogen zu erhalten, durch 15 und überdieß durch den Cosinus der Deklination, der hier gleich 0.866 ist, so erhält man 51.96 Bogenminuten, und eben so groß ist also auch der Abstand Mb des Weges ac dieses Sterns von dem Punkte M. Die Zeit aber, wo dieser Stern in der Mitte zwischen seinen Fäden in a und c, d. h. wo er in dem Punkte b war, ist offenbar gleich der Mitte jener zwei Beobachtungszeiten oder gleich 4^h 19′. — Hätte man nun eben so bald darauf einen Planeten auf dieselbe Weise beobachtet und für ihn den Abstand Mb gleich 32.54 Bogenminuten und die Zeit der Mitte beider Beobachtungen gleich 4^h 22′ gefunden, so würde die Differenz der Rectascensionen beider Gestirne 3 Zeitminuten d. h. 45 Bogenminuten, und die Differenz ihrer Deklinationen gleich 19.42 Bogenminuten seyn, woraus sich also wieder der Ort des Planeten am Himmel leicht finden läßt, wenn jener des Fixsterns bereits bekannt ist.

Bei einer genaueren Betrachtung dieses Netzes wird man leicht finden, daß man auch die Theile der vier ersten Fäden, die außer der Raute liegen, zu demselben Zwecke benützen, und z. B. die Appulse der Sterne auch in den Punkten a′ und b′ beobachten kann, anderer Vortheile, welche dieses Rautennetz bietet, hier nicht zu erwähnen.

§. 211. (Kreismikrometer.) Am einfachsten aber ist es, zu derselben Absicht blos einen einfachen Kreis in dem Brennpunkte des Fernrohrs aufzustellen und den Eintritt in E und C (Fig. 117)), so wie den Austritt der Sterne in E′ und C′ aus der Peripherie dieses Kreises zu

beobachten. Nimmt man nämlich die Mitte der Ein- und Austrittszeit eines jeden der beiden Gestirne, so erhält man dadurch diejenigen Augenblicke, wo diese Gestirne in der Mitte ihrer Sehnen EE' und CC' oder wo sie in den Punkten D und F waren, in welchen ein auf diese Sehnen senkrechter Halbmesser CM diese Sehnen halbirt, und dann wird die Differenz dieser beiden Augenblicke offenbar auch zugleich die gesuchte Differenz der Rectascension der beiden Gestirne seyn.

Um nun auch aus denselben Ein- und Austritten der Sterne die Differenz ihrer Deklination zu erhalten, wird man jede der halben Sehnen CD und EF oder die halben Zwischenzeiten der Beobachtungen durch 15mal den Cosinus der Deklination der beiden Gestirne multipliciren, wodurch man diese halben Sehnen CD, EF, in Bogen ausgedrückt erhält. Kennt man nun bereits den Halbmesser des Kreises, so sind in den rechtwinkligen Dreiecken CDO und EFO bereits zwei Seiten gegeben, woraus man dann, auf die bekannte Art, auch die dritten Seiten OF und OD finden wird, deren Differenz DF gleich der gesuchten Differenz der Deklination der beiden Gestirne ist.

Den Halbmesser dieses Kreises wird man auf mehr als eine Art leicht bestimmen können, am sichersten aber durch zwei Fixsterne, deren Deklinations-Differenz B nahe gleich dem Durchmesser dieses Kreises ist, so daß also jeder derselben, der eine oben und der andere unten, eine sehr kleine Sehne im Felde des Kreismikrometers beschreibt. Nennt man dann A die Summe der Quadrate der halben Sehnen oder der halben beobachteten Zwischenzeiten in Zeitsekunden ausgedrückt, und durch die vorige Größe B dividirt, und nennt man endlich C das Quadrat von 15mal dem Cosinus der Deklination der Mitte zwischen beiden Sternen, so ist der gesuchte Durchmesser des Kreises gleich $B + AC$.

Zu diesem Zwecke kann man schon die dem Auge nächste innere Blendung (Diaphragma) benützen, die in jedem Fernrohre enthalten ist, wenn man sie zuvor auf einer Drehbank genau kreisförmig ausdrehen läßt. Bequemer zur Beobachtung wird ein feiner metallener Ring seyn, der in der Ebene jener Blendung durch zwei oder drei Stifte befestigt wird, und, wenn er etwas kleiner als die Oeffnung dieser Blendung ist, den Vortheil gewährt, daß man die kommenden Sterne schon von ihrer Beobachtung sehen und den Eintritt sowohl, als auch den Austritt derselben an den beiden Rändern des Rings beobachten kann. Die vorhergehende Bestimmung des Halbmessers wird zugleich ein gutes Mittel geben, zu prüfen, ob der Ring an seinen beiden Seiten in der That vollkommen kreisförmig, also zu dieser Art von Beobachtungen geeignet ist. Zu diesem Zwecke darf man nur diesen Ring, nach jeder Beobachtung eines Sternpaars, etwas weniges in seiner Ebene drehen und die beiden Sterne an anderen Punkten der Peripherie durchgehen lassen, um zu sehen, ob man für den Halbmesser des Rings wieder denselben Werth erhält. Was diesen einfachen Mikrometer vor allen andern besonders empfiehlt, ist erstens der Umstand, daß unsere Künstler einen vollkommenen Kreis viel leichter, als eine gerade Linie von gegebener Neigung, darzustellen vermögen, und daß zweitens die Beobachtungen an einem solchen Kreise auch in dem verfinsterten Fernrohre angestellt werden können, während die meisten anderen Mikrometer eine Beleuchtung des Innern des Fernrohrs erfordern, um die Fäden des Mikrometers sichtbar zu machen, was oft beschwerlich und zuweilen selbst schädlich ist, da man dann sehr kleine oder lichtschwache Gestirne, wie z. B. die neuen Planeten oder sehr matte Kometen, in dem beleuchteten Felde des Fernrohrs, nicht mehr gut sehen kann.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

§. 212. (Längenbestimmungen durch Chronometer.) Wenn man die bisher dargestellten vorzüglichsten Instrumente der neueren Astronomie näher betrachtet, so sieht man leicht, wie sich damit alle Beobachtungen, deren die Wissenschaft in ihrem gegenwärtigen Zustande bedarf, anstellen lassen. Diese Beobachtungen beziehen sich sämmtlich auf die Durchgänge der Gestirne durch den Meridian (zur Bestimmung der Zeit, oder, wenn diese bereits bekannt ist, der Rectascension durch das Mittagsrohr), oder auf die Bestimmung der Höhen (im Meridian zur Kenntniß der Deklinationen durch den Meridiankreis oder den Mauerquadranten, oder außer dem Meridian zur Zeitbestimmung durch den Multiplikationskreis) oder endlich auf die Bestimmung der Differenzen der Rectascension und Deklination (durch Aequatoriale oder auch durch einfache, aber mit Mikrometern versehene Fernröhre). Man hat überdieß im Verlaufe dieses Werkes gesehen, wie man, bloß mit Hülfe dieser beobachteten Höhen der Gestirne die Polhöhe oder die geographische Breite, die Schiefe der Ekliptik u. s. w. finden, und wie man aus diesen und ähnlichen Bestimmungen die sämmtlichen Elemente der Planetenbahnen durch Rechnung ableiten kann, z. B. die Lage der Nachtgleichen, die Umlaufszeiten der Planeten, ihre Knotenlinien, Neigungen, ihre Entfernungen.

Noch ist uns übrig zu sagen, wie man mittelst derselben Instrumente auch die geographische Länge seines Beobachtungsortes bestimmen kann, dieses wichtige Element, ohne welches wir nicht wüßten, welchen Punkt der Oberfläche der Erde, oder wenigstens, welchen Punkt unseres irdischen Parallelkreises wir bewohnen, und dessen Unkenntniß besonders den Schiffer auf der hohen See in die größten Gefahren bringen könnte.

Dem Seemanne, der auf seiner Fahrt in entlegene Gegenden oft nichts als Himmel und Wasser vor sich sieht, muß es nämlich von der äußersten Wichtigkeit seyn, jeden Tag, ja jede Stunde genau zu wissen, auf welchem Punkte der Oberfläche der Erde er sich befindet, sowohl um von diesem Punkte aus die rechte Richtung nach dem bestimmten Lande einzuschlagen, als auch um sich vor Klippen und Untiefen, die vielleicht in seiner Nähe sind, zu bewahren. Diese für sein Schiff gefährlichen Stellen sind nämlich größtentheils von frühern Seefahrern bereits bemerkt und in ihre Karten aufgenommen worden. Man kennt daher die geographische Länge und Breite derselben, und es ist nun Sache ihrer Nachfolger, zu wissen, ob sie in der Nähe solcher Stellen sind, d. h. zu wissen, welches in jedem Augenblicke ihre eigene Länge und Breite ist.

Was nun die Breite oder die Polhöhe betrifft, so ist bereits oben (I. §. 44.) umständlich gezeigt worden, wie man sie durch Beobachtungen der Höhe der Gestirne finden kann, daher wir uns hier nicht weiter dabei aufhalten. Nicht so verhält es sich mit der geographischen Länge, die daher hier noch einige Erläuterungen bedarf.

Bemerken wir zuerst, daß man die geographische Länge eines Ortes in Beziehung auf einen andern bereits bekannten Ort, z. B. auf Paris, kennen wird, wenn man weiß, wie viel es, in demselben Augenblicke, an diesen beiden Orten Uhr sey. Gesetzt ein Schiffer habe nach einem heftigen Sturm, der ihn in ganz unbekannte Gegenden verschlagen, in der ersten heitern Stunde, nachdem sich der Himmel wieder aufgeklärt hat, seine Breite 8° 10′ nördlich und zugleich, durch irgend eine beobachtete Höhe der Sonne oder irgend eines andern Gestirns außer dem Meridian gefunden, daß seine Uhr, die im Augenblicke dieser Beobachtung 8ʰ 26′ 50″ zeigte, um volle 8ʰ 3′ 30″ gegen mittlere Sonnenzeit seines ge-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

genwärtigen Aufenthaltsortes zu wenig zeigt, daß es also in diesem Augenblicke auf seinem Schiffe genau $16^h\ 30'\ 20''$ mittlere Zeit oder $4^h\ 30'\ 20''$ Morgens ist. Man hat bereits oben gesehen, auf welche Weise er diese seine Breite sowohl, als auch seine wahre Ortszeit durch eine einfache Beobachtung finden kann. — Wenn er nun auch zugleich wüßte, daß es, in demselben Augenblicke, in Paris genau $8^h\ 22'\ 30''$ Abends mittlere Pariser Zeit sey, so würde er auch sofort wissen, daß er $16^h\ 30'\ 20''$ weniger $8^h\ 32'\ 30''$, das heißt, daß er $8^h\ 7'\ 50''$ östlich, oder daß er $121°\ 57'\ 30''$ östlich von Paris entfernt sey, daß also seine nördliche Breite $8°\ 10'$ und seine östliche Länge $121°\ 57'\ 30''$ betrage, und der erste Blick auf seine Karte würde ihm zeigen, daß sein Schiff in der Nähe der westlichen Spitze der Insel Maghindano, die in der Mitte zwischen der Insel Lucon und Borneo liegt, sich befinde, und daß er daher seinen Lauf nördlich nehmen müsse, wenn er nach der Stadt Manilla bestimmt ist. — Allein wie soll er erfahren, wie viel Uhr man in eben diesem Augenblicke in Paris zählt?

Das einfachste Mittel zu diesem Zwecke ist ohne Zweifel ein Chronometer, das heißt eine Uhr mit Federn (denn eine Pendeluhr läßt sich auf dem immer wankenden Schiffe nicht brauchen), auf deren guten Gang er sich vollkommen verlassen kann. Ehe der Schiffer Paris verließ, verglich er seinen Chronometer täglich mit der Uhr der Sternwarte, und fand, daß derselbe in jedem Tage regelmäßig um 2 Sec. gegen die mittlere Zeit vorausgehe. Als er Paris verließ, um seine Reise anzutreten, fand er, daß sein Chronometer um $0^h\ 3'\ 0''$ gegen die mittlere Pariser Zeit voraus sey. Seitdem bis zu dem gegenwärtigen Tage sind volle 40 Tage verflossen, in welchen also die Uhr, wenn sie ihren vorigen Gang unverändert beibehielt, 2mal 40 Secunden oder 1 Minute 20 Secunden weiter vorausgegangen seyn muß, so daß sie also heute um $0^h\ 4'\ 20''$ gegen mittlere Zeit Paris zu viel gebe. Nun war aber die Uhrzeit der Beobachtung $8^h\ 26'\ 50''$, also ist auch die mittlere Pariser Zeit dieser Beobachtung um $4'\ 20''$ kleiner oder gleich $8^h\ 22'\ 30''$, wie zuvor.

Es wird zur besseren Uebersicht dieses interessanten Verfahrens nicht überflüssig seyn, dasselbe noch auf ein zweites Beispiel anzuwenden, welches unmittelbar aus dem Reisejournal eines französischen Seefahrers im Jahr 1793 genommen ist. Der Schiffer kam in der Mitte des März desselben Jahrs in dem Hafen von Tongatabu, einer der Freundschaftsinseln, an. Dieser Ort war schon früher durch englische Seefahrer genau bestimmt worden. Seine südliche Breite ist $21°\ 7'\ 35''$ und seine östliche Länge von Paris $12^h\ 9'\ 47.4''$. Unser Schiffer wollte von da über die hebridischen und caledonischen Inseln nach Ostküste von Neuholland fahren. Um seiner Länge zwischen den vielen Inseln, durch welche sein Lauf gehen sollte, gewiß zu seyn, beschloß er, hier einige Tage zu verweilen, um den Stand und Gang seines Chronometers zu prüfen. Zu diesem Zwecke nahm er am 29. März in den Morgenstunden eine Sonnenhöhe auf Tongatabu, als sein Chronometer $7^h\ 34'\ 28.8''$ zeigte. Die Berechnung dieser Höhe zeigte ihm, daß seine Beobachtung um $7^h\ 33'\ 55.1''$ mittlere Zeit von Tongatabu gemacht worden war, und daß also sein Chronometer in diesem Augenblick um 33.7 Secunden vor seiner mittleren Ortszeit vorausging.

Eine ähnliche Beobachtung stellte er auch am 7ten April um $7^h\ 57'\ 3.2''$ Uhrzeit an und fand, daß dieser Uhrzeit die mittlere Zeit $7^h\ 55'\ 42.3''$ entspreche, so daß also jetzt, neun Tage nach jener ersten Beobachtung, die Uhr um $1'\ 20.9''$ gegen die mittlere Zeit vorausgeht, und daß

zugleich ihre tägliche Voreilung gegen mittlere Zeit den neunten Theil von 1′ 20.9″ weniger 33.7″, das heißt 5.″24 beträgt.

Am 8ten April segelte er von diesem Hafen gen West ab. Am 12ten überfiel ihn ein Sturm, der bis zum 14ten währte und ihn, wie er besorgte, von dem rechten Weg abgebracht hatte. Als am 15ten April Nachmittag sich die Sonne wieder zeigte, bestimmte er zuerst seine Breite, die er gleich 19° 51′ 20″ südlich fand. Um nun auch seine Länge, von seinem bekannten Abfahrtsorte Tongatabu zu erhalten, beobachtete er auf dem Schiffe mit seinem Sextanten zur Zeit, als sein Chronometer 3ʰ 48′ 28″ zeigte, eine Sonnenhöhe und fand daraus durch Rechnung, daß er diese Beobachtung um 2ʰ 47′ 25.5″ mittlerer Ortszeit seines Schiffes angestellt habe.

Um nun auch, für denselben Augenblick seiner Beobachtung, die mittlere Zeit von Tongatabu zu erhalten, so war, nach seinen früheren Beobachtungen in jenem Hafen, der Chronometer am 7ten April gegen die mittlere Zeit des Hafens um 1′ 20.9″ voraus. Da aber derselbe Chronometer täglich um 5.24″ noch weiter vorausgeht, so mußte er am 15ten April oder 8.3 Tage nach jener Beobachtung des 7ten April, um 8.3mal 5.24″ oder um 43.5″ mehr, also im Ganzen um 2′ 4.4″ gegen die mittlere Zeit jenes Hafens voraus seyn. Wir haben demnach für den Augenblick der letzten Beobachtung

Zeit des Chronometers auf dem Schiffe	3ʰ 48′ 28.0″
Correktion	2′ 4.4″
Mittlere Zeit in Tongatabu	3ʰ 46′ 23.6″
Zuvor war aber mittlere Zeit des Schiffs	2ʰ 47′ 25.5″
Differenz	0ʰ 58′ 58.1″

und dieß ist daher zugleich die gesuchte Längendifferenz des Schiffs und des Hafens von Tongatabu. Da die mittlere Schiffszeit kleiner ist, als die mittlere Hafenzeit, so liegt das Schiff um 0ʰ 58′ 58.1″ westlich von jenem Hafen. Es war aber die bekannte

Länge von Tongatabu	12ʰ 9′ 47.4″
die gefundene Längendifferenz	0ʰ 58′ 58.1″
also ist auch die gesuchte östliche Länge des Schiffs von Paris	11ʰ 10′ 49.3″

Drückt man dieß durch die Multiplikation mit 15 in Graden aus, so erhält man für den Ort des Schiffs zur Zeit der letzten Beobachtung

östliche Länge von Paris	167° 42′ 19.5″
südliche Breite	19° 51′ 20.0″

Ein Blick auf die Karte zeigte ihm daher, daß sein Schiff an der Westküste Neuhollands und zwar in der Nähe der Cumberlands-Insel am Gloucester-Vorgebirge sey.

§. 213. (Längenbestimmungen durch Finsternisse.) Es gibt noch mehrere Methoden, die geographische Länge durch Beobachtungen zu bestimmen, von welchen wir nur einige der vorzüglichsten kurz anführen wollen.

Die Mondsfinsternisse (I. §. 174) bieten sich zu diesem Zwecke als besonders bequem an. Da diese Finsternisse dadurch entstehen, daß die für uns ganz beleuchtete Mondsscheibe zur Zeit des Vollmonds in den Schattenkegel tritt, welchen die Erde hinter sich wirft, so wird der Mond dadurch seines, bloß von der Sonne geborgten Lichtes, in der That beraubt und diese Verdunklung desselben muß von allen Bewohnern der Erde, die nur überhaupt den Mond zur Zeit seiner Finsterniß

sehen können, in demselben Augenblicke gesehen werden, so daß also nur jeder diesen Augenblick an der richtig nach seiner Ortszeit gehenden Uhr angeben darf, um sofort auch die Längendifferenz aller Beobachter dieser Finsterniß zu erhalten.

Bei den Längenbestimmungen jeder Art kömmt nämlich alles darauf an, eine Erscheinung aufzufinden, die für alle, denen sie überhaupt nur bemerkbar ist, in demselben Augenblicke gesehen wird, die also tautochron ist, da man eigentlich nur wissen will, wie viel jeder von den Beobachtern dieser Erscheinung in diesem Augenblicke an seiner richtig gehenden Uhr zählt, d. h. welche wahre oder mittlere Sonnenzeit oder auch welche Sternzeit jeder dieser Beobachter in diesem Augenblicke hat, da dann die Differenz dieser Zeiten zugleich die Differenz der gesuchten Längen der Beobachter ist.

Da dieß nun von den Mondsfinsternissen sowohl, als auch von den Verfinsterungen der Satelliten anderer Planeten z. B. des Jupiters gilt, so werden sie auch unmittelbar zu Längenbestimmungen angewendet werden können, wie wir dieß bereits oben (I. §. 179) bemerkt haben. Allein diese Finsternisse haben zu dem gegenwärtigen Zwecke den Nachtheil, daß sie nicht mit hinlänglicher Schärfe beobachtet werden können. Der Schattenkegel der Erde ist nämlich, wegen dem ihn umgebenden Halbschatten, nur sehr unvollkommen begränzt, und dieß ist die Ursache, daß man den eigentlichen Anfang oder das Ende der Finsterniß nie mit Gewißheit angeben kann. Kurz vor dem Anfange wird der Ort des Mondrandes, wo sie beginnen soll, durch jenen Halbschatten gleichsam mit einem Rauche, mit einem matten Schleier überzogen, der sich nur langsam näher zu dem Mittelpunkt hin zieht und zugleich immer dunkler wird und so, durch allmählige Abstufungen das Licht des Mondes mehr und mehr verfinstert, so daß der Augenblick der völligen Verfinsterung nicht genau angegeben werden kann. Dasselbe ist auch von dem Ende der Finsterniß zu bemerken. Man hat diesem Umstande dadurch abzuhelfen gesucht, daß man auch den Ein- und Austritt der Flecken des Mondes in den Schatten beobachtete, aber auch diese leiden, obschon in geringerem Grade, unter derselben Unvollkommenheit. Zum Beweise führe ich hier eine Mondsfinsterniß an, die im Jahr 1790 in Paris und auf der Sternwarte Seeberg bei Gotha beobachtet wurde.

	Paris m. Z.	Seeberg m. Z.	Längendifferenz.
Anfang	11ʰ 7′ 33″	11ʰ 41′ 44″	0ʰ 34′ 11″
Copernikus	11 29 58	12 3 21	0 33 23
Tycho	11 30 23	12 4 5	0 33 42
Ende	13 55 23	14 28 36	0 33 13

wo man aus den Zahlen der letzten Columne sieht, wie wenig die Resultate solcher Beobachtungen unter sich übereinstimmen. Besser harmoniren allerdings die Beobachtungen der Finsternisse der Jupitersmonde, aber auch sie lassen noch immer viel zu wünschen übrig. Dazu kommt, daß diese Finsternisse nicht so oft vorfallen, als der Schiffer besonders sie braucht, der jeden Tag die Lage seines Schiffes kennen muß, wenn er sich nicht den größten Gefahren ausgesetzt sehen will.

