
Zweytes Buch.

Von den wahren Bewegungen der Himmelskörper.

Hätte der Mensch sich darauf eingeschränkt, bloß Thatsachen zu sammeln, so würden die Wissenschaften noch nichts weiter, als eine unfruchtbare Nomenclatur seyn, und er würde niemals die großen Gesetze der Natur kennen gelernt haben. Nur durch Vergleichung der Erscheinungen unter einander, und durch das Bemühen, ihre Verhältnisse aufzufassen, ist es ihm gelungen, diese Gesetze, die in ihren mannichfaltigsten Wirkungen immer ausgedrückt sind, zu entdecken. Da bot ihm dann die sich enthüllende Natur die Ansicht einer kleinen Zahl allgemeiner Ursachen dar, die der ganzen Menge der beobachteten Erscheinungen die Entstehung geben; er konnte diejenigen bestimmen, welche successive Umstände zum Vor-

scheine bringen müssen, und nachdem er sich versichert hatte, daß nichts die Verkettung dieser Ursachen mit ihren Wirkungen unterbricht; so richtete er seine Blicke auf die Zukunft, und die Reihe der Begebenheiten, welche die Zeit entwickeln muß, stellte sich ihm dar. Auf diesem Wege hat sich der menschliche Geist vorzüglich in der Theorie des Weltsystems durch eine lange Reihe glücklicher Bemühungen bis zu dieser Höhe erhoben. Wir wollen versuchen, die Bahn vorzuzeichnen, die er verfolgte, mit Vermeidung der Vorurtheile und der falschen Voraussetzungen, die ihn oft irre geführt haben.

E r s t e s K a p i t e l .

Von der Umdrehung der Erde um ihre Achse.

Wenn man über die tägliche Bewegung nachdenkt, welcher alle Himmelskörper unterworfen sind, so erkennt man offenbar das Daseyn einer allgemeinen Ursache, die sie in Bewegung setzt, oder die sie um die Weltachse zu führen scheint. Wenn man

betrachtet, daß diese Körper unter einander isolirt sind, und in sehr verschiedenen Entfernungen von der Erde stehen, daß die Sonne und die Sterne viel weiter von ihr entfernt sind, als der Mond, und daß die Veränderungen der scheinbaren Durchmesser der Planeten große Veränderungen in ihren Entfernungen anzeigen, daß endlich die Kometen den Himmel nach jeder Richtung frey durchlaufen, so wird es einem schwer, sich vorzustellen, daß einerley Ursache allen diesen Körpern eine gemeinschaftliche Umdrehungsbewegung eindrücke.

Da aber die Sterne sich uns auf einerley Art zeigen, der Himmel mag sie um die als unbeweglich angenommene Erde herumführen, oder die Erde mag sich in entgegengesetzter Richtung um sich selbst drehen, so scheint es viel natürlicher, diese letztere Bewegung anzunehmen, und die des Himmels als einen Schein zu betrachten.

Die Erde ist eine Kugel, deren Halbmesser ohngefähr 20 Millionen Fufs beträgt. Die Sonne ist, wie wir gesehen haben, unvergleichbar größer; wenn ihr Mittelpunkt mit dem der Erde zusammenfiel, so würde ihr Volumen die Mondsbahn einschließen.

und sich noch einmal so weit erstrecken; daraus kann man auf ihre unermessliche Gröfse schliessen; überdiess ist sie ohngefähr um 23000 Erdhalbmesser von uns entfernt. Ist es nun nicht unendlich viel einfacher, bey der Kugel, die wir bewohnen, eine Umdrehungsbewegung um sich selbst anzunehmen, als einer so ansehnlichen und so entfernten Masse, wie die Sonne ist, eine so äusserst schnelle Bewegung beyzulegen, als ihr nöthig seyn würde, um in einem Tage sich um die Erde zu drehen? Was für eine unermessliche Kraft würde alsdann erforderlich seyn, um sie zu halten, und ihre Centrifugalkraft aufzuwiegen? Bey jedem andern Sterne finden sich ähnliche Schwierigkeiten, welche durch die Umdrehung der Erde sämmtlich gehoben werden.

Wir haben oben gesehen, dafs der Pol des Aequators um den der Ekliptik sich langsam zu bewegen scheine, und dafs das Vorücken der Nachtgleichen eine Folge davon sey. Wenn die Erde unbeweglich ist, so ist der Pol des Aequators ohne Bewegung, weil er immer mit dem nämlichen Punkte der Erdoberfläche zusammengehört; folglich bewegt sich alsdann die Ekliptik um ihre Pole,

und führt in dieser Bewegung alle Sterne fort. Das ganze System so vieler, durch ihre Gröſſen, ihre Bewegungen und Entfernungen so sehr verschiedener Körper, würde also noch einer allgemeinen Bewegung unterworfen seyn, welche verschwindet, und sich in einen bloſſen Schein auflöst, wenn man annimmt, die Erdachse bewege sich um die Pole der Ekliptik.

Fortgeführt mit einer Geschwindigkeit, die wir mit allen uns umgebenden Gegenständen gemein haben, befinden wir uns in der Lage eines Zuschauers auf einem in Bewegung begriffenen Schiffe. Dieser glaubt sich unbeweglich, und das Ufer, die Berge, und alle auſſer dem Schiffe liegenden Gegenstände scheinen ihm sich zu bewegen. Wenn er aber die Ausdehnung des Ufers und der Ebenen, und die Höhe der Berge mit der Kleinheit seines Schiffs vergleicht, so erkennt er, daß ihre Bewegung ein bloſſer Schein ist, den seine wahre Bewegung veranlaßt. Die durch den Himmelsraum verbreiteten zahlreichen Sterne sind in Ansehung der Erde eben das, was das Ufer und die Berge in Ansehung des Schiffs sind; und die nämlichen Gründe, wodurch der

Schiffer sich von der Wirklichkeit seiner Bewegung versichert, beweisen uns die der Bewegung der Erde.