Die Sonnenfinsternisse (I. §. 175), so wie die Bedeckungen der Fixsterne von dem Monde (I. §. 179) haben den Vortheil, daß sie sich mit großer Schärfe beobachten lassen. Zwar sind diese Erscheinungen nicht tautochron, oder sie haben nicht für alle Beobachter auf der Erde in demselben Augenblick statt. Sie entstehen nämlich dann, wenn der Mond in seinem Laufe gen Ost sich zwischen den Beobachter auf der Erde und

zwischen die Sonne oder den Fixstern stellt und uns daher den Anblick dieser Gestirne raubt oder, wie man zu sagen pflegt, sie verfinstert. Man sieht aber, daß dabei die Stellung des Beobachters auf der Oberfläche der Erde diese Erscheinungen gar mannigfaltig verändern kann. Ein sehr östlich stehender Beobachter wird z. B. den Mond noch weit westlich von dem Stern sehen können, während für den westlichen Beobachter der Stern von dem Monde schon seit längerer Zeit bedeckt ist. Allein da man die Bewegung des Mondes schon so genau kennt, so ist es leicht, die von der Oberfläche der Erde beobachtete Finsterniß durch Rechnung auf diejenige Zeit zu bringen, zu welcher man sie aus dem Mittelpunkte der Erde beobachtet haben würde, und wenn diese Reduktion, die man bei der gegenwärtigen Vollkommenheit unserer Mondstafeln mit großer Schärfe vornehmen kann, bei allen Beobachtungen derselben Finsterniß vorgenommen wird, so hat man dann, für diese gleichsam von dem Mittelpunkte der Erde gesehene Finsterniß, die wieder für alle Beobachter tautochron ist, die Ortszeiten der verschiedenen Beobachter auf der Erde, daher man nur wieder diese Ortszeiten, wie zuvor, von einander subtrahiren darf, um sofort auch die gesuchten Längendifferenzen dieser Beobachtungsorte zu erhalten.

Um auch dieß durch ein Beispiel zu erläutern, so hat man für die Bedeckung des Sterns ε Zwillinge durch den Mond am 8ten August 1798 folgende Beobachtungen:

	Mittlere Ortszeit. Eintritt.	Austritt.
Leipzig . .	1ʰ 35′ 17″	2ʰ 19′ 31″
Ofen . . .	1 57 28	2 35 37
Danzig . .	2 1 39	2 46 45
Celle . . .	1 27 42	2 13 29

Sucht man daraus mittelst jener Rechnung diejenigen mittleren Ortszeiten, für welche ein Beobachter im Mittelpunkt der Erde den Mittelpunkt des Monds eben über jenem Stern sehen würde, so erhält man für diese Ortszeiten

Leipzig . .	3ʰ 2′ 37″
Ofen . . .	3 29 14
Danzig . .	3 27 38
Celle . . .	2 53 15

und die Differenzen dieser Zeiten sind auch zugleich die gesuchten Differenzen der geographischen Längen dieser Orte. Nimmt man daher die Länge von Leipzig oder 0ʰ 40′ 13″ von Paris, als bereits bekannt, und so erhält man für die Länge

von Ofen . .	1ʰ 6′ 50″
Danzig .	1 5 14
Celle . .	0 30 51

Beobachtungen dieser Art geben zwar sehr genaue und sehr gut unter sich übereinstimmende Resultate, daher sie auch zu Längenbestimmungen auf dem Festlande vorzugsweise von den Astronomen zu diesem Zwecke gewählt werden, allein für den Seemann fallen sie ebenfalls viel zu selten vor, als daß er sich auf sie verlassen könnte, selbst wenn es möglich wäre, daß ihm die Beobachtungen der anderen schnell genug mitgetheilt werden könnten, um davon zu seinem Zwecke Gebrauch zu machen.

§. 214. (Längenbestimmungen durch Mondsdistanzen.) Für den Schif-

fer handelt es sich also vorzüglich um ein Verfahren, welches jeden Tag, ja jede Stunde angewendet werden kann, und welches zugleich so genaue Resultate gibt, als nöthig ist, ihm über den Lauf seines Schiffes und über die ihn umgebenden Gefahren wenigstens in den meisten Fällen sicher zu stellen.

Dieses Mittel hat schon Halley in den Beobachtungen der Distanzen des Mondes von den vorzüglichsten Fixsternen gefunden. Allein zu seiner Zeit, zu Ende des 17ten Jahrhunderts, war die Theorie des Mondes noch zu unvollkommen, um diese Methode mit Nutzen gebrauchen zu können. In unseren Tagen aber sind die Bewegungen des Mondes bereits so gut bekannt, daß dieses Verfahren, die geographische Länge zu bestimmen, mit Sicherheit angewendet werden kann und auch in der That von allen erfahrenen Schiffern vorzugsweise angewendet wird. Man verfährt aber dabei auf folgende Weise.

Da man aus den astronomischen Tafeln, den Ort des Mondes sowohl, als den der Fixsterne, wie er aus dem Mittelpunkte der Erde erscheint, für jeden Augenblick leicht finden kann, so wird man daraus auch, durch eine einfache Rechnung, den Abstand finden, um welchen für diesen Augenblick der Mond von jedem jener Sterne entfernt ist. Die Astronomen haben daher in ihren Ephemeriden diese Distanz des Mondes, sowohl von etwa zehn bis zwölf der größten Fixsterne, als auch von der Sonne und von den größten Planeten für jeden Tag von 6 zu 6 Stunden voraus berechnet und durch den Druck bekannt gemacht, damit die Schiffer diese Tafeln auf ihren Reisen mit sich nehmen, und dann ihre künftigen Längenbestimmungen darauf gründen können. Nehmen wir an, daß man auf diese Art die von dem Mittelpunkte der Erde gesehene Distanz des Mondes von irgend einem anderen Gestirne, z. B. von der Sonne für folgende Zeiten durch Rechnung voraus gefunden habe:

Mittlere Pariser Zeit		geocentr. Distanz ☉☾
18ten August Mitternacht	0^h	$24^\circ\ 30'\ 10''$
Morgens	6	$27\ 50\ 40$
Mittags	12	$31\ 21\ 25$
Abends	6	$35\ 2\ 40$

Es habe nun ein Schiffer in dem sogenannten großen Ocean zuerst seine Breite zu $9^\circ\ 30'$ Nördl. und den Fehler seiner Uhr bestimmt, und dann, um $7^h\ 3'\ 40''$ seiner mittleren Ortszeit in den Abendstunden, mit seinem Sextanten die Distanz des Mittelpunkts der Sonne und des Mondes gleich $28^\circ\ 30'\ 10''$ beobachtet.

Man sieht schon aus dieser Distanz, die gegen 7^h Abends der Schiffszeit genommen wurde, da sie zwischen die zweite und dritte der oben berechneten Distanzen fällt, daß es, zur Zeit dieser Beobachtung, in Paris zwischen 6 und 12 Uhr und zwar nahe 7 Uhr Morgens gewesen seyn müsse, so daß also das Schiff nahe 12 Stunden mehr zählt, als Paris, oder daß das Schiff nahe in der östlichen Länge von 12^h von Paris gewesen seyn müsse.

Allein diese bloße Schätzung, die man übrigens durch eine einfache Proportion leicht genau berechnen könnte, würde doch sehr unrichtig seyn. Denn jene voraus berechneten Distanzen beziehen sich, wie gesagt, auf den Mittelpunkt der Erde, während die hier auf dem Schiffe beobachtete nicht von dem Mittelpunkte, sondern von der Oberfläche der Erde gesehen wurden, und daher mit jener nicht unmittelbar verglichen werden können. Um diese Vergleichung beider Distanzen richtig anzustellen,

wird man also zuerst diese beobachtete Distanz ebenfalls auf den Mittelpunkt der Erde reduziren müssen.

Ohne uns hier dabei aufzuhalten, wie diese Reduktion gefunden wird, wollen wir annehmen, daß sie für unseren Fall 0° 12′ 20″ betrage, so daß also diese beobachtete Distanz, von dem Mittelpunkte der Erde gesehen, gleich 28° 42′ 30″ ist.

Dieses vorausgesetzt, fragt es sich nun, wie viel es in Paris mittlere Zeit ist, wenn die geocentrische Distanz der Sonne und des Mondes an jenem Tage 28° 42′ 30″ beträgt. — Dieß findet man aber sehr leicht aus der vorhergehenden Tafel, in welcher man sieht, daß die Distanz der beiden Gestirne von 6 Uhr Morgens bis Mittag sich um 3° 30′ 45″ ändert, während die beobachtete geocentrische Distanz von der der sechsten Morgenstunde nur um 0° 51′ 50″ verschieden ist. Dieß gibt nämlich die Proportion

$$3^\circ\ 30'\ 45'' : 6^h = 0^\circ\ 51'\ 50'' : x$$

woraus folgt, daß x gleich $1^h\ 28'\ 32.5''$ ist, welche Zeit dann, zu 6^h addirt, die gesuchte korrespondirende mittlere Pariser Zeit jener Beobachtung zu $7^h\ 28'\ 32.5''$ gibt. Wir haben demnach für diese Beobachtung

mittlere Schiffszeit . . .	$19^h\ 3'\ 40''$	Abends
mittlere Pariser Zeit . .	$7\ 28\ 32.5''$	Morgens
Differenz	$11^h\ 35'\ 7.5''$	

und dieß ist daher zugleich die gesuchte Länge des Schiffs von Paris und zwar östlich von Paris, da die Ortszeit des Schiffs größer ist, als die von Paris. Multiplicirt man diese Differenz durch 15, so erhält man für die Ortsbestimmung des Schiffs

östliche Länge von Paris	173° 46′ 52.5″
nördliche Breite . . .	9° 30′ 0″.

Die Karte zeigt, daß das Schiff zu jener Zeit in der Nähe der Insel Ulul, einer der Karolinen-Inseln war, die zwischen den Marianen- und Mulgraves-Inseln liegen.

Das Vorhergehende wird, wie wir glauben, hinreichen, dem Leser einen genügenden Begriff von diesen interessanten Bestimmungen und überhaupt von den vorzüglichsten Beschäftigungen des praktischen Astronomen und Seefahrers zu geben.

§. 215. (Beobachtungsfehler der ersten Art.) Doch wird man darum nicht glauben, daß damit das Geschäft des wahren astronomischen Beobachters auch schon völlig geschlossen ist. Seine Pflichten sind eben so ausgebreitet und mannigfaltig, als der Gegenstand, mit welchem er sich beschäftiget, und seine Untersuchungen sind in vielen, ja in den meisten Fällen der Art, daß sie praktische Geschicklichkeit und theoretischen Scharfsinn in einem Grade erfordern, der nur selten in einem und demselben Menschen vereinigt angetroffen wird. Hier wird es genügen, nur einige der großen Hindernisse, die er beinahe täglich und in allen seinen Unternehmungen zu besiegen hat, wenigstens im Allgemeinen anzuzeigen. — Da kein Menschenwerk irgend einer Art vollkommen ist, so können wir dieß auch von unseren astronomischen Instrumenten, selbst von den besten, nicht erwarten. Ja wenn es auch einmal irgend einem glücklichen Künstler zufällig gelingen sollte, ein in allen seinen Beziehungen fehlerfreies Instrument herzustellen, so würde dasselbe doch keine Dauer haben und in der nächsten Stunde vielleicht schon wieder einer Menge, wenigstens kleiner Fehler unterworfen seyn. Die immer wechselnden Fluktua-

tionen der Wärme in der Atmosphäre bringen in jedem Instrumente nicht bloß augenblickliche und vorübergehende, sondern selbst konstante Veränderungen hervor, die sich nie ganz wieder herstellen. Durch das Gewicht der einzelnen Theile, die bei einem solchen Werkzeuge, bei dem Gebrauche desselben, verschiedene Lagen gegen einander annehmen müssen, werden Verziehungen, Pressungen und Reibungen entstehen, die kein noch so symmetrischer Bau des Ganzen und kein noch so zweckmäßig ausgedachtes Gegengewichtssystem vollkommen aufheben kann. Außer diesen und ähnlichen Hindernissen, deren gänzliche Entfernung außer dem Bereiche des Künstlers sowohl, als auch des Beobachters ist, wird jedes, auch das beste Instrument noch Fehler der Ausführung haben, die wohl mit der Geschicklichkeit und dem Scharfsinne des Künstlers sich vermindern, aber nie völlig verschwinden werden. Die Axe wird nie vollkommen cylindrisch, nie ganz koncentrisch mit ihrem Kreise, dieser wird nicht geometrisch kreisförmig, die Eintheilung desselben nie völlig fehlerfrei seyn u. s. w. Dasselbe wird auch von der Aufstellung dieser Instrumente gelten. Die Ebene des Meridiankreises oder die optische Axe seines Fernrohrs wird nie ganz genau in der Ebene des Meridians, die vertikale Axe des Multiplikationskreises nie völlig senkrecht auf dem Horizonte, die Drehungsaxe des Aequatorials nie vollkommen der Weltaxe parallel seyn u. s. w., da alle Vorsicht, die man dabei angewendet haben mag, doch nur eine Annäherung zur Wahrheit, aber nicht diese Wahrheit selbst, nur eine Verminderung, aber keine völlige Vernichtung aller jener Fehler erreichen kann. So vollkommen diese Instrumente auch gebaut und aufgestellt seyn mögen, die Forderungen des Beobachters werden immer vor den Leistungen des Künstlers voraus seyn, und an jenem ist es daher, sich so viel als möglich von diesen unabhängig zu machen, und die Fehler, welche der Künstler von diesem Instrumente nicht ganz entfernen konnte, entweder geschickt zu umgehen und dadurch unschädlich zu machen, oder ihre wahre Größe durch die Beobachtungen selbst zu entdecken und dann von ihnen Rechnung zu tragen. — Zu dieser Absicht muß der Astronom seine Beobachtungen so auswählen, so untereinander verbinden und sich mit allen Eigenheiten seines Instruments und mit den verschiedenen Fehlerquellen desselben so innig bekannt machen, daß er in diesen Fehlern selbst, so weit dieß menschlichen Kräften möglich ist, die Wahrheit erkennen und aus ihnen die der Natur der beobachteten Erscheinungen gemäße oder richtige Resultate herausfinden kann. Hierin vorzüglich besteht das eigentliche Geschäft des praktischen Astronomen, ein schweres und oft sehr verwickeltes Geschäft, von welchem aber hier nur die allgemeinsten Züge den Lesern mitgetheilt werden können, da es, um sie völlig zu verstehen, nöthig seyn würde, alle diese Geschäfte selbst bei jedem einzelnen Instrumente umständlich durchzugehen. Mehrere Winke dazu sind übrigens bereits in dem Vorhergehenden enthalten. So wird z. B. bei allen oben erwähnten Kreisen vorausgesetzt, daß sich die Alhidade desselben mit diesem Kreise genau koncentrisch bewegt. Da diese Forderung von dem Künstler nicht in aller Strenge befriediget werden kann, so bleibt dem Beobachter, wenn er genaue Resultate erhalten will, nichts anderes übrig, als entweder die Größe dieser Excentricität aufzusuchen und seine Beobachtungen darnach zu verbessern, oder aber diesen Fehler durch irgend ein Mittel zu umgehen und dadurch unschädlich zu machen. Nun läßt sich auf eine sehr einfache Weise, durch bloße Elementargeometrie, zeigen, daß, wie groß auch diese Excentricität seyn mag, die Wirkung derselben dadurch völlig vernichtet wird, wenn man der Alhidade, z. B. der Alhidade mm' des Aequatorials (Fig. 110) zwei

einander gegenüberstehende Arme gibt und von den Endpunkten m und m' derselben jeden mit einem Vernier versieht. Denn dann wird, bei einer excentrischen Alhidade, der eine Vernier immer eben so viel zu weit voraus stehen, als der andere zurücksteht, die beiden Lesungen werden, die eine eben so viel zu groß, als die andere eben so viel zu klein und daher das Mittel aus beiden Lesungen immer der Wahrheit gemäß seyn. Aus dieser Ursache sind auch bei allen besseren Kreisen diese Alhidaden immer doppelt und einander entgegengesetzt, um dadurch alle Fehler der Excentricität des Instruments aus den Beobachtungen zu eliminiren. Aber nicht immer, ja nur selten läßt sich dieses Umgehen eben so einfach auch auf die anderen Fehler des Instruments anwenden. Wenn z. B. die Rotationsaxe des Aequatorials der Weltaxe nicht, wie es doch für jede gute Beobachtung erfordert wird, parallel ist, so bleibt hier nichts übrig, als die Abweichung dieser Rotationsaxe von ihrer wahren Lage in horizontaler sowohl, als auch in vertikaler Beziehung aufzusuchen, wie wir dieß oben (§. 204) gethan haben, und dann von den so bekannten Fehlern dieser Axe bei jeder künftigen Beobachtung Rechnung zu tragen.

§. 216. (Allmählige Ausbildung der Astronomie.) Bemerken wir noch, wie aus allen diesen Betrachtungen von selbst hervorgeht, daß unsere Kenntnisse des Sonnensystems und überhaupt alle unsere astronomischen Kenntnisse sich nothwendig nur stufenweise und allmählig erweitern und berichtigen konnten. Die großen, gleichsam die groben Züge der Erscheinungen, die uns der Himmel darbiet, fand man ohne Zweifel, mit einiger Aufmerksamkeit, schon in den ersten Zeiten und mit noch sehr unvollkommenen Instrumenten, oder auch ohne alle Hülfe derselben mit bloßen Augen, und jene ersten Beobachter werden nicht angestanden haben, sie als von ihnen entdeckte Naturgesetze zu betrachten. So wie wir aber mit diesen Erscheinungen durch fortgesetzte Beobachtungen vermittelst allmählig besserer Instrumente näher bekannt wurden, so fanden sich sofort mehrere Ausnahmen von diesen sogenannten allgemeinen Gesetzen, und man sah sich dadurch in die Nothwendigkeit versetzt, jene Gesetze zu ändern und mannigfaltig zu modifiziren, um sie den neuen Erscheinungen besser anzupassen. Spätere Verbesserungen der Instrumente und der Beobachtungskunst führten wieder ähnliche, neue Modifikationen herauf, bis wir endlich, durch immerwährende Korrektion unserer früheren Ansichten, zu demjenigen Grade unserer Erkenntniß der Natur gelangten, den wir gegenwärtig einnehmen und der ohne Zweifel in der Folge der Zeiten noch viel weiter erhöht werden wird, so lange das Menschengeschlecht für das Größte und Erhabenste, das es zum Gegenstande seiner Betrachtung wählen kann, Sinn und Empfänglichkeit behält. Unsern alten Vorgängern in Griechenland mag es schwer genug geworden seyn, die Kreise zu erkennen, in welchen sich die Planeten unseres Sonnensystems bewegen sollten. Zweitausend volle Jahre verflossen seit jener Entdeckung, bis endlich ein hochbegabter Mann aus den Beobachtungen Tycho's, die alle diejenigen seiner Vorgänger an Genauigkeit übertrafen, den Schluß zog, daß diese Bahnen der Planeten keine Kreise, sondern Ellipsen sind, in deren einem Brennpunkte die Sonne ruht. Und erst in der Mitte des letztvergangenen Jahrhunderts, wo die astronomischen Instrumente, besonders durch englische Künstler, eine neue Verbesserung erhielten, konnte man durch Beobachtungen zeigen, daß auch diese Ellipsen nur eine Annäherung zur Wahrheit sind, und daß die eigentlichen Bahnen der Planeten sehr zusammengesetzte krumme Linien von doppelter Krümmung sind, deren Gestalt und Lage immer-

währenden Aenderungen unterworfen ist, Aenderungen, von welchen uns die von Newton begründete und von seinen Nachfolgern weiter ausgebildete Theorie die vollständigste Rechenschaft gibt. — Eben so hat man vielleicht sehr bald bemerkt, daß alle Fixsterne ihren täglichen Weg um die Erde in Kreisen zurücklegen, und wir haben gesehen, welche Mühe es unsern Vorgängern kostete, sich von dieser Täuschung zu befreien und diese Erscheinung durch die tägliche Umdrehung der Erde um ihre Axe zu erklären. Erst spät erkannte man mit Hülfe neuer, besserer Instrumente, daß diese sogenannten Kreise der Fixsterne auch eine Art von elliptischer Gestalt hatten, und dadurch wurde man auf die Entdeckung der Refraktion geführt, ohne deren Kenntniß jede weitere Ausbildung der Astronomie so gut als unmöglich gewesen wäre. Nun glaubte man endlich, die krummen Linien, welche die Gestirne in ihrem täglichen scheinbaren Laufe um die Erde beschreiben, vollkommen bestimmt zu haben und jeden Punkt derselben mit der größten Schärfe angeben zu können. Allein als Bradley in der Mitte des vorigen Jahrhunderts in den Besitz des besten Instrumentes seiner Zeit gelangte, entdeckte dieser vortreffliche Beobachter noch zwei andere Bewegungen der Fixsterne, durch welche jene krumme Linie, die man schon so genau zu kennen wähnte, gar mannigfaltig verändert und in ihrer Gestalt umgeformt wurde, Bewegungen, die wir jetzt unter der Benennung der Aberration (I. §. 73) und der Nutation (I. §. 193) bei allen unseren Beobachtungen täglich berücksichtigen und ohne deren Kenntniß die Astronomie nie denjenigen Grad der Vollkommenheit erhalten hätte, deren sie sich jetzt erfreut. Unsere späten Enkel werden dereinst noch die eigenen Bewegungen eines jeden dieser Fixsterne hinzufügen, von welchen wir jetzt noch so wenig wissen, und sie werden ihre Zeitgenossen über die Bewegung des ganzen Sonnensystems im Weltraume belehren, über deren Größe und Richtung wir noch ganz im Dunkeln sind.