Diese Beweise werden durch die Analogie verstärkt. Man hat nämlich an mehreren Planeten Umdrehungsbewegungen beobachtet, und alle diese Bewegungen sind von Abend nach Morgen gerichtet, wie diejenige, welche der tägliche Umlauf des Himmels bey der Erde anzuzeigen scheint. Jupiter, der viel gröfser ist, als sie, bewegt sich, in weniger, als einem halben Tage, um seine Achse; ein Beobachter auf seiner Oberfläche würde in eben dieser Zeit den Himmel um sich umlaufen sehen; diese Bewegung des Himmels würde indessen nichts mehr, als ein Schein seyn. Ist es nun nicht natürlich, zu denken, dafs es sich mit derjenigen, die wir auf der Erde beobachten, eben so verhalte? Was diese Analogie auf eine auffallende Art bestätigt, ist, dafs die Erde, so wie der Jupiter an ihren Polen abgeplattet ist. Man begreift in der That, dafs die Centrifugalkraft, welche alle Theile eines Körpers von seiner Umdrehungsachse zu entfernen strebt, die Erde an den Polen erniedrigen, und unter dem Aequator erhöhen

musste. Diese Kraft muß auch die Schwere an dem Aequator vermindern, und diese Verminderung ist durch die Beobachtungen des Pendels bestätigt. Alles bestimmt uns also anzunehmen, daß die Erde eine Umdrehungsbewegung um sich selbst habe, und daß die tägliche Umwälzung des Himmels eine bloße Täuschung sey, die durch diese Bewegung veranlaßt wird, und derjenigen ähnlich ist, die uns den Himmel als ein blaues Gewölbe darstellt, an welchem alle Sterne angeheftet sind, und die Oberfläche der Erde als eine Ebene, auf welcher es aufliegt. So hat sich die Astronomie mitten durch die Täuschungen der Sinne in die Höhe geschwungen, und erst, nachdem diese durch eine große Zahl von Beobachtungen und Berechnungen zerstreut waren, lernte endlich der Mensch die Bewegungen der Kugel, die er bewohnt, und ihre wahre Lage im Weltraume kennen.

Zwey-

Zweytes Kapitel.

Von der Bewegung der Planeten um die Sonne.

Wir wollen jetzt die Erscheinungen der eigenen Bewegung der Planeten betrachten, und zuerst die Bewegung der Venus, ihren scheinbaren Durchmesser, und ihre Lichtgestalten untersuchen. Wenn sie des Morgens aus den Sonnenstralen hervorzukommen anfängt, so sieht man sie vor dem Aufgange der Sonne sichelförmig erleuchtet, und ihr scheinbarer Durchmesser hat sein Maximum erreicht; alsdann ist sie uns also näher, als die Sonne, und bey nahe in Conjunction mit ihr. Ihre Lichtgestalt nimmt zu, und ihr scheinbarer Durchmesser nimmt ab, in eben dem Maasse, als sie sich von der Sonne entfernt. Nachdem sie eine Entfernung von ohngefähr 50 Graden von diesem Gestirne erreicht hat, so nähert sie sich demselben wieder, und zeigt uns immer mehr von ihrer erleuchteten Halbkugel; ihr scheinbarer Durchmesser fährt fort abzunehmen, bis auf den Augenblick, da sie des Morgens sich wieder in den Sonnenstralen verliert. In diesem Augenblicke erscheint uns Venus voll, und ihr scheinba-

rer Durchmesser hat sein Minimum erreicht; sie ist also in dieser Lage weiter von uns entfernt, als die Sonne. Einige Zeit nach diesem Verschwinden erscheint dieser Planet des Abends wieder, und fängt nun in umgekehrter Ordnung die nämlichen Erscheinungen wieder an, welche er vor seinem Verschwinden gezeigt hatte. Seine erleuchtete Halbkugel wendet sich immer mehr und mehr von der Erde weg, seine Lichtgestalt nimmt ab, und zu gleicher Zeit wächst sein scheinbarer Durchmesser in eben dem Maasse, als er sich von der Sonne entfernt. Nachdem er eine Entfernung von ohngefähr 50 Graden von diesem Gestirne erreicht hat, so kehrt er wieder zu demselben zurück, seine Lichtgestalt fährt fort abzunehmen, und sein Durchmesser zu wachsen, bis er sich aufs neue in den Sonnenstralen verliert. Zuweilen sieht man ihn in dem Zeitraume von seinem Verschwinden des Abends bis zu seinem Wiedererscheinen des Morgens unter der Gestalt eines Fleckens sich über die Sonnenscheibe hinbewegen.

Nach diesen Erscheinungen ist es klar, daß die Sonne ohngefähr im Mittelpunkte der Bahn der Venus liegt, und daß sie zur

nämlichen Zeit, da sie sich um die Erde bewegt, diese Bahn mit sich fortführt. Dieses Resultat, das sich aus den Beobachtungen der Lichtgestalten und des scheinbaren Durchmessers der Venus ergibt, erklärt ihre wechselseitig rechtläufige und rückläufige Bewegung in der Länge, und ihre eigensinnige und verwickelte Bewegung in der Breite auf eine so natürliche Art, daß es unmöglich ist, es in Zweifel zu ziehen.

Merkur zeigt uns die nämlichen Erscheinungen, wie die Venus; folglich ist die Sonne auch ohngefähr im Mittelpunkte seiner Bahn. Diese beyden Planeten begleiten sie bey ihrer Bewegung um die Erde, ohne sich weiter, als bis auf gewisse Gränzen, die von den Winkeln, unter welchen man ihre Bahnen sieht, abhängen, von ihr zu entfernen.

Die Planeten, welche sich von der Sonne auf alle möglichen Winkelabstände entfernen, zeigen uns andere Erscheinungen. Ihre Durchmesser sind bey ihrer Opposition in ihrem Maximum, sie nehmen in eben dem Maasse ab, als sie sich der Sonne nähern; die Erde ist also nicht in dem Mittelpunkte der Bewegung dieser Gestirne. Vor der Opposition geht diese Bewegung aus dem recht-

läufigen Zustände in den rückläufigen über, nach der Opposition aber nimmt sie den rechtläufigen Zustand wieder an, wenn der Planet bey seiner Wiederannäherung zur Sonne von derselben eben so weit entfernt ist, als bey dem Anfange seines Rücklaufs, und im Augenblicke der Opposition selbst ist seine rückläufige Geschwindigkeit am größten. Dies zeigt offenbar, daß die beobachtete Bewegung dieser Planeten das Resultat von zwey wechselseitig übereinstimmenden und entgegengesetzten Bewegungen ist, deren eine sich nach der Sonne richtet. Von der Art sind die Bewegungen des Merkurs und der Venus, die, während sie um die Sonne laufen, zugleich mit dieser um die Erde fortgeführt werden. Es ist natürlich, das nämliche Gesetz auch auf die übrigen Planeten auszudehnen, mit dem einzigen Unterschiede, daß die Erde außerhalb der Bahnen der Venus und des Merkurs, aber innerhalb der Bahnen des Mars, Jupiters, Saturns und Uranus liegt.

Alle Erscheinungen der Bewegungen und der Durchmesser dieser Planeten fließen so natürlich aus dieser Voraussetzung, daß man

darin den Mechanismus der Natur nicht verkennen kann.

Die beynahe kreisförmige Bewegung der Planeten um die Sonne wird für den Jupiter durch die Verfinsterungen seiner Trabanten, und für den Saturn durch die Abwechslungen des Verschwindens und Wiedererscheinens seines Rings directe erwiesen. Wir haben oben gesehen, daß diese Erscheinungen die Entfernungen dieser Planeten von der Sonne in Theilen des mittleren Abstands der Sonne von der Erde geben; und man findet auf solche Art, daß diese Entfernungen während eines Umlaufs wenig unterschieden, und die Bewegungen dieser Planeten beynahe gleichförmig sind.

So hat uns also die Vergleichung der Erscheinungen darauf geleitet, die Sonne in den Mittelpunkt der Bahnen aller Planeten zu setzen, die sich um sie bewegen, während sie selbst sich um die Erde bewegt, oder zu bewegen scheint.

D r i t t e s K a p i t e l .

Von der Bewegung der Erde um die Sonne.

Wollen wir jetzt annehmen, die Sonne bewege sich, von Planeten und Trabanten begleitet, um die Erde, oder wollen wir die Erde, so wie die Planeten, sich um die Sonne bewegen lassen? Die Erscheinungen der himmlischen Bewegungen sind unter beyden Voraussetzungen die nämlichen; aber die letztere muß, um der nachfolgenden Betrachtungen willen, vorgezogen werden.

Da die Massen der Sonne und mehrerer Planeten beträchtlich gröfser sind, als die der Erde, so ist es viel einfacher, diese sich um die Sonne bewegen zu lassen, als das ganze Sonnensystem um sie in Bewegung zu setzen. Welche Verwickelung in den himmlischen Bewegungen führt die Unbeweglichkeit der Erde mit sich? Was für eine schnelle Bewegung muß man alsdann bey dem Jupiter, bey dem fast zehnmal weiter, als die Sonne entfernten Saturn, und bey dem noch weiter entlegenen Uranus annehmen, um sie jährlich um uns sich bewegen zu lassen, während sie um die Sonne laufen? Diese Verwickelung und diese Schnelligkeit der Bewe-

gung verschwindet durch die Umlaufsbewegung der Erde, welche auch dem allgemeinen Gesetze angemessen ist, nach welchem die kleineren Himmelskörper um die benachbarten größeren laufen.

Die Aehnlichkeit der Erde mit den Planeten bestättiget diese Bewegung. Sie drehet sich, wie Jupiter, um sich selbst, und wird von einem Trabanten begleitet. Ein Beobachter auf der Oberfläche des Jupiters würde das Sonnensystem um sich in Bewegung zu sehen glauben, und die Gröfse des Planeten würde diese Täuschung minder unwahrscheinlich, als bey der Erde, machen. Ist es nun nicht natürlich, zu denken, daß die Bewegung dieses Systems um uns nichts weiter, als ein ähnlicher Schein sey?

Wir wollen uns in Gedanken auf die Oberfläche der Sonne versetzen, und von da die Erde und die Planeten betrachten. Alle diese Körper werden uns von Abend nach Morgen sich zu bewegen scheinen; und nun ist diese Identität der Richtung schon eine Anzeige von der Bewegung der Erde, aber was sie vollends einleuchtend beweist, ist das Gesetz, welches zwischen den Umlaufzeiten der Planeten und ihren Entfernungen

von der Sonne Statt findet. Sie laufen nämlich um so viel langsamer um sie, je weiter sie von ihr entfernt sind, so daß die Quadrate ihrer Umlaufszeiten sich wie die Würfel ihrer mittleren Entfernungen von diesem Gestirne verhalten. Nach diesem merkwürdigen Gesetze muß die Dauer des Umlaufs der Erde, vorausgesetzt, daß sie um die Sonne sich bewege, der des siderischen Jahres genau gleich seyn. Ist dieß nicht ein unwidersprechlicher Beweis, daß die Erde sich, wie alle Planeten, bewegt, und daß sie den nämlichen Gesetzen unterworfen ist?

Würde es nicht überdieß eigensinnig seyn, anzunehmen, daß die, von der Sonne aus, nicht ohne beträchtliche Mühe sichtbare, Erdkugel unbeweglich in der Mitte der um die Sonne laufenden Planeten liege, welche selbst mit diesen um die Erde herumgeführt würde? Müßte die Kraft, welche, um die Planeten in ihren Bahnen um die Sonne zu erhalten, ihre Centrifugalkraft aufwiegt, nicht auf gleiche Art auch auf die Erde wirken, und müßte nicht die Erde dieser Wirkung eine gleichgroße Centrifugalkraft entgegensetzen? So läßt die Betrachtung der himm-

lischen Bewegungen von der Sonne aus über die wahre Bewegung der Erde keinen Zweifel übrig. Aber der auf der Erde befindliche Beobachter hat überdieß noch einen sichtbaren Beweis weiter von dieser Bewegung in der Erscheinung der Abirrung des Lichts (aberration), die eine nothwendige Folge davon ist, wie wir jetzt zeigen wollen.

Gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts beobachtete Römer, daß die Finsternisse der Jupiterstrabanten gegen die Oppositionen dieses Planeten voreilen, und gegen seine Conjunctionen zurückbleiben; dieß führte ihn auf die Vermuthung, daß das Licht von diesen Sternen bis zur Erde sich nicht augenblicklich fortpflanze, und daß es eine merkliche Zeit brauche, um den Durchmesser der Sonnenbahn zu durchlaufen. Da Jupiter in seinen Oppositionen um die Größe dieses Durchmessers näher bey uns ist, als in seinen Conjunctionen, so müssen die Finsternisse für uns im ersten Falle um die ganze Zeit, welche das Licht braucht, um die Sonnenbahn zu durchlaufen, früher, als im andern, erfolgen.

Das Gesetz der beobachteten Verspätungen dieser Finsternisse stimmt so genau mit

dieser Voraussetzung überein, daß es unmöglich ist, ihr den Beyfall zu versagen. Eine Folge davon ist, daß das Licht 571" braucht, um von der Sonne zur Erde zu gelangen.

Jetzt würde ein unbeweglicher Beobachter die Sterne nach der Richtung ihrer Strahlen sehen, aber bey der angenommenen Lage, wo er sich mit der Erde bewegt, verhält es sich damit nicht so.