Auf diesem Wege der allmähligen Verbesserungen also ist unsere gegenwärtige Kenntniß der Astronomie entstanden. Wenn eines jener sogenannten Gesetze der Natur gefunden war und wenn, oft erst nach mehreren Jahrhunderten, neue und bessere Beobachtungen uns auf Ausnahmen von diesem Gesetze führten, so stellten diese Ausnahmen sich zuerst unter der Gestalt von Fehlern der Beobachtungen dar, für welche sie auch in der That, so lange man noch keine Ursache von solchen Ausnahmen kennt, gehalten werden müssen. Wenn aber diese vermeinten Ausnahmen sich immer mehr und mehr wiederholen und bei einer näheren Betrachtung ebenfalls wieder nach einem gewissen Gesetze fortzugehen scheinen, so können wir nicht mehr umhin, den Grad derselben, nicht sowohl in dem Instrumente oder in der Beobachtungsart, sondern in der Natur selbst zu suchen und jenes hypothetische Gesetz der Natur dahin zu verändern, daß dasselbe nicht nur jene Erscheinungen in ihren ersten rohen Zügen, sondern daß es auch diese sogenannten Ausnahmen darzustellen vermag, wodurch dann wieder den Beobachtungen so lange genug gethan wird, bis eine neue Verbesserung der Instrumente oder eine neue Verfeinerung der Analyse uns neuerdings zu anderen Ausnahmen führt, deren Darstellung denn auch wieder eine neue Modifikation der vorhergehenden Hypothese nothwendig macht.

Zu diesem Fortschreiten in der Erkenntniß der Natur gehört aber, wenn sie sicher seyn soll, vor allem die oben erwähnte innige Bekanntschaft des Beobachters mit seinem Instrumente. Denn die meisten derjenigen Beobachtungsfehler, die bloß von einer Unvollkommenheit in dem Bau oder in der Aufstellung der Instrumente entspringen, haben

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

ebenfalls die Eigenschaft, daß sie nach gewissen Gesetzen fortgehen und in bestimmten Perioden eingeschlossen sind, nach welchen sie in der früheren Ordnung wiederkehren. Dieß wird z. B. der Fall seyn bei einer Excentricität des Kreises, bei einer Verbiegung seiner Ebene, bei einer unrichtigen Eintheilung desselben, die gewöhnlich von einer falschen Stellung des Kreises zur Theilmaschine kömmt u. s. w. So lange daher das Instrument mit allen seinen Eigenthümlichkeiten nicht vollkommen bekannt und sein Gebrauch völlig gesichert ist, wird man nie entscheiden können, ob diese periodischen, nach einem gewissen, wenn gleich noch vielleicht unbekannten Gesetze, fortgehenden Fehler der Beobachtungen, bloß von dem Instrumente kommen, oder ob sie in der Natur der Erscheinungen selbst gegründet sind, und so lange man diese beiden Fehler nicht unterscheiden und von einander trennen kann, ist auch ein wahres Fortschreiten unserer Kenntniß der Natur unmöglich.

§. 217. (Beobachtungsfehler der zweiten Art.) Allein es gibt noch eine ganz andere Gattung von Fehlern, die man bei allen unseren Beobachtungen antrifft, und die sich von den bisher betrachteten wesentlich unterscheiden, indem sie keine Periode beobachten und nach keinem bestimmten Gesetze fortgeben, sondern vielmehr ganz dem Zufalle überlassen zu seyn scheinen. Die Fehler, mit welchem unser Auge den Augenblick auffaßt, wo der Stern eben durch den Faden geht, oder die, mit welchem unser Ohr die Pendelschläge der Uhr vernimmt, nach welchen wir die Zeit der Beobachtung bestimmen, selbst der Wechsel der Witterung, der in der Refraktion, und der Wechsel der Temperatur, der in dem Instrumente augenblickliche Veränderungen hervorbringt; ferner der Mangel oder auch eben sowohl die zu große Gespanntheit unserer Aufmerksamkeit im Augenblicke der Beobachtung, und unzählige andere ähnliche Ursachen werden die Resultate dieser Beobachtungen bald etwas größer, bald wieder etwas kleiner geben, als sie der Wahrheit gemäß seyn sollen. Wenn man z. B. die Polhöhe einer Stadt aus mehreren auf einander folgenden Beobachtungen nach der oben (I. §. 44) angezeigten Methode, schon mit gehöriger Rücksicht auf die oben erwähnten Fehler des Instruments

am ersten Tage	48°	12′	35″
zweiten .	48	12	33
dritten .	48	12	34

gefunden hätte: welche von ihnen soll man nun als die wahre oder doch als die der wahren nächste betrachten? — Da die unbekannten Fehler einer jeden einzelnen dieser Beobachtungen, so groß auch die Anzahl der letzten seyn mag, nach keinem merkbaren Gesetze fortgehen und, wenn sie, wie gesagt, nur zufällig entstanden sind, auch nicht fortgehen können, so können sie, wie es scheint, auch keiner weiteren Berechnung, nicht einmal einer bloßen Schätzung unterworfen werden. Wie vortrefflich daher auch unser Instrument seyn mag, und welche Mühe und Einsicht wir auch auf die Behandlung desselben verwendet haben mögen, diese Fehler können nicht weggebracht werden, sie wurzeln gleichsam in unserer eigenen Natur, in der Unvollkommenheit unserer sinnlichen sowohl als unserer geistigen Operationen, und sie werden also auch immer und in ihrer ganzen Stärke auf die Resultate unserer Beobachtungen einwirken und dieselben selbst fehlerhaft machen.

Eine einfache Betrachtung scheint uns übrigens hier einen Ausweg aus diesen Irrgängen zu bahnen. Da die Fehler, von welchen die Rede ist, zufällig sind und die gesuchten Resultate zuweilen vergrößern und

im Allgemeinen eben so oft und eben so viel wieder verkleinern, so wird man, mit großer Wahrscheinlichkeit, annehmen können, daß auch hier, wie so oft in andern Fällen, die Wahrheit in der Mitte liege, und daß man daher nur die durch die einzelnen Beobachtungen erhaltenen Resultate addiren und die so erhaltene Summe durch die Anzahl der Beobachtungen dividiren, d. h. also, daß man nur das sogenannte arithmetische Mittel aller Beobachtungen nehmen darf, um das der Wahrheit nächste Resultat zu erhalten. In dem letzten Beispiel beträgt die Summe der drei einzelnen Beobachtungen 144° 37′ 42″, und der dritte Theil derselben oder 48° 12′ 34″ wird daher, nach dem so eben Gesagten, die der Wahrheit nächste Polhöhe seyn.

Es ist für sich klar, daß dieses Verfahren im Allgemeinen desto zulässiger seyn wird, je größer die Anzahl der Beobachtungen ist, vorausgesetzt, daß sie alle unter ähnlichen Verhältnissen angestellt worden sind, und daß keine von ihnen irgend einen Vorzug vor der anderen verdient. Wenn aber dieser Fall, der in der That selten genug eintreten mag, nicht statt hat, wenn z. B. von 30 Beobachtungen die ersten 10 bei viel günstigerem Wetter als alle übrigen, wenn die zweiten 10 von einem geübteren Beobachter und die letzten 10 endlich an einem besseren Instrumente, als die übrigen, angestellt worden wären, kurz wenn die einzelnen Beobachtungen, wie man zu sagen pflegt, ein verschiedenes Gewicht haben? — Dann läßt sich die vorhergehende einfache Regel offenbar nicht mehr anwenden. Wie soll man also dann verfahren?

Noch verwickelter wird die Antwort auf diese Frage werden, wenn man, durch diese Beobachtungen, mehrere Größen zugleich der Wahrheit gemäß oder doch ihr so nahe als möglich finden will. Um auch davon ein Beispiel zu geben, so haben die Astronomen ihre Sonnen- und Planeten-Tafeln, wie wir oben (I. §. 144) gezeigt haben, so eingerichtet, daß man daraus den Ort dieser Gestirne für jeden gegebenen Augenblick leicht finden kann. Zur Berechnung dieser Tafeln haben sie für die sechs Elemente (I. §. 142) eines jeden dieser Planeten gewisse Werthe angenommen, die ihnen damals die wahrscheinlichsten dünkten. Allein diese Werthe werden ohne Zweifel der Wahrheit nicht ganz gemäß seyn, und wenn in dem Laufe eines Jahrhunderts unsere Kenntniß des Sonnensystems, zugleich mit unserer Beobachtungskunst, bedeutende Fortschritte gemacht hat, so werden wir auch wohl im Stande seyn, bessere und genauere Werthe für jene Elemente anzugeben, als die unserer Vorgänger gewesen seyn mögen, denen jene Vortheile noch nicht zu Gebote standen. Wir werden also auch bessere Planetentafeln aufstellen können, wenn wir diese genauere Elemente erhalten haben, mit welchen wir dann jene Tafeln wieder neu berechnen werden. — Allein wie sollen wir zu diesen besseren Elementen kommen? Offenbar durch unsere besseren Beobachtungen selbst und durch Vergleichungen derselben mit jenen Tafeln der Alten.

Nehmen wir also z. B. an, wir hätten an irgend einem Tage die Sonne mit aller uns möglichen Sorgfalt beobachtet und ihre Länge gleich 30° 24′ 50″ gefunden. Sucht man nun aus den alten Tafeln für dieselbe Zeit die Länge der Sonne und findet sie gleich 30° 24′ 10″, so ist dieß ein Beweis, daß die alten Tafeln, für diesen Tag, die Länge der Sonne um volle 40″ zu klein geben. Allein wo liegt nun dieser Fehler der Tafeln? — Er kann in der Epoche, in der Excentricität, in der Lage der großen Axe — kurz, er kann in einem der sechs Elemente, oder in mehreren, oder auch in allen zugleich liegen, und das letztere ist sogar das Wahrscheinlichste, da wir keinen Grund haben, anzunehmen, daß auch

nur ein einziges von den Elementen, wie sie unsere Vorgänger angenommen haben, vollkommen richtig ist.

Es wird schon einige Kunst erfordern, zu entscheiden, welchen Einfluß ein jedes dieser sechs Elemente, für sich allein betrachtet, auf die Länge des Planeten haben wird, und wie viel also jedes dieser Elemente geändert werden müßte, wen.. man durch diese Aenderung allein jenen Fehler von 40 Secunden wieder gut machen wollte. Da nun aber jedem Elemente sein bestimmter Theil von diesem Fehler zukommen soll, so wird man offenbar eben so viel Beobachtungen, als Elemente sind, also sechs Beobachtungen, zu Hülfe rufen müssen, um aus ihnen insgesammt diejenigen Aenderungen zu bestimmen, die jedes dieser Elemente erfahren muß, um dadurch alle sechs Beobachtungen ganz genau darzustellen.

Dieß wird aber, wie man sieht, gar manche mühsame und zeitraubende Rechnungen geben. Und wenn man sie endlich alle durchgeführt hat, wenn nun alle Elemente so bestimmt worden sind, daß sie diesen sechs Beobachtungen vollkommen entsprechen: werden diese so gefundenen neuen Elemente nun auch schon die wahren seyn? — Sie würden es seyn, wenn jene sechs Beobachtungen selbst ganz wahr und fehlerfrei wären. Allein das sind sie nicht, und das können sie, eben jener Fehler wegen, von denen wir so eben gesprochen haben, nicht seyn. In Beziehung auf die oben erwähnte Natur dieser Fehler werden wir also die Tafeln unserer Vorgänger nicht bloß mit sechs, sondern vielmehr mit so vielen guten Beobachtungen als möglich vergleichen, und daraus erst die wahrscheinlichsten Elemente der Planeten bestimmen müssen. Wir werden also z. B. hundert der besten Beobachtungen sammeln, und jede derselben wird, mit den alten Tafeln verglichen, einen anderen Fehler dieser Tafeln geben. Wir werden dabei noch bemerken, daß nicht alle diese Beobachtungen denselben Werth, oder dasselbe Gewicht haben, und dann wird es an uns seyn, zuzusehen, auf welche Weise wir die Werthe jedes der sechs Elemente zu bestimmen haben, um dadurch alle jene hundert Beobachtungen, jede in Beziehung auf ihr Gewicht, nicht ganz genau, das ist offenbar unmöglich, aber doch genauer darzustellen, als dieß durch was immer für andere Werthe dieser Elemente geschehen könnte. Die Leser werden wahrscheinlich ohne meine Erinnerung bemerken, daß diese Aufgabe nicht eben zu den leichtesten und bequemsten gehört, obschon sie offenbar eine der wichtigsten und nothwendigsten der Astronomie ist, da am Ende doch alle Bemühungen der Astronomen nur den Zweck haben, das Sonnensystem, das heißt, mit andern Worten, eben diese Elemente der Planetenbahnen immer mehr und endlich so genau, als möglich, kennen zu lernen.

§. 218. (Einfache Wahrscheinlichkeit.) Fragen dieser Art, wie die zuletzt aufgestellten, gehören in das Gebiet der sogenannten Wahrscheinlichkeits-Rechnung, und diese spielt nicht nur in der Astronomie, sondern selbst in dem gemeinen gesellschaftlichen Leben eine so wichtige Rolle und ist überdieß dem größten Theile der Leser, wie ich besorge, noch so wenig bekannt, daß es nicht unangemessen erscheinen wird, das Vorzüglichste dieser eben so nützlichen als interessanten Rechnungsart hier, so weit es ohne eigentliche analytische Ausdrücke geschehen kann, kurz zusammengestellt zu finden.

Es wird ohne Zweifel auf den ersten Blick sonderbar erscheinen, daß man Ereignisse bestimmen und sogar durch Rechnung bestimmen will, von denen man doch annimmt, daß sie bloß zufällig sind und daher gleichsam nichts Bestimmtes, also auch nichts Bestimmbares an sich haben.

Um uns darüber zu verständigen, wollen wir vor allem die Sache

durch ein Beispiel deutlich zu machen suchen. Ich wähle dazu die bekannten Spielwürfel, deren sechs Seiten nach der Reihe mit 1, 2, 3, 4, 5, 6, Punkten oder Augen bezeichnet sind. Wenn man zwei solcher Würfel auf Gerathewohl auf den Tisch wirft, wie groß wird die Anzahl der auf der obersten Seite der beiden Würfel stehenden Augen seyn?

Um diese Frage zu beantworten, muß man zuerst die Anzahl aller der Fälle, die hier eintreten können, wissen. Deren sind nun 36, wie die folgende kleine Tafel zeigt, wo A den einen und B den anderen Würfel bezeichnet.

A B	A B	A B	A B	A B	A B
1 1	2 1	3 1	4 1	5 1	6 1
1 2	2 2	3 2	4 2	5 2	6 2
1 3	2 3	3 3	4 3	5 3	6 3
1 4	2 4	3 4	4 4	5 4	6 4
1 5	2 5	3 5	4 5	5 5	6 5
1 6	2 6	3 6	4 6	5 6	6 6

Wenn ich nun z. B. mit meinem Gegner wetten wollte, daß ich auf den ersten Wurf mit diesen beiden Würfeln die Zahl 7 treffen wolle: welche Wahrscheinlichkeit hätte ich da für mich?

Offenbar sind hier unter allen 36 möglichen Fällen nur sechs für mich günstig, während die andern 30 für meinen Gegner sprechen. Diese sechs mir günstigen Fälle sind nämlich 1. 6, 2. 5, 3. 4 und die umgekehrten 4. 3, 5. 2, 6. 1. Die Wahrscheinlichkeit also, daß die Zahl 7 geworfen werde, wird sich, wie die Zahl derer diesem Ereignisse günstigen Fällen zu der Zahl aller möglichen Fälle verhalten oder diese Wahrscheinlichkeit wird gleich $^6/_{36}$ seyn. Ganz eben so wird sich aber auch die Wahrscheinlichkeit, daß die Zahl 7 nicht geworfen werde, wie die Zahl der mir ungünstigen Fälle zu der aller möglichen verhalten oder diese Wahrscheinlichkeit des Gegentheils dessen, was ich erwarte, wird gleich $^{30}/_{36}$ seyn. Demnach wird sich auch die W. meines Gewinns zu der W. meines Verlustes, wie jene beiden Brüche, wie $^6/_{36}$ zu $^{30}/_{36}$ d. h. wie $^6/_{30}$ oder endlich wie $^1/_5$ verhalten; oder mit andern Worten, wenn ich mit meinem Gegner jene Wette eingehe, so habe ich nur einen Fall für mich, während der Gegner 5 für sich günstige Fälle hat. Ich würde daher sehr thöricht handeln, wenn ich mit diesem Gegner eine gleiche Wette eingehen und z. B. festsetzen wollte, daß er mir, wenn ich die Zahl 7 werfe, einen Gulden geben soll, während ich ihm einen Gulden geben muß, wenn ich die Zahl 7 nicht werfe. Die Einsätze dieser Wette müssen vielmehr, wenn sie richtig vertheilt und für beide Partheien gleich billig seyn sollen, ebenso wie die W. des Gewinns einer jeden Parthei, also hier wie 1 zu 5 sich verhalten, oder die Wette muß, wenn sie richtig gestellt seyn soll, so ausgedrückt werden, daß er mir, wenn ich 7 werfe, fünf Gulden zu geben habe, während ich ihm, wenn ich nicht 7 werfe, nur einen Gulden gebe.

Wenn nun die Wette in der That so gestellt wird, was wird dann die Folge davon seyn? — Daß nach 10 oder 50 oder 100 solchen wiederholten Würfen, nach deren jedem entweder ich einen oder der Andere

fünf Gulden gegeben hat, die Summe der Gewinnste und Verluste bei beiden Partheien sehr nahe einander gleich, und zwar um so gewisser einander gleich seyn werde, je größer die Anzahl der Würfe gewesen ist, während im Gegentheile, wenn ich mehr als einen Gulden für jeden mir ungünstigen Wurf gebe, mein Verlust, und ebenso, wenn mein Gegner mehr als fünf Gulden für jeden ihm ungünstigen Wurf gibt, sein Verlust, immer um so gewisser seyn wird, je mehr die Zahl der Würfe anwächst oder je länger das Spiel fortgesetzt wird.

Auf diese Weise ist also unsere Wahrscheinlichkeits-Rechnung zu verstehen. Nämlich erstens wird die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Ereignisses immer in der Gestalt eines Bruches dargestellt, dessen Zähler die Summe aller günstigen und dessen Nenner die Summe aller möglichen Fälle enthält. Eben so wird also auch die Wahrscheinlichkeit des Nichteintretens dieses Ereignisses die Form eines Bruches haben, dessen Zähler die Summe der ungünstigen und dessen Nenner wieder die Summe aller möglichen Fälle enthält. Jener erste Bruch nähert sich der Einheit desto mehr, je größer die Zahl der günstigen Fälle ist, und wenn endlich, unter allen möglichen Fehlern, gar kein ungünstiger ist, d. h. wenn alle möglichen Fälle zugleich günstige Fälle sind, so wird dieser Bruch zur Einheit und die Wahrscheinlichkeit zur Gewißheit, so daß also die Einheit gleichsam das Symbol der Gewißheit ist. Beide Brüche zusammen geben zu ihrer Summe immer diese Einheit, weil es gewiß ist, daß bei jedem Wurfe entweder ein günstiger oder ein ungünstiger Fall eintreffen muß. Ist der erste Bruch gleich $^1/_2$, so sind die günstigen Fälle gleich zahlreich mit den ungünstigen, dann ist also auch der zweite Bruch gleich $^1/_2$, und beide Summen wieder die Einheit, wie es seyn muß.

Hat man zweitens auf diese Weise die Wahrscheinlichkeit des Gelingens und die des Nichtgelingens, jede durch ihren Bruch ausgedrückt, so gibt das Verhältniß dieser zwei Brüche zugleich die Einsätze, welche beide Partheien einlegen müssen, wenn sie eine billige Wette unter sich anstellen wollen.

Drittens endlich sind diese Wahrscheinlichkeiten, so wie die darauf gegründeten Wetten, immer nur so zu verstehen, daß sie erst dann statt haben, wenn die Anzahl der in Rede stehenden Versuche sehr zahlreich ist, oder daß sie den durch ihre Zahlen ausgedrückten Erfolg desto gewisser herbeiführen werden, je größer die Anzahl dieser angestellten Versuche ist.

Auf diese Weise verstanden wird man sich nun leicht von der Richtigkeit der folgenden Auflösungen überzeugen.

Die Wahrscheinlichkeit, daß man auf einem Wurfe der beiden Würfel wieder die Zahl 7, wie zuvor, aber so werfe, daß der eine, gleichviel welcher, der beiden Würfel die Zahl 2 und der andere 5 gebe, ist $^2/_{36}$, also die W. des Gegentheils $^{34}/_{36}$ und daher das Verhältniß der Einsätze des ersten und zweiten Spielers bei einer Wette wie 2 zu 34 oder wie 1 zu 17, so daß der Eine für jeden ihm günstigen Fall 17 Gulden von dem Andern erhält, während er für jeden ihm ungünstigen Fall nur einen Gulden an den Anderen entrichtet.

Die Wahrscheinlichkeit aber, daß der eine Spieler auf einen Wurf zwei gleiche Zahlen 1, 1 oder 2, 2 u. s. w. werfe, ist noch kleiner, nämlich nur $^1/_{36}$.

Wenn mit drei solchen Würfeln geworfen wird, so ist die Wahrscheinlichkeit, daß mit ihnen drei unter sich verschiedene Zahlen geworfen werden, gleich $^{120}/_{216}$; daß man zwei gleiche und eine von ihnen ver-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

schiedene Zahl werfe, gleich $^{90}/_{216}$; daß man drei unter sich gleiche Zahlen werfe, gleich $^{6}/_{216}$; daß sich unter den geworfenen Zahlen wenigstens zwei, vielleicht aber auch drei gleiche befinden, gleich $^{96}/_{216}$, und endlich ist die Wahrscheinlichkeit, daß man mit einem Wurfe dieser drei Würfel drei unmittelbar hinter einander stehende Zahlen wie **1. 2. 3** oder **2. 3. 4** u. s. f. werfe, gleich $^{24}/_{216}$ oder gleich $^{1}/_{9}$. Diejenigen Leser, welche an solchen Spekulationen Vergnügen finden, werden sich von den hier angeführten, so wie den nächstfolgenden Auflösungen leicht selbst Rechenschaft geben.