Um diesen Fall auf den eines in Ruhe bleibenden Beobachters zurückzuführen, ist es genug, den Sternen, dem Lichte, und dem Beobachter selbst eine Bewegung in entgegengesetzter Richtung von derjenigen, nach welcher er wirklich fortgeführt wird, zu geben, welches die scheinbare Lage der Sterne nicht ändert; denn es ist ein allgemeines Gesetz der Optik, daß, wenn man allen Körpern eines Systems eine gemeinschaftliche Bewegung ertheilt, dadurch in ihrer gegenseitigen Lage nichts geändert wird. Wir wollen uns also vorstellen, daß man dem Lichte und überhaupt allen Körpern, eine gleiche, und der des Beobachters entgegengesetzte Bewegung ertheile, und wollen sehen, was für Erscheinungen in der scheinbaren Lage der Sterne sich daraus ergeben müssen. Man kann da-

bey von der Umdrehung der Erde, die, selbst am Aequator, ungefähr sechzigmal kleiner ist, als die Bewegung der Erde um die Sonne, absehen. Man kann hier auch noch, ohne einen merklichen Irrthum annehmen, daß alle Lichtstralen, die ein jeder Punkt der Scheibe eines Sterns uns zusendet, einander selbst, und dem Strale parallel seyen, welcher aus dem Mittelpunkte des Sterns zu dem der Erde, wofern sie durchsichtig wäre, gelangen würde. So sind die Erscheinungen, welche die Sterne einem in dem letztern Mittelpunkte befindlichen Beobachter darbieten würden, und welche von der Bewegung des Lichts, verbunden mit der der Erde, abhängen, für alle über die Oberfläche von dieser verbreiteten Beobachter sehr nahe die nämlichen. Endlich wollen wir auch von der kleinen Excentricität der Erdbahn absehen. Dieß alles setzen wir also voraus.

In dem Zeitraume von $571''$, welche das Licht braucht, um den Halbmesser der Erdbahn zu durchlaufen, beschreibt die Erde einen kleinen Bogen dieser Bahn von $62'',5$. Nun folgt es aus den Gesetzen von der Zusammensetzung der Bewegungen, daß, wenn man sich durch den Mittelpunkt eines Sterns

einen kleinen der Ekliptik parallelen Kreis denkt, dessen Durchmesser am Himmel einem Winkel von $125''$ zugehört, die Richtung der Bewegung des Lichts, wenn man solche mit der Bewegung der Erde, in entgegengesetzter Richtung genommen, zusammensetzt, diesem Kreise in dem Punkte begegne, wo er von einer durch des Sterns Mittelpunkt gelegten und die Erdbahn berührenden Ebene geschnitten wird; der Stern muß also in diesem Kreise sich zu bewegen und ihn jährlich so zu beschreiben scheinen, daß er darin beständig um hundert Grade weiter zurück ist, als die Sonne in ihrer scheinbaren Bahn.

Diese Erscheinung ist genau dieselbige, welche wir im eilften Kapitel des ersten Buchs nach Bradley's Beobachtungen, welchem man die Entdeckung derselbigen, so wie die ihrer Ursache zu danken hat, erläutert haben.

Um die Sterne auf ihre wahre Lage zu beziehen, ist es genug, sie in den Mittelpunkt des kleinen Kreises zu setzen, den sie uns zu beschreiben scheinen; ihre jährliche Bewegung ist daher nichts weiter, als eine durch die Verbindung der Bewegung des Lichts mit der Erde veranlasste Täuschung. Ihre Beziehungen auf

den Stand der Sonne konnten schon auf die Vermuthung führen, daß sie bloß scheinbar sey; aber die vorhin gegebene Erklärung beweist solches einleuchtend. Sie giebt zugleich einen sichtbaren Beweis von der Bewegung der Erde um die Sonne, so wie die Zunahme der Grade und der Schwere, wenn man vom Aequator nach den Polen zu geht, ihre Umdrehungsbewegung sichtbar macht.

Die Abirrung des Lichts afficirt die Stellungen der Sonne, der Planeten, ihrer Trabanten und der Kometen, aber auf verschiedene Art, nach dem Verhältnisse ihrer besondern Bewegungen. Um sie davon zu befreyen, und die wahre Lage der Gestirne zu erhalten, wollen wir für jeden Augenblick allen Körpern eine gleiche und der Bewegung der Erde, welche dadurch unbeweglich wird, entgegengesetzte Bewegung ertheilen, was, wie schon bemerkt worden ist, weder ihre gegenseitigen Lagen, noch ihre Erscheinungen verändert. Alsdann ist es sichtbar, daß ein Stern in dem Augenblicke, da wir ihn wahrnehmen, nicht mehr in der Richtung seines Lichtstrals liegt, der unser Auge trifft; er hat sich davon entfernt vermöge seiner wahren Bewegung, verbunden mit der der Erde, von welcher man

annimmt, daß sie ihm nach der entgegengesetzten Richtung ertheilt sey. Die Verbindung dieser beyden Bewegungen von der Erde aus gesehen, giebt die scheinbare Bewegung, die man die *geocentrische* nennt. Man wird also die wahre Lage des Sterns erhalten, wenn man zu seiner beobachteten geocentrischen Länge und Breite seine geocentrische Bewegung in Länge und Breite während der Zeit, welche das Licht braucht, um von dem Sterne zur Erde zu gelangen, addirt. So scheint uns der Mittelpunkt der Sonne beständig um $62''{,}5$ in ihrer Bahn weiter zurück, als wenn ihr Licht augenblicklich zu uns gelangte.

Die Abirrung verändert die Verhältnisse der himmlischen Erscheinungen sowohl gegen den Raum, als gegen die Zeit. In dem Augenblicke, da wir sie noch sehen, sind sie schon nicht mehr. Wenn wir das Ende der Finsternisse der Jupiterstrabanten wahrnehmen, so sind schon 25 oder 30 Minuten seit demselben verflossen, und die Lichtabwechselungen der veränderlichen Sterne gehen den Augenblicken ihrer Beobachtung um mehrere Jahre vorher. Wenn uns aber alle diese Ursachen der Täuschung genau bekannt sind, so können wir die Erscheinungen des Son-

nensystems immer auf ihren wahren Ort und ihre wahre Zeit beziehen.

Die Betrachtungen der himmlischen Bewegungen führt uns also darauf, die Erde aus dem Mittelpunkte des Weltraums wegzuweisen, wohin wir sie, betrogen durch die Erscheinungen, und durch die Neigung des Menschen, sich als den vornehmsten Gegenstand der Natur zu betrachten, versetzten. Die Kugel, die er bewohnt, ist ein Planet, der sich um sich selbst dreht, und um die Sonne läuft. Betrachten wir ihn aus diesem Gesichtspunkte, so erklären sich alle Erscheinungen auf die einfachste Art; die Gesetze der himmlischen Bewegungen sind einförmig, alle Analogien sind beobachtet.

Wie Jupiter, Saturn und Uranus, so ist auch die Erde von einem Trabanten begleitet; sie drehet sich um sich selbst, wie Venus, Mars, Jupiter, Saturn, und wahrscheinlich alle Planeten; sie entlehnt, wie diese, ihr Licht von der Sonne, und bewegt sich um sie nach der nämlichen Richtung und nach den nämlichen Gesetzen. Endlich vereinigt die Vorstellung von der Bewegung der Erde zu ihrem Vortheile die Einfachheit, die Analogie, und überhaupt alles, was das wahre System der Natur

kenntlich macht. Wir werden, wenn wir sie in ihren Folgen weiter untersuchen, die himmlischen Erscheinungen bis auf ihre kleinsten Umstände, auf ein einziges Gesetz, wovon sie nothwendige Entwicklungen sind, zurückgeführt finden. Auf solche Art wird die Bewegung der Erde alle Gewissheit erhalten, deren physische Wahrheiten irgend fähig sind, und welche theils aus der Menge und Mannichfaltigkeit der erklärten Erscheinungen, theils aus der Einfachheit der Gesetze, wovon man sie abhängig macht, hervorgehen kann. Kein Theil der Naturkenntnisse vereinigt diese Vortheile in einem höhern Grade, als die auf die Bewegung der Erde gegründete Theorie des Weltsystems.

Diese Bewegung vergrößert das Weltgebäude in unsern Augen; sie giebt uns zur Abmessung der Entfernungen der Himmelskörper eine unermessliche Grundlinie, den Durchmesser der Erdbahn. Durch ihre Hülfe hat man die Abmessungen der Planetenbahnen genau bestimmt. So hat die Bewegung der Erde, die durch die Täuschungen, welche sie verursacht, die Kenntniß der wahren Bewegungen der Planeten lange Zeit aufgehalten hat, uns diese in der Folge genauer bekannt

bekannt gemacht, als wenn wir selbst in den Brennpunkt dieser Bewegungen wären versetzt worden. Indessen ist die jährliche Parallaxe der Sterne, oder der Winkel, unter welchem man aus ihrem Mittelpunkte den Durchmesser der Erdbahn sehen würde, unmerklich, und erstreckt sich, selbst in Ansehung der Sterne, die durch ihren lebhaften Glanz der Erde am nächsten zu seyn scheinen, nicht auf 6 Secunden; sie sind daher von dieser aufs wenigste hunderttausendmal weiter, als die Sonne, entfernt. Eine so ungeheure Entfernung, verbunden mit ihrem lebhaften Glanze, beweist uns offenbar, daß sie ihr Licht nicht, wie die Planeten und ihre Trabanten von der Sonne borgen, sondern mit eigenem Lichte glänzen, und daß sie eben so viele in dem unermesslichen Weltraume zerstreute Sonnen sind, die, wie die unsrige, die Brennpunkte von eben so vielen Planetensystemen seyn können. In der That brauchen wir nur uns auf den nächsten dieser Sterne zu versetzen, um unsere Sonne nur als einen hellen Stern zu sehen, dessen Durchmesser nicht ganz den dreysigsten Theil einer Secunde beträgt.

Aus der unermesslichen Entfernung der Fixsterne folgt, daß ihre Bewegungen in gerader Aufsteigung und Abweichung bloße Erscheinungen sind, die durch die Bewegungen der Erdachse verursacht werden. Aber einige Sterne scheinen eigene Bewegungen zu haben, und es ist wahrscheinlich, daß sie alle in Bewegung sind, so wie die Sonne, welche das ganze System der Planeten, Kometen und Trabanten im Weltraume mit sich fortführt, und wie ein jeder Planet, bey seiner Bewegung um die Sonne, seine Trabanten nach sich führt.

Viertes Kapitel.

Von den Erscheinungen, die die Bewegungen der Erde verursachen.

Aus dem Gesichtspunkte, in welchen die Vergleichung der himmlischen Erscheinungen uns gestellt hat, wollen wir nun die Sterne betrachten, und die vollkommene Identität ihrer Erscheinungen mit denen, die man beobachtet, zeigen.

Es mag entweder der Himmel um die Weltachse, oder die Erde um sich selbst, in einer Richtung, die der der scheinbaren Bewegung des unbeweglichen Himmels entgegengesetzt ist, sich drehen, so ist klar, daß alle Sterne sich uns auf die nämliche Art zeigen werden. Es ist dabey nur der einzige Unterschied, daß sie im ersten Falle nach und nach über die verschiedenen Erdmeridiane, im andern aber unter dieselbigem sich stellen werden.

Da die Bewegung der Erde allen auf ihrer Oberfläche befindlichen Körpern, auch den Gewässern, die sie bedecken, gemein ist, so sind ihre relativen Bewegungen die nämlichen, als wenn die Erde unbeweglich wäre. So bewegt sich auf einem mit gleichförmiger Bewegung fortgehenden Schiffe alles eben so, als wenn es in Ruhe wäre; ein lothrecht in die Höhe geworfener schwerer Körper fällt auf den Punkt zurück, von welchem er ausgegangen war; auf dem Schiffe scheint er eine lothrechte Linie zu beschreiben, aber vom Ufer aus gesehen, bewegt er sich schief gegen den Horizont, und beschreibt eine parabolische Curve. Die Umdrehung der Erde kann daher auf ihrer Oberfläche nicht anders

merklich seyn, als durch die Wirkungen der Centrifugalkraft, welche das Erdsphäroid an den Polen abplattet, und die Schwere am Aequator vermindert; zwey Erscheinungen, welche die Messungen der Meridiangrade und des Pendels uns bekannt gemacht haben.