Hieher gehört auch folgende interessante Frage. — In einer Urne befinde sich eine gegebene Anzahl von unter sich vollkommen gleichen, kleinen Kugeln. Wenn man nun die Hand in die Urne senkt und davon irgend eine Anzahl dieser Kugeln auf Gerathewohl herauszieht, welche Wahrscheinlichkeit hat man dafür, daß die Anzahl der herausgezogenen Kugeln gerade, wie z. B. **2, 4, 6 ...** oder daß sie ungerade, wie **1, 3, 5** seyn wird?

Nehmen wir, um auch diese Aufgabe sofort durch ein specielles Beispiel zu erläutern, an, daß *vier* solche Kugeln in der Urne sind, die wir, um sie einzeln anzugeben, durch a, b, c, d bezeichnen wollen. Dieß vorausgesetzt, wird man *acht* ungerade Zusammenstellungen haben, nämlich erstens die vier einzelnen a, b, c, d selbst und dann noch die vier folgenden abc, abd, acd und bcd. Von den geraden Paarungen aber findet man nur sieben, nämlich ab, ac, ad, bc, bd, cd und endlich abcd. Es gibt daher überhaupt **15** mögliche, gerade und ungerade Verbindungen, und von diesen sind **8** ungerade und **7** gerade. Daraus folgt daher nach der oben angeführten Vorschrift, daß die W. einer ungeraden Verbindung gleich $^{8}/_{15}$ und die einer geraden gleich $^{7}/_{15}$ ist. Wenn ich daher mit meinem Gegner eine Wette eingehen will, daß ich auf jedem Griffe eine gerade Anzahl von Kugeln aus der Urne ziehen werde, so werde ich, wenn wir beide gleichviel einsetzen, desto gewisser in Nachtheil kommen, je mehr Züge aus der Urne ich mache. Soll aber diese Wette so angestellt werden, daß, je länger ich ziehe, desto mehr auch Gewinn und Verlust zu beiden Seiten derselbe bleibe, so muß ich bei jeder ungeraden Anzahl an den Gegner *sieben* Gulden entrichten, während er mir, so oft ich eine gerade Anzahl ziehe, acht Gulden zu geben hat. Eben so findet man für fünf Kugeln die Wahrscheinlichkeit, daß man eine gerade Anzahl derselben zieht, gleich $^{15}/_{31}$ und die W. einer ungeraden Anzahl gleich $^{16}/_{31}$; für zehn Kugeln hat man für die W. einer geraden Anzahl $^{511}/_{1023}$ u. s. w. Man sieht daraus, daß die ungerade Anzahl immer wahrscheinlicher ist, als die gerade, daß aber auch die beiden Wahrscheinlichkeiten einander immer näher, nämlich gleich $^{1}/_{2}$ kommen, je größer die in der Urne enthaltene Anzahl der Kugeln ist; für drei Kugeln sind diese Wahrscheinlichkeiten $^{3}/_{7}$ und $^{4}/_{7}$, und für zwei Kugeln sind sie $^{1}/_{3}$ und $^{2}/_{3}$.

Man wird bemerken, daß bei allen diesen Untersuchungen die Anzahl aller *möglichen* Fälle als bekannt vorausgesetzt wird, weil sich ohne diese Kenntniß die Wahrscheinlichkeit irgend eines Erfolges gar nicht bestimmen lassen würde. Dasselbe gilt auch von den zunächst folgenden Problemen bis §. **222**, wo sodann Untersuchungen ganz anderer Art eintreten werden.

§. **219.** (Zusammengesetzte Wahrscheinlichkeit.) Aber nicht immer sind diese Untersuchungen so einfach, wie in den vorhergehenden Fällen. Wenn man z. B. die Wahrscheinlichkeit sucht, daß irgend ein Ereigniß, dessen einfache, nach §. **58** bestimmte Wahrscheinlichkeit gleich w ist, zwei, drei,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

viermal nach einander statt habe, so ist die gesuchte W., wie sich durch Rechnung zeigen läßt, gleich der zweiten, dritten, vierten Potenz von w. So ist z. B. die W., mit einem einzigen Würfel die Zahl 1 zu werfen, nach der vorhergehenden Tafel gleich $^1/_6$. Also ist auch die W. mit einem Würfel zweimal nacheinander die Zahl 1 zu werfen, gleich $^1/_{36}$; dreimal gleich $^1/_{216}$ u. s. w. Ebenso war die W., mit zwei Würfeln auf einen Wurf die Zahlen 1 und 1 zu werfen, gleich $^1/_{36}$, also ist auch die W., diese beiden Zahlen zweimal nach einander zu werfen, gleich $^1/_{1296}$ u. s. w.

Wenn ferner von zwei Urnen die erste 3 weiße und 1 schwarze, die zweite aber 4 weiße und 2 schwarze Kugeln enthält, so ist die W., daß man durch einen zufälligen Griff in eine der beiden Urnen eine weiße Kugel ergreifen wird, gleich $^{17}/_{24}$. In diesen und ähnlichen Fällen muß man nämlich die beiden nach §. 218 gefundenen einfachen Wahrscheinlichkeiten mit einander multipliciren, um die gesuchte zusammengesetzte W. zu erhalten. Es ist nämlich die W., in die erste Urne zu greifen, gleich $^1/_2$, und dann aus ihr eine weiße Kugel zu ziehen, gleich $^3/_4$, also ist auch die W., daß sich beides ereignen werde, gleich $^1/_2 \times {}^3/_4$ oder gleich $^3/_8$. Ganz eben so findet man für die W., daß man in die zweite Urne greifen und aus ihr eine weiße Kugel ziehen werde, gleich $^1/_2 \times {}^4/_6$ oder gleich $^1/_3$. Da nun diese beiden Ereignisse für den Zug einer weißen Kugel günstig sind, so ist die oben gesuchte W. gleich der Summe von $^3/_8$ und $^1/_3$ oder gleich $^{17}/_{24}$, wie zuvor.

Ebenso ist die Wahrscheinlichkeit, daß man mit einem Würfel in 4 Würfen die Zahl 6 wenigstens einmal werfe, gleich $^{671}/_{1296}$, also schon etwas größer als $^1/_2$, daher es auch wahrscheinlicher ist, daß diese Zahl 6 in 4 Würfen einmal, als daß sie gar nicht vorkommen werde. Die W. aber, daß man mit einem Würfel in 4 Würfen diese Zahl 6 wenigstens zweimal werfe, ist nur gleich $^1/_7$, also viel geringer, als $^1/_2$.'

Die W., mit zwei Würfeln auf den ersten Wurf 9, oder wenn dieß nicht geschieht, wenigstens auf den zweiten Wurf 9 zu treffen, ist nahe gleich $^1/_5$. Ebenso ist die W., mit zwei Würfeln auf den ersten, oder doch auf den zweiten oder wenigstens auf den dritten Wurf die Zahl 7 zu treffen, nahe gleich $^2/_5$ u. s. w.

Ohne diese Aufgaben noch mit andern zu vermehren, oder auch die bereits erwähnten umständlich zu beweisen, was uns hier zu weit führen würde, wollen wir uns begnügen, auf zwei interessante Anwendungen dieser Fragen aufmerksam zu machen, deren Nichtbeachtung bereits Viele in großen Schaden gebracht hat, und die noch jetzt oft genug ihre nachtheiligen Wirkungen auf die bürgerliche Gesellschaft ausübt.

§. 220. (Anwendung dieser Berechnung auf öffentliche Versorgungsanstalten.) Wenn, wie schon das Sprichwort sagt, nichts ungewisser ist, als der Tod eines Menschen, so verhält sich dieß doch ganz anders, wenn von dem Tode einer großen Anzahl zusammen lebender Menschen die Rede ist. Unsere zu verschiedenen Zeiten und in verschiedenen Ländern darüber angestellten Erfahrungen haben uns gelehrt, daß das Aussterben großer Gesellschaften, z. B. der ganzen Bevölkerung einer Provinz oder eines Landes, so lange nicht außerordentliche Fälle, verheerende Kriege oder Krankheiten eintreten, äußerst regelmäßig vor sich gehe, und daß z. B. von einer Million in demselben Jahre geborner Menschen nach 18 Jahren nur die Hälfte, nach 46 Jahren der dritte, nach 55 Jahren nur mehr der vierte Theil derselben lebe, und daß die Natur von dieser Regel nur sehr selten, und auch dann noch nur sehr geringe Ausnahmen mache. Diesem gemäß hat man die so gesammelten Erfah-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

rungen in Tafeln gebracht, die man Mortalitätslisten zu nennen pflegt. Die folgende ist ein Auszug einer unserer besten, und sie zeigt an, wie viel von 1000 zusammen Gebornen nach 10, 20, 30 ... Jahren noch leben.

Alter.	Lebende.	Alter.	Lebende.
0	1000	45	339
5	579	50	300
10	532	55	255
15	511	60	210
20	491	65	162
25	466	70	112
30	439	75	69
35	409	80	37
40	374	85	17

Diese Mortalitätstafel zeigt also, daß z. B. von 1000 in demselben Jahre gebornen Menschen im zwanzigsten Jahre noch 491, im fünfzigsten Jahre aber nur mehr 300 Lebende übrig sind. Sie zeigt uns ferner, daß die eigentliche Lebenskraft der Menschen in den ersten Jahren sehr gering, daß sie zwischen dem 10ten und 20sten Lebensjahre am größten ist, und daß sie von da wieder abnimmt, bis sie im 80sten Jahre wieder so schwach wird, wie im Anfange.

Nennt man n die Zahl der ersten und (n) die entsprechende Zahl der zweiten Kolumne der vorhergehenden Tafel, wo also z. B. (n) = 300 für n = 50 ist, so sieht man aus dem bloßen Anblicke der Tafel, daß von 374 jetzt zusammenlebenden 40jährigen Menschen nach 10 Jahren, wo also jeder von ihnen 50 Jahre alt ist, nur mehr 300 leben. Also werden auch z. B. von 1000 zusammenlebenden 40jährigen Menschen nach 10 Jahren noch x oder 1000mal 300 dividirt durch 374 leben, da man hat

$$374 : 300 = 1000 : x$$

und überhaupt werden daher auch von N jetzt zusammen lebenden n jährigen Menschen nach t Jahren noch $\frac{(n+t)}{(n)}$ Menschen leben.

Da nun, nach §. 218, die einfache Wahrscheinlichkeit des Eintreffens eines Ereignisses gleich einem Bruche ist, dessen Zähler die Anzahl der günstigen und dessen Nenner die Anzahl aller möglichen Fälle überhaupt ist, so ist auch die Wahrscheinlichkeit, daß eine von jenen N Personen, deren jede n Jahre alt ist, (n + t) Jahre erreiche, gleich der vorhergehenden Größe $N\frac{(n+t)}{(n)}$ dividirt durch N, das heißt diese Wahrscheinlichkeit ist gleich der Zahl $\frac{(n+t)}{(n)}$.

Auf diese Weise findet man also aus unserer Tafel, die Wahrscheinlichkeit w, daß ein bereits 40jähriger Mensch noch zehn Jahre lebe, gleich $\frac{(50)}{(40)}$ oder $\frac{300}{374}$ oder nahe 0.8 ist. Eben so findet man für die

Wahrscheinlichkeit w', daß ein 50jähriger Mensch noch zehn Jahre lebe, den Ausdruck $\frac{(50)}{(60)}$ oder $\frac{210}{300}$ oder nahe 0.7, und ebenso endlich ist diese Wahrscheinlichkeit w'' für einen jetzt 60jährigen Menschen gleich 0.5 u. s. w. Man sieht, wie diese Wahrscheinlichkeit mit dem zunehmenden Alter immer abnimmt.

So wie uns aber die Vorschrift des §. 218 diese einfache Wahrscheinlichkeit der Fortdauer eines Menschen für irgend eine bestimmte Anzahl von Jahren gegeben hat, eben so wird uns auch die Regel des §. 219 die zusammengesetzte Wahrscheinlichkeit der Fortdauer der Verbindung von zwei oder mehreren Personen für eine bestimmte Anzahl Jahre geben. Zu diesem Zwecke werden wir nämlich, wie dort gesagt worden ist, nur die zuvor bereits gefundenen einfachen Wahrscheinlichkeiten multipliciren, um sofort die gesuchte zusammengesetzte W. zu erhalten. Wenn also die Wahrscheinlichkeit, daß ein jetzt n jähriger Mensch noch t Jahre lebe, nach dem Vorhergehenden gleich $\frac{(n+t)}{(n)}$ ist, und daß also auch die W., für einen n' jährigen Menschen, noch t Jahre zu leben, gleich $\frac{(n'+t)}{(n')}$ ist, so folgt daraus unmittelbar, daß die W., daß diese beide Personen nach t Jahren noch beisammen leben, gleich dem Produkte von $\frac{(n+t)}{(n)}$ in $\frac{(n'+t)}{(n')}$ seyn wird, und sofort für drei und mehrere Personen.

Man sieht, wie von diesen Rechnungen die wahrscheinliche Dauer der Ehe zweier Personen verschiedenen Alters oder auch das wahrscheinliche Beisammenleben der Aeltern mit ihren Kindern zusammenhängt, und daß diese Wahrscheinlichkeiten es sind, auf welchen die richtige Berechnung unserer sogenannten Wittwen- und Waisen-Pensionen beruht. So findet man z. B. für zwei Personen, davon die eine 40 und die andere 50 Jahr alt ist, die Wahrscheinlichkeit, daß sie beide noch 10 Jahre beisammen leben werden, gleich 0.8mal 0.7 oder gleich 0.56. Für 40 und 60jährige Personen ist diese W. gleich 0.8mal 0.5, oder gleich 0.4 und für zwei 50 und 60jährige endlich 0.7mal 0.5 oder gleich 0.35. Sucht man aber die W., daß drei Personen, davon die eine jetzt 40, die andere 50 und die dritte 60 Jahre alt ist, noch 10 Jahre mit einander leben, so ist diese W. gleich dem Produkte jener drei einfachen Wahrscheinlichkeiten 0.8, 0.7 und 0.5 oder gleich 0.28 also viel kleiner, als alle jene vorhergehenden einzelnen Wahrscheinlichkeiten, wie dieß auch in der Natur der Sache so seyn muß.

§. 221. (Anwendung dieser Berechnung auf unsere Glücksspiele.) Wenn man drei Größen a, b und c zu je zweien unter sich verbindet, so nennt man diese Verbindungen bekanntlich Amben. So hat man hier die drei Amben ab, ac und bc. Zwischen vier Größen, a, b, c und d aber findet man sechs Amben, nämlich die drei ebengenannten und dann noch die drei folgenden drei bd, ad und cd. Ebenso wird man finden, daß 5 Größen 10 Amben, 6 Größen 15 Amben geben u. s. w. Betrachtet man diese Zahlen etwas genauer, so überzeugt man sich bald, daß man überhaupt für n Größen die Zahl der Amben findet, wenn man n mit n — 1 multiplicirt und das Produkt durch 2 dividirt.

Ebenso erhält man die Ternen oder die Verbindungen dieser n Größen nach je dreien derselben, wenn man die vorhergehende Anzahl

der Amben mit n — 2 multiplicirt und durch 3 dividirt, so daß also 4 Größen 4, 5 Größen 10, 6 Größen 35 Ternen geben u. s. w.

Auf dieselbe Weise erhält man von n Größen alle möglichen Quaternen, wenn man die so eben gefundene Zahl der Ternen mit n — 3 multiplicirt und durch 4 dividirt, und eben so endlich auch die Zahl der Quinternen, wenn man die Zahl der Quaternen mit n — 4 multiplicirt und durch 5 dividirt u. s. w.

Unsere gewöhnlichen Lotterien enthalten bekanntlich 90 Nummern, nämlich die natürlichen Zahlen 1, 2, 3 bis 90. Diese 90 Größen geben daher, nach dem Vorhergehenden, die Hälfte von 90mal 89 oder 4005 Amben, den dritten Theil von 4005mal 88 oder 117480 Ternen, den vierten Theil von 117480mal 87 oder 2555190 Quaternen, und den fünften Theil von 2545190mal 86 oder 43949268 Quinternen.

Allein von diesen 90 Numern werden bekanntlich in jeder Ziehung nur 5 gezogen oder unter diesen 90 Zahlen gibt es nur 5 Treffer. Diese 5 Treffer geben also, wenn man darauf wieder die vorhergehende Regel anwendet:

die Hälfte von 5mal 4 oder 10 Amben,
den dritten Theil von 10mal 3 oder 10 Ternen,
den vierten Theil von 10mal 2 oder 5 Quaternen und
den fünften Theil von 5mal 1 oder 1 Quinterne.

Da wir sonach die Zahl aller möglichen und auch die Zahl aller günstigen Fälle kennen, so werden wir auch leicht die Wahrscheinlichkeit, daß einer von diesen günstigen Fällen eintrete, bestimmen können. Diese Wahrscheinlichkeit wird also (nach §. 218) gleich einem Bruche seyn, dessen Zähler die Zahl der günstigen und dessen Nenner die Zahl aller möglichen Fälle ist. Man erhält sonach, wenn man in eine solche Lotterie 2, 3, 4 oder 5 Zahlen setzt, für die Wahrscheinlichkeit, daß man damit wenigstens errathen wird

eine Ambe . . . $^{10}/_{4005}$ oder $^{2}/_{801}$
eine Terne . . . $^{10}/_{117480}$ oder $^{1}/_{11748}$
eine Quaterne . $^{5}/_{2555190}$ oder $^{1}/_{511038}$ und
eine Quinterne . $^{1}/_{43949268}$

Wendet man auf die so gefundenen Wahrscheinlichkeiten dasjenige an, was wir oben (§. 218) von den billigen Wetten gesagt haben, so folgt daraus, daß dem Spieler, wenn er eine Ambe gewinnt, sein Einsatz $^{801}/_{2}$ oder nahe 400mal erstattet werden sollte; allein er erhält nur den 270fachen Einsatz. Eben so sollte ihm, wenn er eine Terne erräth, sein Einsatz 11747fach gegeben werden, er erhält ihn aber nur 5500fach, und bei einer Quaterne sollte er den Einsatz 511038mal erhalten, während er ihn nur 75000mal erhält u. s. w. Man sieht daraus die sehr großen Nachtheile, welchen die Spieler in solchen Banken ausgesetzt sind, und wie thöricht es ist, einen größern Theil seines Vermögens daran zu setzen, in der Hoffnung, dasselbe durch dieses Spiel zu vermehren.

Dasselbe Glücksspiel bietet noch eine Menge anderer interessanter Fragen dar, von welchen wir hier der Kürze wegen nur die vornehmsten mit ihren Antworten zusammenstellen.

Wenn man nur eine einzige Numer gesetzt hat, so ist die Wahrscheinlichkeit, daß sie herauskommen, oder daß diese Numer auch ein Treffer sey, gleich $^{1}/_{18}$.

Hat man zwei Numern gesetzt, so ist die W., daß sie auch beide herauskommen, oder daß man mit ihnen eine Ambe gewinne, nahe gleich $^{1}/_{400}$, wie zuvor.

Die W., daß von zwei gesetzten Numern beide und zwar in einer bestimmten Ordnung herauskommen, ist gleich $^1/_{800}$, und die W., daß von drei gesetzten Numern alle drei in einer bestimmten Ordnung herauskommen, ist $^1/_{70488}$.

Wenn man bloß zwei Numern gesetzt hat, so ist die W., daß von ihnen gewiß eine herauskomme, nahe gleich $^1/_{10}$. Eben so ist die W., daß von drei gesetzten Numern wenigstens eine herauskomme, gleich $^3/_{20}$; die W. aber, daß zwei von ihnen herauskommen, ist nur $^1/_{100}$ und endlich die W., daß alle drei Treffer sind, ist gleich $^1/_{1147}$, wie zuvor.

§. 222. (Wahrscheinlichkeit, wenn die Anzahl der möglichen Fälle unbekannt ist.) Allein alle die bisher angeführten Wahrscheinlichkeiten setzen, wie man sieht, voraus, daß die Anzahl der überhaupt möglichen Fälle bekannt ist. Es gibt aber in der Natur eine Menge von Ereignissen ganz anderer Art, bei denen diese Anzahl der möglichen Fälle völlig unbekannt ist, und diese sind es vorzüglich, welche den Astronomen, den Physiker und überhaupt alle Diejenigen interessiren, denen es darum zu thun ist, die Gesetze, nach welchen die Natur verfährt, durch eigentliche Beobachtungen, durch wiederholte Experimente näher kennen zu lernen. Wenn man nämlich den Werth einer oder auch mehrerer Größen, die man schon aus früheren Beobachtungen, wenigstens beinahe, kennen gelernt hat, nun genauer bestimmen will, so bleibt uns nichts übrig, als diese Beobachtungen mit aller uns möglichen Umsicht anzustellen und sie, so viel es von uns abhängt, zu vervielfältigen. Auf diese Weise wird man z. B. für die Polhöhe seines Ortes, oder für die Schiefe der Ekliptik oder für beide zugleich eine sehr große Anzahl von Bestimmungen erhalten, die unter sich sämmtlich, wenn auch nur wenig, verschieden und überdieß auch noch vielleicht von sehr ungleichem Werthe (Gewichte) seyn werden, und es wird sich nun darum handeln, aus allen diesen Bestimmungen diejenige herauszufinden, die der gesuchten Wahrheit zunächst liegt. Man bemerkt ohne meine Erinnerung, daß diese Untersuchungen von einer ganz anderen Art sind, als alle vorhergehenden, und daß sie zugleich für die endliche Ausbildung aller sogenannten Naturwissenschaften von der größten Wichtigkeit seyn müssen, da sie es eigentlich sind, die uns von den unvermeidlichen Fehlern unserer Sinne, denen wir bei allen unseren Beobachtungen und Experimenten ausgesetzt sind, unabhängig machen und gleichsam den Menschen von der beschränkten Lage, in welche ihn die Natur versetzt hat, befreien und ihn über sich selbst erheben, ihn zu einem Wesen höherer Art machen sollen. Auch ist jene Gattung der Wahrscheinlichkeitsrechnung, wo die Anzahl der überhaupt möglichen Fälle gegeben ist, als die leichtere und einfachere schon seit längerer Zeit von Pascal, Moivre, Huyghens, Leibnitz, Bernoulli u. A. ausgebildet worden, während die gegenwärtige erst unseren Tagen angehört, indem wir das Vorzüglichste, was uns bisher davon bekannt geworden ist, unseren großen Zeitgenossen Laplace und Gauß verdanken.