Da bey dem Umlaufe der Erde um die Sonne ihr Mittelpunkt und alle Punkte ihrer Umdrehungsachse sich mit gleichen und parallelen Geschwindigkeiten bewegen, so bleibt diese Achse immer ihr selbst parallel; ertheilt man also für jeden Augenblick allen Theilen der Erde eine gleiche und der Bewegung ihres Mittelpunkts entgegengesetzte Bewegung, so wird sie, wie die Umdrehungsachse unbeweglich bleiben; aber diese eingedrückte Bewegung ändert die Erscheinungen der Bewegung der Sonne nicht, sie ertheilt blos diesem Gestirne die wahre Bewegung der Erde in entgegengesetzter Richtung; die Erscheinungen sind folglich die nämlichen bey der Voraussetzung der ruhenden Erde, und bey der ihrer Bewegung um die Sonne. Um die Identität dieser Erscheinungen noch mehr ins Einzelne zu verfolgen, wollen wir uns einen aus dem Mittelpunkte der Sonne an den der

Erde gehenden Stral gedenken; dieser Stral wird auf der Ebene, welche die erleuchtete Halbkugel der Erde von der dunkeln scheidet, lothrecht stehen. Der Punkt, worin er durch die Oberfläche der Erde gehen wird, wird die Sonne lothrecht über sich sehen, und alle Punkte des Erdparallels, denen dieser Stral, vermöge seiner täglichen Bewegung, nach und nach begegnen wird, werden des Mittags dieses Gestirn im Scheitelpunkte haben. Nun mag entweder die Sonne um die Erde, oder die Erde um die Sonne sich bewegen, und zugleich um sich selbst sich so drehen, daß ihre Umdrehungsachse beständig in paralleler Richtung bleibt, so ist es klar, daß dieser Stral auf der Erdfäche die nämliche Curve beschreiben wird; er wird in beyden Fällen die nämlichen Parallele des Aequators schneiden, wenn die Sonne die nämliche scheinbare Länge hat; dieses Gestirn wird daher eine gleiche Höhe über dem Horizonte erreichen, und die Tage werden von gleicher Dauer seyn. Die Jahreszeiten und die Tage sind also die nämlichen bey der Voraussetzung der ruhenden Sonne, und bey der ihrer Bewegung um die Erde; und die im vorigen Buche gegebene Erklärung der Jahrs-

zeiten läßt sich eben so gut auch auf die erste Voraussetzung anwenden.

Alle Planeten bewegen sich nach einerley Richtung, aber mit verschiedenen Geschwindigkeiten um die Sonne; ihre Umlaufzeiten wachsen in einem größern Verhältnisse, als ihre Entfernungen von diesem Gestirne; Jupiter z. B. braucht ohngefähr 12 Jahre, um seine Bahn zu durchlaufen, deren Halbmesser nur ohngefähr fünfmal größer, als der der Erdbahn ist; seine wahre Geschwindigkeit ist daher kleiner, als die der Erde. Diese Abnahme der Geschwindigkeit bey den Planeten, nach dem Maasse ihrer größeren Entfernung von der Sonne, hat vom Merkur an, der ihr am nächsten, bis zum Uranus, der am weitesten von ihr entfernt ist, durchgängig Statt; und aus den Gesetzen, die wir in der Folge aufstellen werden, ergiebt sich, daß die mittleren Geschwindigkeiten der Planeten sich umgekehrt verhalten, wie die Quadratwurzeln ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne.

Wir wollen einen Planeten betrachten, dessen Bahn von der Erdbahn eingeschlossen wird, und ihn von seiner oberen bis zu seiner unteren Conjunction verfolgen. Seine

scheinbare oder geocentrische Bewegung ist das Resultat seiner wahren Bewegung verbunden mit der der Erde, in entgegengesetzter Richtung genommen. Bey der oberen Conjunction ist die wahre Bewegung des Planeten der der Erde entgegengesetzt; seine geocentrische Bewegung ist folglich alsdann die Summe dieser beyden Bewegungen, und hat einerley Richtung mit der geocentrischen Bewegung der Sonne, die sich aus der Bewegung der Erde ergibt, wenn man sie diesem Gestirne, in entgegengesetzter Richtung beylegt; die scheinbare Bewegung des Planeten ist also rechtläufig. Bey der unteren Conjunction hat die Bewegung des Planeten einerley Richtung mit der der Erde, und da sie gröfser ist, so behält die geocentrische Bewegung die nämliche Richtung; da sie aber nichts anders ist, als der Ueberschufs der wahren Bewegung des Planeten über die der Erde, so hat sie eine der scheinbaren Bewegung der Sonne entgegengesetzte Richtung und ist mithin rückläufig. Man begreift leicht, dafs bey dem Uebergange der rechtläufigen Bewegung in die rückläufige der Planet ohne Bewegung, oder stille stehend erscheinen, und dafs dies zwischen der größ-

ten Elongation und der unteren Conjunction Statt haben muß, wenn die geocentrische Bewegung des Planeten, die aus seiner wahren Bewegung, und aus der der Erde in entgegengesetzter Richtung genommen, hervorgeht, nach der Gesichtslinie des Planeten gerichtet ist. Diese Erscheinungen stimmen mit den beobachteten Bewegungen des Merkurs und der Venus ganz überein.

Die Bewegung der Planeten, deren Bahnen die Erdbahn einschließen, hat bey ihren Oppositionen einerley Richtung mit der Bewegung der Erde, sie ist aber kleiner, und wenn sie mit dieser letztern Bewegung, in entgegengesetzter Richtung genommen, zusammengesetzt wird, so nimmt sie eine, ihrer anfänglichen Richtung, entgegengesetzte Richtung an; die geocentrische Bewegung dieser Planeten ist folglich alsdann rückläufig; bey ihren Conjunctionen aber ist sie rechtläufig, so wie die Bewegungen des Merkurs und der Venus bey den oberen Conjunctionen.

Legt man den Fixsternen die Bewegung der Erde in entgegensetzter Richtung bey, so müssen sie jährlich einen Kreis zu beschreiben scheinen, der der Erdbahn gleich und parallel ist, und dessen Durchmesser am Him-

mel einem Winkel zugehört, der demjenigen gleich ist, unter welchem man von ihrem Mittelpunkte aus den Durchmesser dieser Bahn sieht. Diese scheinbare Bewegung hat viele Aehnlichkeit mit derjenigen, welche aus der Zusammensetzung der Bewegungen der Erde und des Lichts hervorgeht, und durch welche die Sterne uns jährlich einen der Ekliptik parallelen Kreis zu beschreiben scheinen, dessen Durchmesser einem Winkel von $125''$ zugehört; sie ist aber darin von ihr unterschieden, daß diese Sterne in dem ersten Kreise einerley Stand mit der Sonne haben, da sie hingegen in dem andern um hundert Grade weiter zurück sind, als sie. Daran kann man diese beyden Bewegungen von einander unterscheiden, und dadurch hat man sich versichert, daß die erstere unmerklich ist, weil die unermessliche Entfernung der Sterne von uns den Winkel unmerklich macht, der dem aus dieser Entfernung gesehenen Durchmesser der Erdbahn zugehört.