Es würde dem vorgesetzten Zwecke dieser Schrift nicht angemessen seyn, die von den beiden letztgenanten Männern zu dieser Absicht gegebenen Methoden hier umständlich mitzutheilen, da dieß ohne den Gebrauch vieler analytischer Formeln nicht ausführbar wäre. Wir müssen uns daher bloß darauf beschränken, die Wichtigkeit, den Nutzen und die Anwendbarkeit dieser neuen, höchst interessanten Rechnung, wenigstens in ihren allgemeinsten Zügen darzustellen und unsere Leser auf den großen Einfluß aufmerksam zu machen, welchen die hier in Rede stehenden Methoden, wenn sie dermaleinst weiter ausgebildet und gehörig

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

angewendet seyn werden, auf die Tiefe sowohl, als auch auf die Verbreitung der gesammten menschlichen Erkenntniß äußern werden.

§. 223. (Der Begriff des Zufalls ist in unserer Unkenntniß der Dinge gegründet.) In der That, beinahe alle die wichtigsten Fragen, die unsere geselligen Verhältnisse, die unser bürgerliches und wissenschaftliches Leben, die uns, unsere Besorgnisse und unsere Hoffnungen, selbst für die fernste Zukunft betreffen, sie lassen sich alle auf dieses große Problem der Wahrscheinlichkeit zurückführen. Was sind unsere menschlichen Erkenntnisse anders, als bloße Wahrscheinlichkeiten? — Selbst in den mathematischen Wissenschaften, wo wir uns so gern der erkannten reinen Wahrheit rühmen möchten, sind doch die vorzüglichsten Mittel, uns ihr zu nähern, Analogie und Induktion, die sich beide wieder auf Wahrscheinlichkeit gründen. — Vor allem aber stellen sich uns die Erscheinungen der Natur, die gesammten Phänomene der physischen sowohl, als auch selbst der geistigen Welt, nur unter dem Bilde von Wahrscheinlichkeiten dar, von welchen wir die Sache selbst, die Wahrheit, welche ihnen zu Grunde liegt, nur selten oder bloß zufällig erfassen können.

Auch schreiben wir bei weitem die meisten dieser Erscheinungen, da wir ihre Ursache und ihren Zusammenhang nicht kennen, dem Zufalle zu, obschon sie, selbst die geringfügigsten unter ihnen, ohne Zweifel eben so nothwendige Folgen derselben ewigen Gesetze der Natur sind, als es die Bewegungen der Sonne und aller Körper des Himmels nur immer seyn können. Auf diese Weise ist aber, was wir Zufall nennen, nur der Ausdruck unserer Unkenntniß der Dinge. Vor der höchsten Erkenntniß der Welt muß alles als Zusammenhang, und nichts als Zufall erscheinen und auch für uns selbst werden diese sogenannten zufälligen Erscheinungen, mit der Erweiterung unserer Kenntniß der Dinge, immer mehr verschwinden, und die nächste Folge davon wird seyn, daß sich auch das Heer von Vorurtheilen vermindern wird, die so lange schon die Plage des armen Menschengeschlechtes sind, und gegen die es, wie gegen den Moder der Verwesung, kein besseres Mittel gibt, als das helle Licht der Sonne, als das Licht der Aufklärung und der Erkenntniß.

Noch ist es nicht so lange her, daß jede Finsterniß, jedes Nordlicht, jeder Komet, daß überhaupt jede ungewöhnliche Erscheinung der Natur die Menschen in Furcht und Schrecken setzte, weil sie in ihren Augen als eben so viele Zeichen des göttlichen Zorns galten. Sie flehten zitternd zu dem Himmel, um dadurch die verhängte Strafe von sich abzuwenden. — Warum bitten sie aber nicht auch denselben Himmel, den Lauf der Sonne und der Planeten zu ändern? — Weil sie die Ursache dieser Bewegungen kannten oder doch zu kennen glaubten, und weil sie diese Planeten immer vor sich hatten.

Von jenen Erscheinungen aber, die nur selten wiederkamen und von deren Auftreten sie sich keine Rechenschaft geben konnten, nahm jeder an, was ihm gut dünkte oder was seine erschreckte Einbildungskraft ihm eben eingeben wollte. So haben wir gesehen, daß der große Komet des Jahres 1456 Entsetzen über ganz Europa verbreitete, das ohnehin schon durch eine verheerende Pest und durch die Verwüstungen, welche die Türken um sich verbreiteten, geängstiget wurde. Wie ganz anders wurde die Erscheinung desselben Kometen zwei Jahrhunderte später aufgenommen, als Newton das Gesetz des Weltsystems gefunden und uns gelehrt hatte, daß die Kometen, gleich allen andern Körpern unseres Sonnensystems, diesem Gesetze gehorchen, und daß sich die Bahnen, welche sie am Himmel beschreiben, bestimmen und ihre Wiederkunft voraus

berechnen lassen. Früher war der Komet der Gegenstand einer grundlosen Furcht, der Bote drohenden Unglücks, und jetzt ist er ein Gegenstand aufmerksamer Beobachtung und Berechnung geworden.

Dieselbe Regelmäßigkeit aber, die wir in der Bewegung der Kometen kennen gelernt haben, wird ohne Zweifel auch bei allen übrigen Erscheinungen der Natur uns sichtbar werden, wenn wir auch von ihnen die Gesetze, nach welchen sie fortgehen, einmal kennen werden. Die krummen Linien, welche der Staub oder die, welche die Elemente der Luft um uns her beschreiben, sind gewiß eben so bestimmten und unveränderlichen Gesetzen unterworfen, als die großen Bahnen, welche von jenen Himmelskörpern in dem Weltraume beschrieben werden, und der Unterschied, der zwischen beiden *für uns* noch statt hat, liegt nicht *in ihnen*, sondern einzig nur in uns selbst, in *unserer* Beschränktheit, in *unserer* Unkenntniß dieser Gegenstände. Denn ohne Zweifel ist der gegenwärtige Zustand des Universums in allen seinen, auch den geringfügigsten Theilen, nur die Folge eines vorhergegangenen, so wie zugleich die Ursache eines künftigen Zustandes desselben. Ein Geist, der alle Kräfte kennt, von welchen die Natur belebt ist, und der den gegenwärtigen Zustand aller Wesen in ihren Wechselwirkungen übersieht, würde mit Einem Blicke, vielleicht mit einem einzigen Ausdrucke seiner höheren Analyse, alle vergangenen und künftigen Phänomene der Natur zu umfassen im Stande seyn. Er würde ohne Zweifel die vergangenen und künftigen Bewegungen der Wassertropfen im Weltmeere und der Sonnenstäubchen in der Atmosphäre eben so, wie die der Planeten und Kometen im Himmelsraume übersehen, und für ihn würde kein Zufall, sondern alles nothwendige Folge, für ihn würde keine *Wahrscheinlichkeit*, sondern alles nur *Wahrheit* seyn und die Vergangenheit, wie die Zukunft, würde klar und offen vor seinen Augen liegen.

§. 224. (Hinneigung aller Erscheinungen der Natur zu einer gewissen Ordnung.) Mitten unter den höchst veränderlichen und uns meistens zufällig erscheinenden Phänomenen der Natur bemerken wir, daß die Unregelmäßigkeit derselben in dem Maaße abnimmt, je öfter sie vorkommen, und daher dort, wo anfangs der *Zufall* allein zu walten schien, alle Art von fester Ordnung immer mehr sichtbar zu werden scheint, die wir dann, vielleicht mit demselben Unrechte, einer gewissen, uns übrigens noch verborgenen *Absicht* zuzuschreiben geneigt sind. Um dieß sogleich durch ein Beispiel deutlich zu machen, wollen wir annehmen, daß eine Urne eine uns ganz unbekannte Anzahl von weißen und schwarzen Kugeln enthalte. Wenn man bei jedem Zuge eine Kugel herausnimmt, ihre Farbe bemerkt und sie dann wieder in die Urne zurücklegt, um eine neue Ziehung vorzunehmen, so wird man, je länger man diese Ziehungen fortsetzt, desto deutlicher ein bestimmtes und konstantes Verhältniß der beiden Farben bemerken, und dieß Verhältniß der gezogenen weißen und schwarzen Kugeln wird dem Verhältniß der überhaupt in der Urne enthaltenen weißen und schwarzen Kugeln immer näher kommen, je größer die Anzahl der Ziehungen ist.

Denken wir uns, in einem zweiten Beispiele, eine Reihe kreisförmig um uns aufgestellter Urnen, deren jede eine große, übrigens willkührliche Zahl weißer und schwarzer Kugeln enthält. Zieht man dann eine Kugel aus der ersten Urne und wirft sie in die zweite, schüttelt darnach die Kugeln der zweiten Urne und zieht aus ihr eine Kugel und wirft sie in die dritte Urne u. s. f., bis man die aus der letzten Urne gezogene Kugel wieder in die erste wirft, und setzt man dieses Verfahren mit der ganzen Reihe von Urnen recht oft fort, so wird das Ver-

hältniß der weißen und schwarzen Kugeln in jeder einzelnen Urne sich dem konstanten Verhältnisse der weißen und schwarzen Kugeln in allen Urnen zusammengenommen, immer mehr nähern, je länger jene Versuche fortgesetzt werden.

Dieselbe Erscheinung, daß sich alle, selbst die zufälligsten Dinge, sehr oft wiederholen, zu einer bestimmten Regelmäßigkeit hinneigen, und zwar desto mehr hinneigen, je öfter sie wiederholt werden — diese sonderbare Erscheinung dringt sich uns gleichsam als ein allgemeines Gesetz bei allen Ereignissen der physischen und selbst der moralischen Welt auf. Es scheint, daß gewisse konstante Kräfte der Natur regelmäßige Wirkungen hervorbringen, und daß sie eben dadurch andere veränderliche Einflüsse mit der Zeit überwiegen und so gleichsam aus dem Schooße der Unordnung eine gewisse Ordnung, und aus der Verwirrung selbst eine Art von Zusammenhang und Harmonie erzeugen. Wenn wir bei unseren Versuchen einmal dahin gelangt sind, diese Harmonie aufzufassen und das Gesetz dieses Zusammenhangs zu erblicken, so sind wir dann auch in den Stand gesetzt, die künftige Gestaltung dieser Ereignisse mit einer Sicherheit vorauszusagen, von der wir uns selbst nicht immer strenge Rechenschaft geben können und die den, mit weniger scharfen Sinnen oder mit einer schwächeren Auffassungsgabe betheilten Zuschauer ganz unerklärbar, ja wohl selbst ein Wunder erscheint. Wer von uns kann es sagen, wie viele von den außerordentlichen Erscheinungen, deren unsere Weltgeschichte und oft schon die Geschichte manches einzelnen Menschen so voll ist, auf diese und nur auf diese Weise erklärt werden können? Muß man nicht auch die für unsere geselligen Verhältnisse so wichtigen Geburts- und Sterbe-Tafeln, von welchen wir oben gesprochen haben, aus derselben Quelle ableiten? Wie sollte man sich sonst erklären können, warum die Anzahl der Geburten und der Sterbefälle eines Landes, ungeachtet der Veränderungen einzelner Jahre, wenn man sie aus einer großen Anzahl von Jahren ableitet, immer sehr nahe dieselben Resultate geben? Dasselbe hat mit den Erzeugnissen des Bodens, ja selbst mit den einzelnen Fruchtarten statt, und es würde nicht schwer seyn, aus der moralischen Welt ebenfalls Beispiele für den Beleg dieses Satzes anzuführen.

§. 225. (Trieb zur Vereinigung gleichgestimmter Wesen.) Dahin scheint auch jene wunderbare Sympathie oder der Trieb zur Vereinigung ähnlicher Wesen in der materiellen sowohl, als auch in der geistigen Welt zu gehören. Zwei Pendel oder zwei Uhren, deren Gang anfangs verschieden ist, erhalten endlich, wenn sie auf derselben Unterlage angebracht sind, einen ganz gleichen Gang. Auf diese Bemerkungen gründen sich Breguet's sogenannte sympathetische Uhren, die beide in Einem Gehäuse eingeschlossen, endlich ganz denselben, selbst fehlerhaften Gang annehmen. Gespannte Saiten geben, wenn auch nur eine derselben berührt wird, die gleichen oder doch die verwandten Töne. Auf dieselbe Art sehen wir auch die Thiere verschiedener Gattung, aber von ähnlicher Organisation, nach Vereinigung streben und mehrere derselben sich in Gruppen und Heerden bilden. Selbst über viele Geschlechter der Pflanzen scheint sich eine Art von Familienband zu schlingen und sie zu einem gemeinschaftlichen Ganzen zu vereinigen. Ohne Zweifel haben die Zusammentretungen des Menschen zu größeren Gesellschaften und zu ganzen Staaten denselben Ursprung. Und wie in der Ehe, wie in der Liebe der Aeltern zu ihren Kindern und dieser zu jenen, sehen wir auch in diesen größeren Gesellschaften, daß der stärkere Geist dasselbe Vergnügen in der Leitung und Beschützung des schwächeren findet, welches dieser in der Hingebung und

in dem Gehorsam gegen jene genießt. Verwandte Gefühle und Empfindungen, in einem Kreise mehrerer Menschen erregt, verstärken sich durch gegenseitige Mittheilungen, wie wir täglich in unseren Schauspielen und noch mehr in denjenigen Gegenden sehen können, wo diese Mittheilung durch keine äußere Hemmung beschränkt ist. So mächtig werden dadurch oft jene Empfindungen gesteigert, daß sie zur Begeisterung, selbst zum Fanatismus führen, daß sie das Gemüth eines ganzen Volkes bis zu einer Art von Wuth erhitzen, daß sie sich mit einer unwiderstehlichen Kraft verbreiten und unglaubliche, an das Wunderbare gränzende Wirkungen hervorbringen, wie unsere Geschichtsbücher auf mehr als einer Seite bezeugen. Es ist möglich, daß die oft eben so schwer zu besiegende Sympathie, welche die Muskeln unseres Gesichtes verzieht, wenn wir einen anderen lachen oder gähnen sehen, aus derselben Quelle entspringt. Unsere Augenlieder schließen sich schnell und unwillkührlich vor jeder plötzlich auffallenden Gefahr, noch ehe sie die Wirkung unseres Willens erreicht, und wir machen die Bewegung des Ausweichens vor einem uns begegnenden Hindernisse, wenn wir gleich noch weit von ihm entfernt sind, ja oft schon bei der Erzählung oder bei dem bloßen Gedanken an eine solche Gefahr.

Die Erzählung großer Thaten erregt nicht bloß Begeisterung, sondern auch den Trieb der Nachahmung, besonders bei jungen Gemüthern, und weniger glücklich organisirte Menschen sind durch Räubergeschichten zu einer ähnlichen Nacheiferung angereizt worden.

§. 226. (Aehnliche Operationen unseres Gedächtnisses.) Auch in unseren Erinnerungen an längst vorübergegangene Ereignisse liegt noch viel Geheimnißvolles, das einer genaueren Untersuchung in hohem Grade würdig ist. Wir fühlen eigene innere Bewegungen, wenn wir uns an einen Namen oder an eine Sache erinnern wollen. Es ist, als ob wir das Verlorne, nicht in dem ganzen Kopfe, sondern nur in einem Theile, in einem bestimmten Winkel desselben suchen sollten, etwa wie man eine in einem Kasten verlegte Schrift nur in gewissen Fächern desselben sucht, wo sie, einer innern Ahnung gemäß, liegen muß. Eindrücke der frühesten Jugend erhalten sich oft noch bis in das späte Alter, während die der männlichen Jahre schon längst entschwunden sind. Wir behalten die Dinge, die wir am Abend eines Tags gehört oder gelernt haben, am sichersten, und vergessen im Gegentheile jene am leichtesten, die wir etwa aus einem Buche unmittelbar vor dem Einschlafen erhalten haben. Verwickelte Untersuchungen, wenn man sie einige Tage ruhen läßt und sich absichtlich von ihnen entfernt, treten dann gewöhnlich mit frischer Klarheit aus ihrem Dunkel hervor. — Wir bewundern mit Recht das ungewöhnlich starke Gedächtniß einiger Menschen. Aber wenn man bedenkt, welche unübersehbare Masse von Dingen auch das gewöhnlichste Gedächtniß eines jeden Menschen in sich aufnimmt, so müssen wir erstaunen, daß so viele Gegenstände in einem so kleinen Raume ohne Verwirrung Platz haben können. Einem Sänger in unsern Opern z. B. muß heute jede Sylbe seiner Rolle, ihr Ton, ihr Zeitmaaß und die sie begleitende Gebehrde, klar und lebhaft vorschweben, und die folgende Rolle des morgenden Tages muß wieder allen jenen gestrigen Vorrath in den dunklen Hintergrund zurückdrängen, um einem neuen Heere von Erinnerungen seine Stelle abzutreten. Alle diese endlosen Reihen liegen zu gleicher Zeit in dem Gedächtnisse des Sängers und können, nach Willkühr, wie die Register einer Orgel, hervorgezogen oder zurückgestellt werden.

§. 227. (Gewohnheiten.) Diese und viele andere Operationen unseres inneren Sinnes werden, wie wir alle erfahren, durch Wiederholung

stärker und geläufiger. Diese Wiederholungen, wir mögen sie nun selbst vornehmen oder bloß an Andern häufig genug bemerken, bilden alsdann unsere Gewohnheiten, und auf diesen endlich beruht ein großer Theil unserer Gebräuche und selbst unserer Sitten. Nur aus dieser Gewohnheit läßt es sich erklären, warum so oft, was bei dem einen Volke für gut und schicklich gehalten wird, bei dem anderen schlecht und selbst abscheulich erscheint. Die Gladiatorenspiele der alten Römer und die Menschenopfer der Wilden erregen Entsetzen auch bei Jenen, die doch ohne Anstand Tausende von ihren Brüdern, bloßer Meinungen wegen, dem Scheiterhaufen übergeben oder ihre Blicke an den Leiden eines Verurtheilten laben, oder ein mit Leichen besäetes Schlachtfeld mit Vergnügen sehen und sich dieses Vergnügens noch als einer Tugend rühmen können.

Die Gewohnheit scheint überhaupt einer der mächtigsten Hebel der menschlichen Gesellschaft zu seyn. Es würde gewiß sehr schlecht um uns stehen, wenn wir alles nur aus Ueberzeugung thun sollten, und wenn wir zu nichts früh schon gewöhnt worden wären. Gar Vieles und vielleicht das Beste in jedem Menschen ist nur durch Gewohnheit, von Jugend auf, in ihm entstanden. Wenn unsere Erzieher, die der jungen sowohl, als die der alten Kinder, diese Wahrheit ganz einsehen und sie in das praktische Leben einführen wollten, so würde unsere moralische Welt eine ganz andere Gestalt annehmen. Aber sie vergessen Beide, so oft sie auch das Gegentheil davon im Munde führen, daß ihre Zöglinge ebensowohl Geist als Körper sind, und daß man diese beiden Dinge nicht so leicht trennen kann, als sie meinen. Das, was in unserem Geiste die sogenannte Ueberzeugung hervorbringt, ist nicht immer der eigentliche Beweis. Wie wenig Sachen gibt es, die wir wirklich als bewiesen annehmen können? Die meisten Menschen sehen, was sie auch am besten zu sehen glauben, gleichsam nur wie durch einen Nebel. Beweise wirken nur auf den Geist, aber Gewohnheit reißt Geist und Körper mit sich fort, und zu ihr muß man im praktischen Leben, wo uns die Beweise so oft verlassen, wieder zurückkehren. Wer diese Beweise immer gegenwärtig haben will, wird sich viele unnütze Geschäfte machen und nur selten gut zu Ende kommen. Gewohnheit geht sicherer und schneller zugleich. Die beste Erziehung und die beste Regierung ist die, welche Kinder und Leute gewöhnt hat, gut zu seyn. Grundsätze verlassen uns in der Stunde der Gefahr, aber Gewohnheit ist eine zweite Natur, die uns nie verlassen kann. Rechtthun aus Grundsatz mag verdienstlicher seyn, aber Rechtthun aus Gewohnheit ist sicherer, wenigstens für so schwache Geschöpfe, wie wir sind, die wir uns selbst die Engel nicht anders denken können, als Wesen, die bloß aus der Ursache gut sind, weil sie, etwa wieder aus Gewohnheit, gut seyn müssen.

§. 228. (Instinkt der Menschen.) Wir pflegen in der uns, wie es scheint, angebornen Bescheidenheit unsern eigenen Werth so hoch anzuschlagen, daß wir mit den anderen lebenden Wesen auf dieser Erde durchaus nichts gemein haben wollen. Wir sprechen ihnen erstens den Verstand ab und wollen zweitens nichts von ihrem Instinkt an uns haben, und — wir irren uns wahrscheinlich in beiden Fällen. Die meisten der vorhergehenden Bemerkungen zeigen uns, daß in unserm innern, sogenannten geistigen Organismus ein sehr großer Theil demjenigen angehört, was wir bei den übrigen Geschöpfen Instinkt zu nennen pflegen. Bei einer unpartheiischen Betrachtung unserer Handlungen und beinahe aller unserer geistigen Funktionen geht keineswegs, wie wir uns wohl zuweilen selbstgefällig zu schmeicheln pflegen, Ueberlegung, Vernunft-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

grund und freie Wahl immer voraus, sondern meistens nur ein gewisses, zwar dunkles, aber mächtig bestimmendes Gefühl, das Menschen von glücklicher Organisation nur selten trügt, und das uns sicherer leitet, als alles schulgerechte Raisonnement. Auch ist es jenes dunkle Gefühl, was uns zum Handeln führt, da das, was wir Vernunftschlüsse nennen, meistens später, erst hinter jenem Gefühle, nachkömmt, und mehr dazu dient, jene erste Sensation zu kontrolliren, als uns den eigentlichen Impuls zu geben. Die gütige Natur ließ es bei dem Menschen, wie es scheint, nicht gern auf die Vernunft allein ankommen, und sie schickt oft schon den Trieb über uns, wenn wir mit dem Beweise noch lange nicht fertig sind. Auf diese Weise greift der Instinct beinahe immer dem geschlossenen Urtheile vor. Das Brauchbarste im Leben hat gewöhnlich Jeder unter uns nicht von Andern gelernt: es wohnt bei und in uns, und wir kommen dazu, ohne selbst recht zu wissen, auf welche Art. Am deutlichsten sehen wir dieß in jenen Dingen, in welchen wir eigentlich nichts, als eben auf diese Weise sehen; ich meine, in unseren sogenannten hyperphysischen Wissenschaften. Denn besteht nicht z. B. unsere Metaphysik, und unsere ganze Philosophie dazu, eigentlich doch nur darin, uns dessen etwas deutlicher, oder — soll ich sagen — etwas gelehrter bewußt zu machen, was wir auch ohne diese Wissenschaft, eigentlich schon längst gewußt haben?

Die stärkste Leidenschaft unter allen, die des Menschen Herz bewegt, diejenige, die keinen Widerstand kennt und kein Opfer scheut, ist die Liebe der Mutter zu ihrem Säuglinge. Jede andere Liebe, so große Ansprüche sie auch auf ihre Uneigennützigkeit machen mag, liebt doch, in letzter Instanz, nur sich selbst. Bei weitem die meisten Menschen thun alles, was sie thun, nur ihres Vortheils wegen, und die wir die Edleren nennen, sind von den andern nur dadurch verschieden, daß sie sich edlere Vortheile zu den Beweggründen ihrer Handlungen wählten. Wenn es die Natur so wollte, was können wir dagegen thun? — Diese Einrichtung ist vielleicht sehr weise und zur Erhaltung des ganzen Geschlechts ganz eben so nöthig, als die Empfindlichkeit zur Erhaltung des Körpers. Wenn wir uns aber dadurch gedemüthigt fühlen, so wollen wir uns dafür mit der Bemerkung zufrieden stellen, daß es unserem Scharfsinne keine Schande bringt, den Betrug ausfindig gemacht zu haben, den uns die Natur, ohne Zweifel zu unserem eigenen Besten, damit spielen wollte. — Also nur in der mütterlichen Liebe zu ihrem neugebornen Kinde äußert sich, bei Menschen, wie bei Thieren, eine unwiderstehliche, von allem Eigennutz, auch der edelsten Art, ganz reine Anhänglichkeit an ein äußeres Wesen. Und worauf hat die Natur diese mächtigste der Leidenschaften gebaut? Auf Vernunftgründe? — Dann wehe der Erhaltung des Geschlechts! Hat sie doch nicht einmal jene andere Liebe, die wir vorzugsweise mit diesem Namen zu bezeichnen pflegen, auf einer so gebrechlichen Basis errichten wollen, wie schon die große Macht beweist, welche dieselbe, selbst gegen die lauteste Stimme der Vernunft, so oft und auf die meisten von uns auszuüben pflegt.

Es wäre besser, daß wir, statt uns noch ferner mit den vermeinten höheren Gaben zu brüsten, mit welchen uns die Natur zum Nachtheile aller anderen Geschöpfe so reichlich beschenkt haben soll, diejenigen Gaben, die wir in der That erhalten haben, ganz unpartheiisch etwas näher kennen zu lernen suchten, als wir bisher gethan haben. Unsere Philosophen sollten, statt der unfruchtbaren Spekulationen, mit welchen sie ihre Zeit vergeuden, vielmehr diese innere Organisation des Menschen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

genauer kennen lernen. Noch fehlt es uns zu sehr an Beobachtungen und Erfahrungen, um die Natur von dieser uns so nahen und zugleich so interessanten Seite, um unsere eigene innere Natur mit Nutzen studieren zu können. Das würde dermaleinst eine ganz andere Physiologie höherer Art geben und uns eine ganz neue Welt von Kenntnissen öffnen. Was stünde da zu erwarten und wie beneidenswerth müßten uns unsere Enkel erscheinen, wenn sie einmal dahin gelangen sollten, die Erscheinungen und Gesetze dieses inneren Organismus zu erkennen und auf ihn die Kraft der Analyse und unsere Wahrscheinlichkeitsrechnung eben so anzuwenden, wie wir sie bisher, nach Newton's Beispiel und Anleitung, auf die Erscheinungen der Außenwelt, auf die Gesetze der Bewegungen der Himmelskörper angewendet haben.

Allein so wie die Astronomie, so lange sie in den Händen der griechischen Philosophen war, die nur raisonniren, aber nicht beobachten wollten, unfruchtbar blieb, so lange wird auch diese höhere Physiologie, oder die eigentliche Psychologie des Menschen, in ihrer bisherigen Nacht verborgen bleiben, bis man eine hinlängliche Masse guter Beobachtungen und Erfahrungen über diesen Gegenstand gesammelt haben wird. Noch fehlt es uns beinahe gänzlich an denselben, und selbst die Instrumente, mit welchen man diese Beobachtungen anstellen soll, sind uns größtentheils noch unbekannt. Die Erscheinungen, um die es sich hier handelt, werden überdieß zu den gewöhnlichen und alltäglichen gezählt und entgehen eben dadurch unserer Aufmerksamkeit, obschon sie derselben in dem höchsten Grade würdig sind, da wir nur durch sie zu einer nähern Kenntniß unser selbst kommen können. So lange wir bei irgend einer Untersuchung der Natur, der äußeren sowohl als auch der inneren, nicht messen und wägen können, so lange können wir auch nicht rechnen, und wo Rechnung fehlt, fehlt das Beste, fehlt nur nicht eben Alles. Vielleicht ist das sicherste Mittel, diese Messungen vorzunehmen, in uns selbst verborgen, und wir haben bisher nur nicht Geschicklichkeit genug gehabt, es gehörig anzuwenden. Die thierischen Nerven sind vielleicht die feinsten Instrumente, die man zur Beobachtung der Natur gebrauchen kann, besonders wenn sie durch irgend einen Zufall in den Stand einer höheren Reizbarkeit versetzt werden. Durch sie hat man die äußerst schwache Elektricität entdeckt, welche durch die Berührung zweier heterogenen Metalle erregt wird, und sie sind es auch, die uns jene sonderbaren Erscheinungen kennen gelehrt haben, die wir, so wenig wir auch noch von ihnen wissen, dem thierischen Magnetismus und dem Einflusse der Sonne und des Mondes auf verschiedene Krankheiten zuschreiben. Diese Wirkungen sind, wenn sie anders in der That existiren, ohne Zweifel nur sehr schwach, und sie können daher leicht verkannt und von einer zu lebhaften Phantasie auch wohl überschätzt werden: aber dieß kann kein Grund seyn, sie, wie Manche gethan haben, ohne alle weitere Untersuchung zu verwerfen. Wir sind noch so weit entfernt, alle Agentien der Natur zu kennen, daß es durchaus nicht gebilliget werden kann, die Existenz solcher Erscheinungen bloß aus der Ursache zu läugnen, weil sie uns, bei dem gegenwärtigen Zustande unserer Kenntnisse, noch unerklärbar oder unglaublich erscheinen. Auch hier soll man es sich daher, nach jenem goldenen Wahlspruche, angelegen seyn lassen, Alles zu prüfen und das Beste zu behalten. Wie vieles ist in unseren Tagen als eine ausgemachte Wahrheit selbst bis zu dem gemeinsten Manne vorgedrungen, was in der Vorzeit als Thorheit verlacht oder als Irrthum verfolgt worden ist, und umgekehrt. Man denke nur an unsere ehemaligen Astrologen, Zauberer, Traumdeuter, an unsere dämo-

niakischen Personen und an die schändlichen Hexenprozesse, denen so viele Unschuldige zum Opfer gebracht wurden. Der Mensch ist halb Geist, halb Körper, wie der Polyp halb Pflanze und halb Thier — und an den Gränzen liegen immer die sonderbarsten Geschöpfe. Durch diese Sonderbarkeit selbst wird schon das Interesse der Untersuchung vermehrt, wenn sie auch nicht sonst schon so innig mit unserem eigenen Wohl und Wehe verbunden wäre. Was ist kläglicher, als ein von Vorurtheilen befangener Geist, den Visionen und leere Träume fesseln, der immer fürchtet und keinen Augenblick sich seines Daseyns rein erfreuen kann. Und, welches Mittel gibt es gegen dieses Unglück, als Bildung und Aufklärung als wahre Erkenntniß der Natur und unserer eigenen Bestimmung? — Nur mit Schauder kann man an die vielen und traurigen Verirrungen denken, welchen sich nicht bloß der Einzelne, sondern sogar ganze Völkerschaften durch mehrere Jahrhunderte ohne Anstand und mit einer Hartnäckigkeit hingegeben haben, die weder die Vernunft, noch die Erfahrung, noch das Unglück selbst in seiner häßlichsten Gestalt, zu besiegen vermochten. Diese Vorurtheile erbitterten ihr Leben, hielten sie in beständiger Besorgniß, verfolgten sie bis in ihre Träume — aber alles dieß vermochte nichts über das arme Menschengeschlecht, das sich allen Qualen der Einbildungskraft willig hingab, um nur dadurch seine Lust zu büßen, in der Zukunft zu lesen und das Unmögliche möglich zu machen.

Müssen wir nicht den Grund einer so betrübenden und so allgemeinen Erscheinung in derselben inneren Einrichtung unseres Wesens, in jener geistigen Physiologie suchen, die dort anfängt, wo unsere materielle Physiologie aufhört, und die ohne Zweifel, so wie diese, bestimmten Gesetzen unterworfen ist, deren nähere Kenntniß uns daher nicht anders als höchst interessant und nützlich zugleich seyn kann. Schon hat man es versucht, einige dieser Erscheinungen aus dem Dunkel hervorzuziehen, in welchem sie bisher verborgen waren, und auf sie die Wahrscheinlichkeitsrechnung anzuwenden. Aber diese Versuche sind noch zu neu und die Untersuchungen selbst vielleicht zu schwer, als daß man sobald schon ihrer Vollendung entgegen sehen sollte. Hier wird es genügen, nur einige der vorzüglichsten derselben kurz anzudeuten.

§. 229. (Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf das öffentliche Leben.) Da auf das Zusammenleben der Menschen in ganzen Völkerschaften so viele äußere und innere Ursachen einwirken, so wird es selbst dem scharfsinnigsten Beobachter oft unmöglich, diese Wirkungen von einander zu trennen und sich bis zu einer klaren Ansicht des Gegenstandes zu erheben. Auch fehlt es uns hier mehr, als sonst wo, an hinlänglichen Erfahrungen. Hätte man z. B. in jedem Zweige der öffentlichen Administration die seit Jahrhunderten neu eingeführten Experimente mit ihren guten oder bösen Folgen genau aufgezeichnet, so würde man jetzt über den Nutzen oder Schaden derselben ein bestimmtes Urtheil fällen können. Aber wie wenige allgemeine und vollkommen bewährte Regeln wird man über diesen so wichtigen Gegenstand anführen können! — So scheint es uns allen klar, daß man dem unabweislichen Fortgange des Ganzen der menschlichen Gesellschaft, in materieller und intellektueller Hinsicht, keinen Damm entgegen setzen soll; aber es ist wohl nicht minder gewiß, daß man jede größere Veränderung nur mit der äußersten Umsicht vornehmen darf, wenn man nicht auf neue, oft ganz unbesiegbare Hindernisse stoßen will. Die Vergangenheit kennen wir bereits durch unsere eigene Erfahrungen: aber die Uebel, welche jede Neuerung

mit sich führen kann, sind uns noch ganz fremd. In dieser Unkenntniß der Zukunft gebietet uns die Vernunft sowohl, als auch jene Rechnung, vor allem Vorsicht und Vermeidung aller heftigen Aenderung, bei welcher, wie bei einem gewaltsamen Stoße in der materiellen Welt, immer sehr viel von dem verloren geht, was man in der Mechanik die lebendige Kraft des Systems zu nennen pflegt.

Wie oben in den beiden Beispielen von den in Urnen enthaltenen Kugeln (§. 224), so würden wir auch hier, in Beziehung auf das gesellige Leben der Menschen, ähnliche Fälle anführen, die nicht weniger auffallend sind, als die Resultate, welche man bereits aus den Geburts- und Sterbelisten (§. 220) in verschiedenen Ländern abgeleitet hat. Man muß es lebhaft bedauern, daß die Aufmerksamkeit derjenigen, denen die Leitungen solcher größeren Gesellschaften anvertraut war, bisher viel zu wenig auf diesen höchstwichtigen Gegenstand gerichtet gewesen ist. Nur seit wenigen Jahren macht das Ministerium Frankreichs seinen Comtes généraux de l'administration de la justice jährlich bekannt, und schon lassen sich daraus Resultate ableiten, die nicht nur für dieses Land, sondern für die ganze Menschheit von hohem Interesse sind. Man sieht daraus z. B., daß die Anzahl der körperlichen Verstümmlungen, um sich dadurch dem Militärdienste zu entziehen, alle Jahre nahe dieselbe ist, ja daß dasselbe auch von jeder einzelnen Art dieser Verstümmlungen gilt. So findet man alljährlich in ganz Frankreich nahe 710 Individuen, die sich die rechte Hand verletzen und 1320, die sich die vorderen Zähne ausbrechen, und eben so 970, die wegen Hinken, 920 wegen Kurzsichtigkeit, nur 11 und 12 wegen Krätze, aber gegen 800 wegen Kopfausschlag und 390, die wegen epileptischen Zufällen von der Konscription zurückgewiesen werden müssen. Vor den Tribunaux correctionels dieses Landes erscheinen jährlich 170000 Angeklagte, selten nur einige hundert mehr oder weniger, und von je 100 der Angeklagten werden in der Regel 85 verurtheilt. Eben so konstant erscheint die Zahl der vor den Tribunaux criminels statt habenden Citationen, die jährlich 7200 beträgt, und von je 100 der hier Angeklagten werden 61 verurtheilt. Wenn daher die Bevölkerung Frankreichs 32 Millionen beträgt, so kömmt auf je 4440 Einwohner einer der letzten Angeklagten. Man kann daher 1 gegen 4440 wetten, daß irgend einer dieser Einwohner in dem Laufe eines Jahrs unter der Zahl dieser Unglücklichen gefunden, und 61 gegen 39 oder 100 gegen 64, daß er, wenn er unter ihnen ist, auch verurtheilt werden wird. Dieselbe auffallende Beständigkeit findet sich auch bei den einzelnen Verbrechen wieder, so daß die Verfälschungen, die Diebstähle, die Mordthaten, so wie die Duelle, Banquerotte, und wie alle diese Verirrungen des menschlichen Geistes noch weiter heißen, nahe immer in derselben Anzahl mit jedem Jahre wieder kommen. Welch ein betrübender Anblick! Alljährlich mehrere Tausende in einem einzigen Lande, die gleichsam unwiderstehlich zu den Gerichten und zu den Verurtheilungen hingestoßen werden. Welchem Unholde werden diese Opfer geschlachtet; welchem Feinde des Menschengeschlechtes, welchem neuen Moloch werden diese gräßlichen Abgaben entrichtet? — Voilà un nouveau budget, qu'on paye annuellement avec une régularité effrayante: c'est le budget des prisons, des bagnes et des échafauds. Et cet tribut est acquitté avec plus de régularité, que celui qu'on doit à la nature ou au trésor de l'état. Triste condition de l'espèce humaine! Nous pouvons énumerer d'avance, combien d'individus souilleront leur mains du sang de leurs semblables, combien seront faussaires, voleurs, empoisonneurs, à peu près comme on peut énu-

merer d'avance les naissances et les décès, qui doivent avoir lieu l'année prochaine *).

Es scheint daher, daß alles, was sich auf das Menschengeschlecht in Masse bezieht, eben solchen bestimmten und regelmäßigen Gesetzen unterliegt, wie wir dieß bei allen physischen Erscheinungen bemerken, und daß, je größer diese Masse ist, desto mehr der individuelle Wille des Einzelnen in den Hintergrund tritt, um jene Gesetze, sie mögen nun zur Erhaltung oder auch zum Untergange des Geschlechtes führen, desto freier walten zu lassen. Es scheint — aber auch nicht mehr. Wer von uns hat nicht schon aus eigener Erfahrung, an sich und anderen, den gewaltigen Einfluß kennen gelernt, den Erziehung, Umgang, Beispiele, äußere Bedürfnisse u. dgl. auf den sittlichen Zustand des Einzelnen sowohl, als auch ganzer Gesellschaften ausüben. Wer von uns wird nicht, zur Ehre und zum Troste seines Geschlechts, gern annehmen, daß der Unglückliche, den man zu dem Hochgerichte schleppt, ein ganz anderes Loos erhalten und verdient hätte, wenn er unter anderen Verhältnissen erzogen und ausgebildet worden wäre. Wenn wir von den Opfern hören, die in den verflossenen Jahrhunderten den Blattern, der orientalischen Pest, dem sogenannten heiligen Feuer, mit jedem Jahre zu Tausenden fielen, so werden wir dadurch eben so wenig auf den Fatalismus einer ewigen Dauer dieser Kalamitäten geführt werden, als durch die denselben Jahrhunderten angehörenden, aller Vernunft Hohn sprechenden Hexenprozesse, die eben so viele Unglückliche auf den Scheiterhaufen gebracht haben. Beide Uebel haben aufgehört, weil die Ursachen aufgehört haben, aus welchen sie hervorgegangen sind. Laßt Mißjahre und neue Seuchen und verheerende Kriege über uns einbrechen, wie schnell wird dann der sittliche Zustand der Gesellschaft unter sein gewöhnliches Niveau fallen. Wenn die Wuth der Kreuzzüge, die nahe zweihundert Jahre ganz Europa in konvulsivische Zuckungen versetzte, wieder unter uns erwachte, oder wenn, in einer neuen Völkerwanderung, die wilden Bewohner eines Welttheiles sich, wie ein Meer, über den anderen ergießen — welche Zerrüttungen, welcher Jammer würde die unausbleibliche Folge solcher Ereignisse seyn. Und doch würden auch sie nur aus denselben Ursachen hervorgehen, als die sind, welche unsere Ueberschwemmungen, unsere Erdbeben und andere Erscheinungen der Natur begleiten. Wenn diese physischen und moralischen Erschütterungen für irgend ein Land wie die Pest für den Orient, auch Jahrhunderte durch währen sollten, so wird doch kein Besonnener daraus den Schluß ziehen, daß sie immer dauern, aber wohl, daß sie so lange fortfahren werden, zu wirken, als ihre Ursache nicht aufgehört hat, die dort die konstanten Opfer der Seuche, und hier die ebenfalls mit jedem Jahre wiederkommende Anzahl der Angeklagten und der Verurtheilten erzeugt. Die Erforschung dieser Ursache also ist es, die unsere ganze Aufmerksamkeit erfordert, da wir sie nicht zu entfernen im Stande sind, so lange wir sie nicht kennen. Der Mensch und das ganze Menschengeschlecht entsteht, entwickelt sich und vergeht nach bestimmten Gesetzen, die der ewige Urheber der Natur in sie gelegt hat. Diese Gesetze kennen zu lernen und ihre wohlthätigen Wirkungen, so viel in unsern Kräften steht, zu befördern, ist das Größte und Edelste, womit wir uns beschäftigen können, weil nur dadurch die wahre Sittlichkeit, diese höchste Zierde des Menschen, errungen, weil nur dadurch die Perfektibilität des ganzen Geschlechtes, die in unsere Hände gegeben ist, erst möglich gemacht werden kann.

*) Essai de physique sociale. Par. Quetelet. Par. 1835.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

So betrübend daher auch jene Bemerkungen für den Menschenfreund auf den ersten Anblick erscheinen mögen, so tröstend, ja erhebend werden sie bei einer näheren Betrachtung, da sie uns lehren, daß unser Schicksal, im Ganzen genommen, von uns selbst abhängt, und da sie uns zugleich die Mittel kennen lehrt, durch die allein die Verbesserung dieses Schicksals erhalten werden kann: Vervollkommnung unserer Erziehung, Veredlung unserer Sitten und Gewohnheiten und Verbreitung unserer Kenntnisse von uns selbst und von der ringsum uns umgebenden Natur. Wenn es, aller Erfahrung verflossener Jahrhunderte gemäß, nicht weiter bezweifelt werden kann, daß der Mensch, wie alles, was da lebt, einem von dem ewigen Urheber der Natur aufgestellten Gesetze, dem er sich nicht völlig entziehen kann, unterworfen ist, so ist es doch auf der andern Seite, derselben Erfahrung gemäß, nicht minder klar, daß jeder einzelne Mensch durch die Freiheit seines Willens und durch Veredlung seiner geistigen Kraft, nicht nur sich selbst den Einflüssen jenes Gesetzes oder vielmehr den daraus entspringenden Hindernissen mehr und mehr entziehen und ihnen entgegen wirken, sondern daß er, wenn er mit vorzüglicher Geisteskraft begabt und vom Glücke in seiner Stellung begünstiget ist, selbst auf die Vervollkommnung seines ganzen Geschlechtes oft auf das wohlthätigste und auf viele Jahrhunderte hin, einwirken kann, wie unsere Geschichte auf mehr als einem ihrer Blätter zeugt. Diese Auserwählten, diese so recht eigentlich vom Himmel zur Veredlung des Menschengeschlechtes Berufenen sind es, denen man an ihrer Wiege schon sagen, denen man bis an das Ende ihrer irdischen Laufbahnen täglich wiederholen sollte, welchen hohen Auftrag sie erhalten, welche schwere Verantwortung sie auf sich genommen haben.