Da die Weltachse nichts anders ist, als die Verlängerung der Umdrehungsachse der Erde, so muß man auf die letztere die Bewegung der Pole des Aequators am Himmel beziehen, welche durch die im eilften Kapitel

des ersten Buchs erklärten Erscheinungen des Vorrückens der Nachtgleichen und des Schwankens der Erdachse angezeigt wird. So bewegt sich zu gleicher Zeit, da die Erde sich um sich selbst dreht, und um die Sonne läuft, ihre Umdrehungsachse sehr langsam um die Pole der Ekliptik durch kleine Schwingungen, deren Periode mit der der Bewegung der Knoten der Mondsbahn einerley ist. Uebrigens kommt diese Bewegung der Erde nicht ausschliessend zu; denn wir haben im vierten Kapitel des ersten Buchs gesehen, daß auch die Achse des Monds sich in eben der Periode um die Pole der Ekliptik bewege,

F ü n f t e s K a p i t e l .

Von der Gestalt der Planetenbahnen, und den Gesetzen ihrer Bewegung um die Sonne.

Nichts würde leichter seyn, als, nach den vorhergehenden Bestimmungsstücken, die Lage der Planeten für jeden Augenblick zu berechnen, wenn ihre Bewegungen um die Sonne kreisförmig und gleichförmig wären; aber sie sind sehr merklichen Ungleichheiten

unterworfen, deren Gesetze einen der wichtigsten Gegenstände der Astronomie und den einzigen Faden ausmachen, welcher uns zu einem allgemeinen Grundgesetze der himmlischen Bewegungen führen kann. Um diese Gesetze in den Erscheinungen, welche die Planeten uns darbieten, zu erkennen, muß man ihre Bewegungen von den Wirkungen der Bewegung der Erde befreyen, und ihre, aus verschiedenen Punkten der Erdbahn beobachtete, Lage auf die Sonne beziehen. Daher ist es vor allem nöthig, die Abmessungen dieser Bahn und das Gesetz der Bewegung der Erde zu bestimmen.

Wir haben im zweyten Kapitel des ersten Buchs gesehen, daß die scheinbare Bahn der Sonne eine Ellipse ist, in deren einem Brennpunkte der Mittelpunkt der Erde liegt. Da aber die Sonne in der That unbeweglich ist, so muß man sie in den Brennpunkt der Ellipse, die Erde aber in den Umfang derselben setzen; die scheinbare Bewegung der Sonne wird alsdann die nämliche seyn, und um die aus dem Mittelpunkte der Sonne gesehene Lage der Erde zu erhalten, wird man nur den Stand jenes Gestirns um die Summe

von zwey rechten Winkeln zu vermehren brauchen.

Wir haben ferner gesehen, daß die Sonne in ihrer Bahn sich so zu bewegen scheint, daß der Radius Vector, welcher ihren Mittelpunkt mit dem der Erde verbindet, Flächen um sie zu beschreiben scheint, die den Zeiten proportionirt sind. In der That aber werden diese Flächen um die Sonne beschrieben. Ueberhaupt aber muß alles, was wir in dem angeführten Kapitel über die Excentricität der Sonnenbahn und ihre Veränderungen, über die Lage und Bewegung ihrer Erdnähe gesagt haben, auf die Erdbahn angewandt werden, mit der einzigen Bemerkung, daß die Sonnennähe der Erde von der Erdnähe der Sonne um zwey rechte Winkel entfernt ist.

Nachdem wir also die Gestalt der Erdbahn kennen, wollen wir sehen, wie man dazu gelangt ist, auch die der übrigen Planetenbahnen zu bestimmen. Wir wollen den Planeten Mars zum Beyspiele nehmen, welcher durch die große Excentricität seiner Bahn und durch seine Nähe bey der Erde vorzüglich tauglich ist, uns zur Entdeckung der Bewegungsgesetze der Planeten zu führen.

Die Bewegung des Mars um die Sonne und seine Bahn würden bekannt seyn, wenn man für irgend einen Augenblick den Winkel, welchen sein Radius Vector mit einer durch der Sonne Mittelpunkt gehenden unveränderlichen Linie macht, und die Länge dieses Radius hätte.

Um diese Aufgabe einfacher zu machen, wählt man solche Stellungen des Mars, in welchen die eine dieser Gröfsen sich besonders zeigt, welches in den Oppositionen sehr nahe Statt hat, wo man findet, dafs diesem Planeten der nämliche Punkt der Ekliptik zugehört, auf welchen man ihn von dem Mittelpunkte der Sonne aus beziehen würde. Die Verschiedenheit der Bewegungen des Mars und der Erde macht, dafs der Ort des Planeten bey seinen auf einander folgenden Oppositionen in verschiedene Punkte des Himmels fällt. Vergleicht man daher eine grofse Zahl beobachteter Oppositionen mit einander, so wird man das Gesetz entdecken können, welches zwischen der Zeit und der Winkelbewegung des Mars um die Sonne, die man die *heliocentrische* Bewegung nennt, Statt findet. Die Analysis bietet verschiedene Methoden zu diesem Behufe dar, die in dem ge-

genwärtigen Falle durch die Betrachtung sich vereinfachen lassen, daß die beträchtlichsten Ungleichheiten des Mars bey jedem seiner siderischen Umläufe wieder die nämlichen sind. Sie lassen sich durch eine stark convergirende Reihe der Sinus der vielfachen Winkel seiner mittlern Bewegung ausdrücken, deren Coefficienten, vermittelt einiger auserlesenen Beobachtungen, sich leicht bestimmen lassen.

Man erhält sofort das Gesetz des Radius Vector des Mars durch Vergleichung der Beobachtungen dieses Planeten gegen die Quadraturen, wo dieser Radius, wenn er ungefähr 100 Grade von der Sonne entfernt ist, sich unter dem größten Winkel zeigt. In dem Dreyecke, welches die geraden Linien einschließen, die die Mittelpunkte der Erde, der Sonne und des Mars mit einander verbinden, giebt die Beobachtung unmittelbar den Winkel an der Erde; das Gesetz der heliocentrischen Bewegung des Mars giebt den Winkel an der Sonne, und man schließt daraus den Radius Vector des Mars in Theilen von dem der Erde, welcher selbst in Theilen der mittlern Entfernung der Erde von der Sonne gegeben ist. Die Vergleichung

einer großen Anzahl so bestimmter Radien macht das Gesetz ihrer Veränderungen bekannt, die den Winkeln zugehören, welche sie mit einer unveränderlichen geraden Linie einschließen, und man kann alsdann die Gestalt der Bahn verzeichnen.