Leben wir der heiteren Hoffnung, daß die Zeit, wo diese Wünsche, wenigstens ihrem größeren Theil nach, in Erfüllung gehen sollen, nicht mehr so fern von uns ist. Seit mehreren Jahrzehnten ist in beinahe allen Ländern Europas ein Geist der Beobachtung und Untersuchung rege geworden, der sich vorzüglich in den eigentlich sogenannten Naturwissenschaften äußert. So lebhaft waren seine Fortschritte in allen Zweigen unserer Erkenntniß der uns umgebenden Welt, daß diese letzten Zeiten mehr Entdeckungen gebracht haben, als viele vorhergehende Jahrhunderte zusammen genommen. Immer mehr wendet sich dieser Geist ab, einerseits von dem Reiche der Dichtkunst und der Romantik, die mehr dem jugendlichen Alter der Völker geziemt, und andererseits von den gehaltleeren Spekulationen der Metaphysik, um seine ganze Kraft auf die Erkenntniß der Natur zu vereinigen, auf bestimmte, durch *Beobachtung* und *Berechnung* konstatirte Erkenntniß positiver Erscheinungen. Diese zweckmäßigste aller Beschäftigungen, die der menschliche Geist wählen kann, wird nicht verfehlen, auch auf ihn selbst wieder wohlthätig zurück zu wirken. In der That scheint sich bereits die Zeit immer weiter von uns zu entfernen, wo selbst die Besseren mit oberflächlichen, mit halbverstandenen Ansichten und mit unbestimmten Umrissen sich begnügten, während man jetzt mit jedem Tage mehr auf feste Form und scharfe Gränze dringt, und selbst bei solchen Untersuchungen, die früher ganz außer dem Bereich der Mathematik lagen und dem Zufalle überlassen wurden, nicht bloß beobachten, messen und wägen, sondern auch diese Beobachtungen der eigentlichen *Rechnung* unterwerfen will, weil diese, und diese *allein* uns in den Stand setzt, die gewünschte Wahrheit unserer Erkenntniß, wenn auch nicht völlig zu erreichen, doch uns derselben immer mehr und mehr zu nähern.

§. 230. (Wahrscheinlichkeitsrechnung bei Zeugenaussagen.) Die Wahr-

scheinlichkeit der Zeugenaussagen bei unseren Gerichten zu kennen, muß für den Richter sowohl, als auch für den Gerichteten von der größten Wichtigkeit seyn. Oft zwar wird es sehr schwer und oft sogar unmöglich seyn, auf diesem Wege die gesuchte Wahrheit zu erhalten, da die meistens unbekannte Wahrheitsliebe des Menschen und der Grad seiner Einsicht des Gegenstandes die Sache selbst mannigfaltig verändern kann. Wenn aber diese beiden Umstände einigermaßen bekannt sind, so läßt sich unsere neue Rechnung in der That darauf anwenden.

Ein Zeuge sagt vor Gericht aus, daß unter mehreren Fällen, von denen man nur n als möglich erkennt, ein bestimmter dieser n Fälle in der That statt gehabt habe. Ist dann w die Wahrhaftigkeit des Zeugen, das heißt der Grad der Verläßlichkeit, daß er die von ihm als Wahrheit erkannte Sache auch in der That aussagen will, und ist s die Sicherheit desselben, d. h. der Grad der Verläßlichkeit, daß er sich in seiner eigenen Ansicht nicht selbst geirrt habe, so ist, wie jene Rechnung zeigt, die Wahrscheinlichkeit, daß jener bestimmte Fall in der That statt gehabt hat, gleich dem Produkte von w in s, mehr dem Produkte von 1 — w in 1 — s durch n — 1 dividirt.

Aus dieser allgemeinen Formel lassen sich eine Menge besonderer Fälle ableiten. Ist man z. B. von der Wahrhaftigkeit oder Redlichkeit des Zeugen vollkommen überzeugt, so ist die Wahrscheinlichkeit seiner Aussage gleich dem Produkte von w in s. Ganz dasselbe hat auch statt, wenn man von seiner Sicherheit, d. h. von der Richtigkeit seiner Einsicht vollkommen überzeugt ist. Muß man aber voraussetzen, daß er eben so leicht redlich als unredlich seyn, und daß er eben so leicht die wahre als auch eine falsche Ansicht von der Sache haben kann, welche Voraussetzung meistens statt haben wird, so ist die Wahrscheinlichkeit seiner Aussage gleich $^3/_8$, also etwas kleiner als $^1/_2$. Wären statt 3 möglichen Fällen 4, 5, 10 oder 100 Fälle möglich, so würde die Wahrscheinlichkeit seiner Aussage nach der Ordnung $^1/_3$, $^5/_{16}$, $^{10}/_{36}$, und $^{100}/_{396}$, also immer näher an $^1/_4$ kommen, d. h. wenn die Anzahl der möglichen Fälle unendlich groß ist, so ist die Wahrscheinlichkeit der Aussage eines solchen Zeugen nur gleich $^1/_4$, oder es ist dreimal wahrscheinlicher, daß seine Aussage falsch ist, als daß sie richtig sey.

Nehmen wir in einem zweiten Beispiele an, daß zwei Zeugen, von deren richtiger Ansicht (Sicherheit) man überzeugt ist, und deren Wahrhaftigkeit (Redlichkeit) bei beiden gleich w ist, über ein Ereigniß, von welchem aber nur zwei Fälle möglich sind, gleichlautend dasselbe aussagen, so ist die Wahrscheinlichkeit, daß sie die Wahrheit aussagen, gleich w^2 dividirt durch die Zahl $w^2 + (1 - w)^2$. Ist also z. B. w gleich $^1/_2$, d. h. muß man voraussetzen, daß beide Zeugen eben so gut redlich als unredlich seyn können, so ist die Wahrscheinlichkeit ihrer Aussage gleich $^1/_2$, also ihre Aussage ganz eben so wahrscheinlich, als das Gegentheil derselben. Ist aber w nur gleich $^1/_3$, so ist die Wahrscheinlichkeit der gleichlautenden Aussage beider Zeugen gleich $^1/_5$. Sind aber nicht zwei, sondern drei solche gleichlautende Zeugen vorhanden, so ist die Wahrscheinlichkeit ihrer gemeinschaftlichen Aussage, wenn wieder w gleich $^1/_3$ ist, gleich $^1/_9$, ist aber w gleich $^2/_3$, so ist jene Wahrscheinlichkeit gleich $^8/_9$, also schon sehr groß, und noch größer wird diese Wahrscheinlichkeit, wenn von dem Ereignisse nicht bloß zwei, sondern mehrere Fälle möglich sind.

§. 231. (Wahrscheinlichkeitsrechnung bei Wahlen.) Die Wahlen der Kandidaten zu Aemtern hängen gewöhnlich von der Mehrheit der Stimmen, aber auch von der Einsicht und Unpartheilichkeit der Wählenden

ab, welche letzte nur schwer einer Berechnung unterworfen werden können. Doch gibt es auch hier einige allgemeine Gesetze, die schon der gemeine Verstand vorschreibt und die von der Analyse bestätiget werden. Wenn es z. B. den Wählenden an Einsicht fehlt, wenn das Amt besonders wichtig ist, wenn die Sache, die man dadurch zu erreichen sucht, mit allgemein angenommenen Vorurtheilen im Streite liegt, dann wird die gewöhnlich beliebte Mehrheit der Stimmen desto eher auf Irrwege führen, je größer die Anzahl der Stimmenden ist. Daher sollten größeren Versammlungen nur solche Dinge zur Entscheidung überlassen werden, die der größere Theil der Menschen bereits näher kennt, und aus eben dieser Ursache daher sollte vorzüglich diejenige Klasse der menschlischen Gesellschaft durch Bildung und wahre Aufklärung sich auszeichnen, die durch ihre Stellung in der Gesellschaft, über das Schicksal der andern zu entscheiden bestimmt ist.

Die sicherste Art, unter mehreren vorgeschlagenen Kandidaten Einen zu wählen, ist die, wo jeder Wähler die Namen dieser Kandidaten aufschreibt und ihnen diejenigen Zahlen beisetzt, die, nach seiner Ansicht, die Verdienste der Kandidaten zu dieser Wahl ausdrücken sollen. Wenn z. B. vier Wähler über drei Kandidaten A B C folgende Liste eingeben:

Wähler	I.	II.	III.	IV.
A .	10	4	3	3
B .	5	7	6	7
C .	2	3	2	5

so hat der erste Kandidat 20, der zweite 25 und der dritte 12 Stimmen, also der zweite die meisten und der dritte die wenigsten, daher der zweite gewählt wird. Wenn aber die Wähler ihre Listen nur so abgeben, daß der zuerst stehende Kandidat als der würdigste, der zweite als der nächstwürdige gehalten wird, wenn z. B. jene vier Wähler folgende Liste eingeben:

Wähler	I.	II.	III.	IV.
	B	A	C	B
	A	B	A	C
	C	C	B	A

so denkt man sich von dem untersten Kandidaten einer jeden Reihe anzufangen, die Zahlen 1, 2, 3 beigeschrieben und verfährt, wie zuvor. Auf diese Weise hat der Kandidat A die Zahlen 2, 3, 2 und 1 also 8 Stimmen, B aber 9 und C endlich 7, also hat B wieder die meisten und C die wenigsten Stimmen.

Da aber die Interessen der Wähler und andere, den Verdiensten der Kandidaten oft ganz fremde, Rücksichten den Zweck, den man durch diese Wahlen erreichen will, oft stören, so möchte es im Allgemeinen immer am gerathensten seyn, bei den Wahles durch absolute Stimmenmehrheit stehen zu bleiben, wodurch wenigstens diejenigen Kandidaten entfernt werden, welche die Majorität der Stimmen zurückweiset.

§. 232. (Wahrscheinlichkeitsrechnung bei Urtheilssprüchen.) In solchen Gerichten, wo wichtige und schwere Verurtheilungen ausgesprochen werden, müssen offenbar auch die stärksten Gründe für die Existenz der zu strafenden Schuld vorausgehen, besonders bei Todesstrafen, wo kein Ersatz mehr möglich ist. Mathematische Gewißheit ist hier meistens unmöglich, und doch muß das Urtheil gefällt werden, weil durch die Ungestraftheit des Verbrechers die Sicherheit der Gesellschaft leidet. Man muß also wenigstens so starke Beweise für die wirkliche Existenz der

Schuld haben, daß die Gesellschaft weniger zu fürchten hat, wenn der Beklagte unschuldig verurtheilt wird, als wenn er, schuldig und freigesprochen, durch seine künftigen Attentate den Staat wieder in neue Gefahren setzt.

Welches ist aber die Wahrscheinlichkeit, daß ein durch die Mehrheit der Richter ausgesprochenes Urtheil in der That der Gerechtigkeit angemessen ist? — Die Majorität von bloß einer Stimme in einem zahlreichen Tribunale zeigt an, daß der Gegenstand, um den es sich hier handelt, noch sehr zweifelhaft ist. Wollte man aber z. B. bei jedem Todesurtheile die Totalität der Stimmen fordern, so ist wohl die Wahrscheinlichkeit des Ausspruchs sehr groß, aber dann würden auch gewiß zu viele Schuldige ungestraft bleiben. Man muß daher entweder die Anzahl der Richter vermindern, wenn man ihre Unanimität als Basis der Verurtheilung aufstellt, oder man muß die Majorität der Stimmen vergrößern, wenn man nach der Stimmenmehrheit urtheilen will.

Unsere Analyse zeigt darüber Folgendes. — Wenn in einem Tribunale z. B. von 8 Richtern schon 5 Stimmen zur Verurtheilung des Angeklagten hinreichen, so ist die Wahrscheinlichkeit, daß die Sentenz gerecht ist, gleich 0.746 also kleiner als $^3/_4$, da sie doch gleich 1 seyn sollte, wenn diese Wahrscheinlichkeit zur Gewißheit wird. Sind nur 6 Richter und werden 4 Stimmen zum Urtheil erfordert, so ist jene Wahrscheinlichkeit gleich 0.774, schon größer als $^3/_4$, also auch größer als zuvor. Der Angeklagte geht daher im zweiten Falle, bei wenigern Richtern, sicherer, als im ersten, obschon in beiden Fällen die Majorität um dieselbe Größe 2 beträchtlicher ist, als die Minorität. Sind von 10 Richtern schon 6 zur Majorität hinreichend, so ist die Wahrscheinlichkeit eines gerechten Urtheils 0.73, und sind von 12 Richtern 7 zur Majorität genug, so ist diese Wahrscheinlichkeit gleich 0.71 u. s. w. Wenn überhaupt zwei Stimmen mehr schon zu dem Urtheile hinreichen, so wird die Wahrscheinlichkeit, daß die Sentenz gerecht ist, immer kleiner, je größer die Anzahl der Richter ist. Dasselbe wird auch der Fall seyn, wenn mehr als 2 Stimmen zur Majorität erfordert werden, so daß die Wahrscheinlichkeit eines gerechten Urtheils mit der Anzahl der Richter immer abnimmt.

Im Gegentheile, wenn man statt eines solchen arithmetischen irgend ein geometrisches Verhältniß für die Majorität der Richter festsetzt, so wächst die Sicherheit des Urtheils zugleich mit der Anzahl der Richter. Wird z. B. angenommen, daß die Sentenz nur dann vollzogen werden kann, wenn zwei Drittheile der Richter für die Strafe stimmen, so ist die Wahrscheinlichkeit einer gerechten Sentenz bei 6 Richtern nahe 0.75 oder $^3/_4$. Bei 12 Richtern aber, wo also 8 für das Urtheil gefordert werden, ist diese Wahrscheinlichkeit gleich 0.867 oder nahe $^6/_7$, also schon bedeutend größer, als zuvor. Werden endlich von 12 Richtern 9 Stimmen zur Ausführung der Sentenz erfordert, so ist die Wahrscheinlichkeit einer gerechten Sentenz 0.955, also sehr groß und nahe gleich 1.

§. 233. (Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf Astronomie.) Wir haben bereits oben (§. 217) durch ein Beispiel zu zeigen gesucht, wie die Auflösung der wichtigsten Probleme der Astronomie, und überhaupt aller eigentlichen Naturwissenschaften, ihre letzte Vollendung nur durch diese neue Rechnung erhalten kann. In allen Fällen, wo wir uns der gesuchten Wahrheit so weit nähern wollen, daß die Fehler unserer Sinne und die bei allen menschlichen Unternehmungen unvermeidlichen Unvollkommenheiten, da sie nicht gänzlich entfernt werden können, wenigstens den kleinstmöglichen Einfluß auf die Resultate unserer Unter-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

suchungen haben sollen, in allen diesen Fällen müssen wir zu Wahrscheinlichkeitsrechnung, als dem einzigen Mittel zu diesem Zwecke, unsere Zuflucht nehmen.

Es würde uns viel zu weit führen, wenn wir hier die Art, auf welche die Astronomen jene Rechnung auf ihre Beobachtungen anzuwenden pflegen, in ihrem ganzen Umfange auseinander setzen wollten, besonders wenn sie, wie es öfters vorkömmt, mehrere unbekannte Größen, die auf irgend eine Weise von einander abhängen und sich gleichsam gegenseitig bedingen, zu gleicher Zeit bestimmen wollen, wie dieß in dem oben (§. 217) angeführten Beispiele geschehen ist. Da es aber doch dem Leser ohne Zweifel nicht anders als interessant seyn kann, dieses sonderbare Verfahren wenigstens in seinen Hauptzügen kennen zu lernen, so wird es uns erlaubt seyn, hier nur den einfachsten Fall, wo bloß eine einzige Größe zu bestimmen ist, näher anzuführen.

Nehmen wir also an, man hätte, etwa durch drei Beobachtungen, von welchen keine irgend einem besondern Verdachte eines dabei begangenen Fehlers ausgesetzt ist, die geographische Breite von Wien, wie oben (§. 217) gefunden:

48°	12′	33″
48°	12′	34″
48°	12′	35″

Da man, wie gesagt, diese drei Beobachtungen im Allgemeinen als gleich gut ansehen muß, und da sie doch von einander verschieden sind, so entsteht nun die Frage, welche von ihnen oder auch, welche Kombination von ihnen man wählen oder als die der Wahrheit am nächsten stehende annehmen soll.

Das Princip, worauf diese und alle ähnlichen Untersuchungen der Wahrscheinlichkeitsrechnung beruhen, besteht in Folgendem. Der wahrscheinlichste Werth der Größe, die man aus mehreren Beobachtungen bestimmen will, ist immer derjenige, für welchen die Summe der Quadrate der Fehler aus den einzelnen Beobachtungen die kleinstmögliche oder ein Minimum ist. Diese Fehler sind aber hier offenbar diejenigen Differenzen, die man erhält, wenn man die einzelnen, durch die Beobachtungen für diese gesuchte Größe erhaltenen Resultate, von diesem wahrscheinlichsten Werth derselben subtrahirt.

Wenn nun, wie hier, die einzelnen Beobachtungen alle einen gleichen Werth unter sich haben, so ist dieser wahrscheinlichste Werth der gesuchten Größe offenbar gleich dem sogenannten arithmetischen Mittel aus allen beobachteten Größen. Da es hier bloß um die Secunden zu thun ist, so kann man für die beobachteten Größen die Zahlen

33″, 34″ und 35″

annehmen, und dann ist der dritte Theil der Summe derselben, oder die Zahl 34″, die gesuchte wahrscheinliche Größe. In der That erhält man auch, wenn man die drei Beobachtungen von dieser Zahl 34 subtrahirt, die Differenzen, oder die Fehler 1, 0 und — 1, und die Summe dieser drei Quadrate ist 2. Jede andere statt 34 angenommene Zahl würde eine größere Summe der Fehlerquadrate geben. Nähme man z. B. die Zahl 33, so wären die drei Fehler 0, 1 und 2, also auch jene Summe gleich 5 oder größer als 2. Nähme man aber die Zahl 34.5, so wären die drei Fehler 1.5, 0.5 und — 0.5, also auch die Summe der Fehlerquadrate gleich 2.75, wieder größer als 2, und sofort für alle anderen Zahlen außer 31, welche letzte man daher als die wahrscheinlichste, als

die der Wahrheit zunächst liegende, annehmen wird, eine Annahme, die im Allgemeinen desto sicherer seyn wird, je größer die Anzahl der unter sich gleich guten Beobachtungen ist.

Wir haben sonach für den wahrscheinlichsten Werth unserer Polhöhe, so weit sie aus diesen drei Beobachtungen erhalten werden kann, die Größe 48° 12′ 34″ erhalten, und es entsteht nun die Frage, wie viel oder wie wenig man sich wohl auf diese Bestimmung verlassen kann. Dieses Maaß der Verläßlichkeit des erhaltenen Resultats pflegt man das Gewicht desselben zu nennen, und die Analyse zeigt, daß dieses Gewicht immer gleich ist dem halben Quadrate der Anzahl der Beobachtungen, dividirt durch das Quadrat der Fehler derselben. Die Anzahl der Beobachtungen ist hier 3, die Summe der Fehlerquadrate aber 2, also ist das gesuchte Gewicht des erhaltenen Resultats gleich der Hälfte von 9 dividirt durch 2 oder gleich 2.25. Man sieht, daß dieses Gewicht desto größer seyn wird, je größer die Anzahl der Beobachtungen und je kleiner die Fehler derselben sind, wie es auch schon die Natur der Sache erfordert.

Um das nun Folgende kürzer auszudrücken, wollen wir durch N die Quadratwurzel aus der Anzahl der Beobachtungen, und durch P die Quadratwurzel aus dem erhaltenen Gewichte des Resultats 48° 12′ 34″ bezeichnen. In unserem Beispiele ist 3 die Anzahl der Beobachtungen und 2.25 das Gewicht des Resultats, also ist N = 1.732 und P = 1.5.

Dieß vorausgesetzt, nennt man den mittleren Fehler des Resultats, welches man erhält, wenn man die Zahl 0.2821 durch P dividirt; dieser mittlere Fehler, hier 0.188, ist die Summe der Produkte jedes Fehlers der einzelnen Beobachtungen in die dieser Beobachtung zukommende Wahrscheinlichkeit.

Der wahrscheinliche Fehler des Resultats aber, d. h. derjenige, von dem es gleich annehmbar ist, daß man ihn begangen oder auch nicht begangen habe, ist gleich der Zahl 0.4769 dividirt durch P, also ist in unserem Beispiele dieser wahrscheinliche Fehler gleich 0.″32, oder mit anderen Worten, das erhaltene Resultat 48° 12′ 34″ kann eben so gut um 0.″32 zu groß, als um 0.″32 zu klein seyn, aber nicht um mehr, da es z. B. schon weniger wahrscheinlich ist, daß das Resultat um 0.″4, als daß es um 0.″32 fehlerhaft ist.

Dieß war der wahrscheinliche Fehler des Resultats aller Beobachtungen. Welches ist aber der wahrscheinliche Fehler einer jeden einzelnen Beobachtung? — Dieser wird offenbar größer seyn als jener, und man findet ihn, wenn man jenen mit N multiplicirt. Er ist in unserem Beispiele gleich 0.″55, d. h. also, man muß der Wahrscheinlichkeit gemäß annehmen, daß jede einzelne der drei vorhergehenden Beobachtungen um 0.″55, aber nicht um mehr, fehlerhaft ist.

Wenn wir also auch nicht eben vollkommen gewiß sind, daß das erhaltene Resultat der Wahrheit gemäß ist, so wissen wir doch, daß es, so lange wir uns auf diese drei Beobachtungen beschränken, dieser Wahrheit am nächsten liege. Dieses Resultat wird vielleicht noch einer Verbesserung bedürfen, die wir finden können, wenn wir die Beobachtungen weiter fortsetzen. Indessen wird es doch auch jetzt schon interessant seyn, zu wissen, welches die beiden Gränzen sind, zwischen welchen jener wahrscheinliche Fehler liegen muß. Man findet diese Gränzen, wenn man den gefundenen wahrscheinlichen Fehler in die Zahl 0.4769 multiplicirt und durch N dividirt. In unserem Beispiele war der wahrscheinliche Fehler des Resultats 0.32, also ist diese 0.09, oder vielmehr die Summe und die Differenz der beiden letzten Größen, so daß also der wahre Werth

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

des wahrscheinlichen Fehlers des Resultats zwischen die Gränzen 0.″41 und 0.″23 fallen muß, oder daß man eins gegen eins wetten kann, daß der wahre Fehler des Resultats zwischen 0.″23 und 0.″41 fällt. Eben so erhält man für die Gränzen des wahrscheinlichen Fehlers einer jeden einzelnen Beobachtung, der oben 0.″55 gefunden wurde, die beiden Zahlen 0.″40 und 0.″71, welche letzten Gränzen, der Natur der Sache nach, weiter auseinander stehen müssen, als die ersten.

Wenn es auch der Absicht dieser Schrift nicht angemessen seyn kann, die Gründe der hier aufgestellten Sätze mitzutheilen, so sieht man doch ohne meine Erinnerung, welchen großen und ausgebreiteten Nutzen Untersuchungen dieser Art haben müssen, wenn es sich darum handelt, die Resultate der Beobachtungen mit der größten Schärfe zu erhalten oder wenigstens zu erfahren, bis zu welchem Grade man sich auf dieselben verlassen kann, um dann wieder andere Folgerungen mit Sicherheit daraus abzuleiten.

In dem Vorhergehenden haben wir die Beobachtungen unter sich von durchaus gleichem Werthe angenommen. Wenn aber dieser Fall nicht statt hat, so erhalten die oben mitgetheilten Vorschriften einige leichte Modifikationen, die wir hier noch kurz anzeigen wollen.

Nehmen wir an, wir hätten wieder die drei vorhergehenden Beobachtungen erhalten:

48°	12′	33″
48°	12′	34″
48°	12′	35″

aber die Werthe derselben seyen verschieden, so zwar, daß die zweite zweimal und die letzte dreimal besser seyn soll, als die erste, oder daß die Werthe dieser Beobachtungen nach der Reihe gleich 1, 2 und 3 sind.

Da es uns hier wieder nur um die Secunden der gesuchten Polhöhe zu thun ist, so können wir die drei Beobachtungen gleich den drei Zahlen 33, 34 und 35 annehmen. Dieß vorausgesetzt, erhält man nun den wahrscheinlichsten Werth der Polhöhe oder des gesuchten Resultats, wenn man jede einzelne Beobachtung mit dem Quadrate ihres Werthes multiplicirt und die Summe dieser Produkte durch die Summe der Quadrate jener drei Werthe dividirt. In unserem Falle sind jene Produkte 33, 136 und 315, deren Summe gleich 484 ist, und eben so sind die Quadrate der Werthe 1, 4 und 9, deren Summen 14 beträgt. Demnach ist der wahrscheinlichste Werth der Beobachtungen gleich $^{484}/_{14}$ oder gleich 34.″571, so daß also die gesuchte wahrscheinlichste Polhöhe gleich 84° 12′ 34.″571 ist, nicht mehr in der Mitte zwischen der ersten nnd letzten Beobachtung, sondern beträchtlich näher an der dritten, weil diese dritte, mit dem Werthe 3, die beste von allen, also die überwiegende ist.

Nimmt man nun die Differenzen dieses Resultats 34.″571 von den einzelnon Beobachtungen, so erhält man 1.″571, 0.″571 und 0.″429 und davon ist die Summe der Quadrate gleich 5.″428.

Dieß vorausgesetzt, ist das Gewicht dieses Resultats gleich der halben Anzahl der Beobachtungen, multiplicirt mit der Summe der Quadrate der Werthe, dividirt durch die vorhergehende Zahl 5.″428, das heißt also gleich 3.″959, also beträchtlich größer, als zuvor, weil auch die Werthe der einzelnen Beobachtungen größer sind. Nennt man nun wieder P die Quadratwurzel dieses Gewichtes, oder ist P = 1.″99, so ist, wie zuvor, der mittlere Fehler des Resultats gleich 0.″2821 dividirt durch P, das heißt in unserem Beispiele ist der mittlere Fehler gleich 0.″142. Der wahrscheinliche Fehler des Resultats aber ist gleich

der Zahl 0."4769 dividirt durch P, oder gleich 0."240, und beide Fehler sind kleiner, als zuvor, da die Beobachtungen besser sind und eben so mit den übrigen Bestimmungen.

Besonders merkwürdig ist bei diesen Untersuchungen diejenige Größe, welche wir oben den mittleren Fehler des Resultats genannt haben, und der, wie wir gesehen haben, gleich der Zahl 0.2821 dividirt durch die Quadratwurzel aus dem Gewichte dieses Resultats ist. Die folgende Tafel gibt uns ein Mittel, diesen mittleren Fehler und die Ausdehnung desselben oder die wahrscheinlichen Gränzen, zwischen welche er fallen kann, noch näher kennen zu lernen.

a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
0.00	0.010	0.35	0.379	0.70	0.677	1.05	0.862	1.40	0.952
0.05	0.056	0.40	0.428	0.75	0.711	1.10	0.880	1.45	0.960
0.10	0.112	0.45	0.475	0.80	0.742	1.15	0.896	1.50	0.966
0.15	0.168	0.50	0.520	0.85	0.771	1.20	0.910	1.55	0.972
0.20	0.223	0.55	0.563	0.90	0.796	1.25	0.923	1.60	0.976
0.25	0.276	0.60	0.603	0.95	0.821	1.30	0.934	1.65	0.980
0.30	0.329	0.65	0.642	1.00	0.843	1.35	0.944	1.70	0.984
								2.00	0.995

Nennt man nämlich wieder P die Quadratwurzel des Gewichts des erhaltenen Resultats, so drückt die Größe b der vorhergehenden Tafel die Wahrscheinlichkeit aus, daß jener mittlere Fehler zwischen den beiden Gränzen $+\frac{a}{P}$ und $-\frac{a}{P}$ liege. Daraus folgt dann, in Gemäßheit des oben Gesagten, daß die Zahl (1 — b) die Wahrscheinlichkeit des Gegentheils, das heißt die Wahrscheinlichkeit ist, daß der mittlere Fehler irgendwo außer den genannten Gränzen liege, und daß man die Summe b gegen die Summe (1 — b) oder, was dasselbe ist, daß man die Größe $\frac{b}{1-b}$ gegen die Einheit wetten kann, daß jener mittlere Fehler in der That zwischen jenen beiden Gränzen $+\frac{a}{P}$ und $-\frac{a}{P}$ liegen müsse.

So fanden wir in unserem ersten Beispiele, wo die Werthe der sämmtlichen Beobachtungen einander gleich waren, für die wahrscheinlichste Polhöhe das Resultat 48° 12′ 34″ mit dem Gewichte 2.25. Nimmt man nun $a = 0.5$, so ist $\frac{a}{P}$ gleich 0.3″, und die Tafel gibt $b = 0.520$ also auch $\frac{b}{1-b} = 1.08$, so daß man also 1.08 gegen 1 wetten kann, daß das gefundene Resultat nicht über 0.3″ fehlerhaft ist. Nimmt man aber $a = 1$, so ist $\frac{a}{P} = 0.7$ und $b = 0.843$, sowie $\frac{b}{1-b} = 5.4$, und man kann daher 5.37 gegen 1 wetten, daß jenes Resultat nicht über 5.″4 fehlerhaft ist. Eben so zeigt $a = 2$, daß man 200 gegen 1 wetten kann, daß das Resultat nicht über 1.″3 fehlerhaft ist u. s. f.

Dieß wird hinreichen, den Lesern eine wenigstens allgemeine Ansicht von dieser neuen Rechnungsart nnd von der ausgebreiteten Anwendung derselben bei allen naturwissenschaftlichen Untersuchungen zu geben.

§. 234. (Bereits geleisteter Nutzen dieser neuen Rechnungsart in der Astronomie.) Die Astronomie bietet uns bereits mehrere Beispiele von dem Nutzen dar, welchen die Wahrscheinlichkeitsrechnung, obschon sie erst seit kurzer Zeit ihre größere Ausbildung erhalten hat, in oft sehr verwickelten Untersuchungen geleistet hat, über deren wahre Kenntniß wir, ohne die Hülfe dieser Analyse, wahrscheinlich noch sehr lange in Ungewißheit geblieben wären.

Eines der wichtigsten Elemente der gesammten Astronomie ist ohne Zweifel die mittlere Entfernung der Sonne von der Erde, oder die halbe große Axe der Erdbahn, da von ihr die Bestimmung aller anderen Entfernungen der Planeten unseres Systems von einander abhängt, wie unmittelbar aus dem oben (I. §. 146) erklärten dritten Gesetze Kepler's folgt. Enke hat die sämmtlichen Beobachtungen der beiden Venusdurchgänge von 1761 und 1769, die zu diesem Zwecke besonders geeignet sind (II. §. 68) mit der größten Sorgfalt berechnet, und als Resultat seiner Untersuchungen gefunden, daß die wahrscheinlichste mittlere Horizontalparallaxe der Sonne für die Bewohner des Erdäquators gleich 8.5776 Secunden ist, und daß der wahrscheinliche Fehler dieser Bestimmung 0.037 Secunden beträgt. Demnach würde man also in einer billigen Wette Eins gegen Eins für die Behauptung einsetzen können, daß jene Sonnenparallaxe nicht kleiner als 8.''5406 und nicht größer als 8.''6146 ist. Welches ist aber die daraus folgende Ungewißheit unserer Kenntniß der mittleren Entfernung der Sonne von der Erde? — Wenn man auf einen Grad des Aequators, wie gewöhnlich, 15 geographische Meilen rechnet, so daß also der Umfang des ganzen Aequators 5400 Meilen hat, so folgt daraus der Halbmesser des Aequators gleich 859.4366 Meilen. Dann beträgt also die aus der obigen wahrscheinlichsten Parallaxe abgeleitete Entfernung der Sonne 20 666 800 Meilen und aus dem zuvor angegebenen wahrscheinlichen Fehler dieser Bestimmung folgt, daß man wieder Eins gegen Eins wetten kann, daß die wahre mittlere Entfernung der Sonne nicht kleiner als 20 577 649 und nicht größer als 20 755 943 Meilen ist. Wir sind demnach über diese Entfernung noch um 89147 Meilen oder um nahe 52 Erddurchmesser ungewiß. Diese Ungewißheit beträgt den 233sten Theil der Entfernung der Sonne von der Erde und scheint daher nicht eben sehr gering zu seyn. Allein wenn wir bedenken, daß wir die Entfernungen der meisten großen Städte Europas wohl schwerlich bis auf ihren 233sten Theil, und die der außereuropäischen Städte noch lange nicht einmal so genau kennen, so wird uns dieß mit jener viel schwerer zu bestimmenden Entfernung der Sonne durch unsere Astronomen wohl wieder auszusöhnen im Stande seyn.

Eine andere Gelegenheit, den Nutzen dieser neuen Analysis zu zeigen, gab die oben (I. §. 171) erwähnte Acceleration der mittleren Bewegung des Mondes. Da bei allen Planeten die mittleren Axen ihrer Bahnen, also auch, vermöge des eben so angeführten dritten Gesetzes Kepler's, die mittleren Bewegungen dieser Planeten vollkommen konstant und unveränderlich gefunden wurden, so war es auffallend, daß der Mond von diesem allgemeinen Gesetze der Natur eine Ausnahme machen sollte. Indeß schienen die Beobachtungen die Existenz dieser Ausnahme über allen Zweifel zu erheben, und es handelte sich nun darum, durch die Theorie den Grund derselben zu finden. Allein diese Untersuchung quälte die größten Geometer des vergangenen Jahrhunderts durch eine

lange Zeit. Lagrange, der darüber sehr viele und mühsame Rechnungen angestellt hatte, gerieth endlich auf den Abweg, das Daseyn dieser Acceleration als eine bloße Täuschung ganz zu verwerfen. Allein Laplace, der die älteren Beobachtungen, besonders die der Araber, mit denen der neueren Zeiten sorgfältig verglich und auf diese Vergleichung seine neue Analyse anwendete, fand, daß die Wahrscheinlichkeit der Existenz dieser Acceleration, wie sie aus den Beobachtungen folgte, so groß sey, daß man mehrere Tausende gegen Eins für das Daseyn derselben wetten könnte. Durch diese Ueberzeugung bewogen, ging er die ganze Theorie des Mondes noch einmal durch und war endlich auch so glücklich, die so lange vergebens gesuchte Ursache jener Erscheinung in der Veränderlichkeit der Excentricität der Erdbahn zu finden, wie dieß bereits oben (I. §. 172) gesagt worden ist.

Wir wissen ferner, daß die Ebbe und Fluth des Weltmeeres eine Folge der Attraktion des Mondes und der Sonne auf die Gewässer der Erde ist. Durch diese Anziehung steigt das Meer in dem Hafen von Brest, selbst in seiner mittleren Höhe, täglich zweimal um 20 Fuß, und in St. Malo, nur 20 Meilen östlich von Brest, sogar um 50 Fuß, der Springfluthen nicht zu erwähnen, die noch viel höher gehen. Im Allgemeinen sind diese Fluthen in den tropischen Meeren am größten, während sie näher an den Polen beinahe ganz verschwinden. Es war zu erwarten, daß diese Wirkung der Sonne und des Mondes ähnliche und vielleicht noch größere Bewegungen in der Atmosphäre erzeuge, die unsere Erde umgibt und die noch viel beweglicher ist, als das Meer. Laplace hat zu diesem Zwecke eine große Menge sorgfältig zu Paris angestellter Barometerbeobachtungen untersucht, aber diejenigen Aenderungen desselben, welche von einer solchen Einwirkung jener beiden Gestirne kommen könnten, so ungemein klein gefunden, im Maximum kaum drei Hunderttheile einer Linie, daß, die Wahrscheinlichkeitsrechnung darauf angewendet, das Daseyn einer solchen atmosphärischen Ebbe und Fluth noch ganz unentschieden bleibt. Unter dem Aequator aber, wo jener Einfluß beträchtlicher ist, würden sich Untersuchungen dieser Art mit größerer Sicherheit anstellen lassen.

Glücklicher war man mit einer anderen, obschon ebenfalls sehr kleinen periodischen Aenderung des Barometers, die von der Temperatur der verschiedenen Tageszeiten abhängt und die ebenfalls in der heißen Zone am merklichsten ist. Man fand nämlich, daß dieses Instrument, der gewöhnlichen Schwankungen ungeachtet, die es wegen der Verschiedenheit des Luftdrucks zeigt, regelmäßig gegen 9 Uhr Morgens und 11 Uhr Abends am höchsten, und wieder um 3 Uhr Abends und 4 Uhr Morgens am tiefsten steht. In den Tropenländern beträgt die Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten Stande des Barometers nahe $^{8}/_{10}$ einer Par. Linie. In unseren Breiten aber, wo man sie zuerst entdeckte, sind sie viel kleiner, aber auch hier zeigte unsere neue Analyse, daß man mehrere Tausende gegen Eins wetten könne, daß diese Erscheinung nicht zufällig oder die Folge von Beobachtungsfehlern sey, sondern daß sie aus einer regelmäßigen Ursache entstehen müsse, und dieß war eine hinlängliche Veranlassung, ihrem Grunde weiter nachzuforschen.

Wir haben bereits oben (§. 140) einer merkwürdigen Erscheinung unseres Sonnensystes erwähnt, nach welcher alle Planeten und Satelliten desselben sich von West nach Ost, sowohl um die Sonne oder um ihre Hauptplaneten, als auch, in ihrer Rotation, um ihre eigene Axe bewegen, und nach welcher überdieß die Bahnen dieser Himmelskörper beinahe alle in der Nähe des Sonnenäquators liegen. Da man

sich davon weiter keine Rechenschaft geben konnte, so hat man sie auf Rechnung des Zufalls gestellt, ohne sich weiter um die Ursache dieser Erscheinungen zu bekümmern. Allein als Laplace die Wahrscheinlichkeitsrechnung auf diesen Gegenstand anwendete, fand er, daß man mehrere Millionen gegen die Einheit wetten kann, daß diese Erscheinung nicht dem blinden Zufalle zuzuschreiben sey. Diese sehr große Wahrscheinlichkeit bewog ihn, die eigentliche Ursache dieses Phänomens aufzusuchen; und auf diesem Wege war es, daß er zu der schönen und sinnreichen Erklärung von dem Ursprunge unseres Planetensystems gelangte, die wir oben (§. 150) auseinander gesetzt haben.

Auf diese Weise ist die neue Analyse nicht nur ein mächtiges Mittel in der Hand des Geometers geworden, sich von den bisher unvermeidlichen Beobachtungsfehlern unabhängig zu machen und den auf sie gegründeten Untersuchungen die letzte Vollendung zu geben, sondern sie hat uns auch bereits, als Veranlassung zu Entdeckungen, die ohne ihre Hülfe vielleicht immer unbekannt geblieben wären, die nützlichsten Dienste geleistet, und Alles berechtiget uns zu der Hoffnung, daß der Nutzen, den wir von ihr für die Zukunft erwarten, noch weit größer seyn werde, wenn es uns einmal gelungen seyn wird, unsere Instrumente und unsere Beobachtungskunst, die wir bisher nur auf die Welt im Großen beschränkt haben, auch auf die Elemente, aus welchen die Körper des Universums bestehen, fortzusetzen, und wenn einmal, unter dem fortdauernden Schutze des Genius der Menschheit, ein neuer Newton unter uns sich erheben sollte, um uns durch seine Entdeckungen, so wie Jener die Gesetze der materiellen Welt, auch die der geistigen zu offenbaren. Sechs Jahrtausende, nach der gewöhnlichen Zeitrechnung, sind vergangen, bis Jener erscheinen konnte, um den ersten Schleier zu lüften, mit welchem die Natur ihre Geheimnisse vor den Augen der Sterblichen verbarg: andere Jahrtausende werden vielleicht erfordert, um auch diesen zweiten, dichteren Schleier zu heben. Aber die ohne Zweifel sehr großen Schwierigkeiten, um dieses jetzt von uns noch zu ferne Ziel zu erreichen, werden die immer vorwärts strebenden Bemühungen der Menschen eben so wenig zurück halten, als es die gewiß auch nicht geringen Hindernisse zu thun vermochten, welche unsere schwächeren und mit weniger Hülfsmitteln ausgerüsteten Vorgänger bei der Entdeckung des Gesetzes der allgemeinen Schwere zu besiegen hatten. Seit dieser großen und für alle Zeiten merkwürdigen Epoche hat man gefunden, daß dieses Gesetz nicht nur die Bewegung der himmlischen Körper, selbst in ihren scheinbaren Ausnahmen, mit einer bewunderungswürdigen Genauigkeit darstellt, sondern man ist auch bereits, wenn gleich nicht zu dem Beweise, doch zu der sehr gegründeten und durch zahlreiche Beobachtungen bestätigten Vermuthung gelangt, daß dasselbe Gesetz, unter zweckgemäßen Modifikationen, auch die Anordnung der kleinsten, die Körper konstituirenden Theilchen und die regelmäßige Bildung der Krystalle in sich schließt. Könnten nicht auch die Bewegungen der Nerven thierischer Körper denselben oder doch ähnlichen Gesetzen der Dynamik unterliegen? Könnte nicht auch dieselbe allgemeine Kraft, welche die Ursache des Zusammenhangs und der Bewegung der Körper ist, welche das Wachsthum und die Gährung derselben bestimmt, könnte sie nicht auch jene inneren Bewegungen und Veränderungen ihrer feinsten Theile bestimmen, und so gleichsam die dreifache uns umgebende Welt einen einzigen, gemeinschaftlichen Ursprung haben? — Die Bewegungen, welche die Nervenvibrationen dem Muskelsysteme, und durch dasselbe den äußeren, fremden Körpern mittheilen, dürfen vielleicht als bloße Entwicklungen feine-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

rer elastischer Federn betrachtet werden, bei welchen, nach dem bekannten Grundsatze der Mechanik, der gemeinschaftliche Schwerpunkt unseres eigenen und der bewegten fremden Körper immer unbeweglich bleibt. Diese Vibrationen scheinen sich, ohne Störung oder Verwirrung, eine über die Fläche der anderen hin zu verbreiten, ganz so, wie wir dieselbe Erscheinung auch bei den Wellen auf der Oberfläche unserer Gewässer und selbst bei unserer durch den Schall bewegten Atmosphäre bemerken, und sie theilen sich den Umstehenden auf dieselbe Art mit, wie sich die Schwingungen gleichgestimmter Saiten oder die eines tönenden Körpers den ihn umgebenden Gegenständen mittheilen. — Wie es aber auch mit diesen jetzt noch geheimnißvollen und im tiefen Dunkel liegenden Gegenständen und mit ihrer Beleuchtung in einer wahrscheinlich noch sehr fernen Zukunft sich verhalten mag: uns genüge es, diese Zukunft wenigstens geahndet, und uns der Wahrheit, die wir vielleicht nie erreichen werden, mit unseren schwachen Kräften wenigstens wieder einige Schritte genähert zu haben.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

vorzügli

Abendweite.
ren Messun
Aberration d
baren Orts
mit der Ge
wir alle Ge
eben die E
Sonne selb
Abplattung
beiden Po
Gestalt ei
messers ob
Erde nahe
ist, welche
Planeten
ihren Pole
messers ob
Abweichung
Abweichung
Aequator ob
neten, de
selben abst
theilt die
Aequatorial
Gestirne,
selben sch
Aequatorhö
gebenen