Ungefähr durch eine ähnliche Methode fand Kepler die länglichte Gestalt und die Excentricität der Marsbahn. Er hatte den glücklichen Einfall, ihre Gestalt mit der der Ellipse zu vergleichen, indem er die Sonne in den einen ihrer Brennpunkte setzte, und die zahlreichen Beobachtungen des Tycho, die durch die Voraussetzung einer elliptischen Bahn genau dargestellt wurden, ließen ihm über die Wahrheit dieser Voraussetzung keinen Zweifel.

Den der Sonne am nächsten liegenden Endpunkt der großen Achse nennt man die *Sonnennähe (Perihelium)*, und den entferntesten Endpunkt derselben die *Sonnenferne (Aphelium)*.

In der Sonnennähe ist die Winkelgeschwindigkeit des Mars um die Sonne am größten; von da an nimmt sie in eben dem Maasse ab, als der Radius Vector zunimmt, und sie ist am kleinsten in der Sonnenferne.

Bey der Vergleichung dieser Geschwindigkeit mit den Potenzen des Radius Vector fand Kepler, daß sie dem Quadrate desselben proportionirt ist, so daß das Produkt der täglichen heliocentrischen Bewegung des Mars durch das Quadrat seines Radius Vector immer das nämliche ist. Dieses Product ist das Doppelte des kleinen Sectors, welchen dieser Radius täglich um die Sonne beschreibt. Die Fläche, die er beschreibt, indem er von einer durch der Sonne Mittelpunkt gehenden unveränderlichen Linie ausgeht, wächst demnach wie die Zahl der seit der Zeit, da der Planet auf dieser Linie war, verflossenen Tage. Dieß drückte Kepler so aus: Die durch den Radius Vector des Mars beschriebenen Flächen sind den Zeiten proportionirt.

Diese Bewegungsgesetze des Mars sind einerley mit den Gesetzen der scheinbaren Bewegung der Sonne, welche wir im zweyten Kapitel des ersten Buchs entwickelt haben; sie haben also auf gleiche Art auch für die Erde Statt. Es war natürlich, sie auch auf die übrigen Planeten auszudehnen. Kepler stellte daher als Grundgesetze der Bewegung dieser Körper folgende zwey auf, welche alle Beobachtungen bestätigt haben:

Die

Die Planetenbahnen sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkte der Sonne Mittelpunkt liegt.

Die durch die Radios Vectores der Planeten um diesen Mittelpunkt beschriebenen Flächen sind den zu ihrer Beschreibung gebrauchten Zeiten proportionirt.

Diese Gesetze sind zur Bestimmung der Bewegung der Planeten um die Sonne hinreichend; man muß aber für jeden derselben sieben Gröſen kennen, welche man *Elemente der elliptischen Bewegung* nennt. Fünf dieser Elemente beziehen sich auf die Bewegung in der Ellipse, und sind 1) die Zeit des siderischen Umlaufs, 2) die halbe große Achse oder die mittlere Entfernung des Planeten von der Sonne, 3) die Excentricität, woraus sich die größte Mittelpunkts- gleichung ergibt, 4) die mittlere Länge des Planeten für eine gegebene Zeit, 5) die Länge der Sonnennähe für die nämliche Zeit. Die zwey andern Elemente beziehen sich auf die Lage der Bahn und sind 1) die Länge der Knoten der Bahn, oder ihrer Durchschnittpunkte mit einer Ebene, wofür man gemeinlich die der Ekliptik nimmt, für eine gegebene Zeit; 2) die Neigung der

Bahn gegen diese Ebene. Man hat also für das ganze System der bekannten Planeten 49 Elemente zu bestimmen. Die nachfolgende Tafel stellt alle diese Elemente für den Anfang des Jahrs 1750 dar.

Die Untersuchung dieser Tafel zeigt uns, daß die Umlaufszeiten der Planeten mit ihren mittleren Entfernungen von der Sonne zunehmen. Dies führte Keplern auf die Vermuthung, daß sie an diese Entfernungen durch ein Verhältniß gebunden seyen, welches er zu entdecken sich vorsetzte. Nach einer großen Anzahl siebzehn Jahre lang fortgesetzter Versuche fand er endlich, daß *die Quadrate der Umlaufszeiten der Planeten sich zu einander verhalten wie die Würfel der großen Achsen ihrer Bahnen.*

Dies sind die Gesetze der Bewegung der Planeten, die Grundgesetze, welche der Astronomie eine neue Gestalt gegeben, und zur Entdeckung der allgemeinen Schwere geführt haben.

Die Ellipsen der Planeten sind nicht unveränderlich; ihre großen Achsen scheinen immer die nämlichen zu seyn, aber ihre Excentricitäten, ihre Neigungen gegen eine

unbewegliche Ebene, die Lage ihrer Knoten, und ihrer Sonnennähen, sind Veränderungen unterworfen, die bis jetzt im Verhältnisse der Zeiten zu wechseln scheinen. Da diese Veränderungen erst nach Jahrhunderten merklich werden, so hat man sie die *secularen Ungleichheiten* genannt. Ihr Daseyn ist keinem Zweifel unterworfen; da aber die neueren Beobachtungen nicht weit genug von einander entfernt, und die älteren nicht genau genug sind, um sie scharf zu bestimmen, so bleibt, in Ansehung ihrer Größe, noch einige Ungewissheit zurück. Die folgende Tafel enthält diejenigen Werthe, welche allen diesen Beobachtungen zusammen genommen am besten Genüge zu thun scheinen.

Man bemerkt ferner periodische Ungleichheiten, welche die elliptischen Bewegungen der Planeten stören. Die Bewegung der Sonne wird dadurch nur wenig verändert, wie wir in dem vorhergehenden Buche gesehen haben; aber an den zwey größten Planeten, dem Jupiter und Saturn, sind sie besonders merklich. Durch Vergleichung der neueren Beobachtungen mit den älteren haben die Astronomen eine Abnahme bey

der Umlaufzeit des Jupiters und eine Zunahme bey der des Saturn bemerkt; die Vergleichung der neueren Beobachtungen unter einander giebt ein entgegengesetztes Resultat, welches große Ungleichheiten von sehr langen Perioden bey der Bewegung dieser Planeten anzuzeigen scheint. Selbst in diesem Jahrhunderte schien die Umlaufzeit des Saturns nach den Punkten der Bahn, in welche man den Anfang der Bewegung des Planeten setzte, unterschieden zu seyn; seine Zurückkunft zur Frühlingsnachtgleiche erfolgte schneller, als zur Herbstnachtgleiche. Endlich zeigen Jupiter und Saturn Ungleichheiten, die sich auf mehrere Minuten erstrecken, und von dem Stande dieser Planeten sowohl gegen einander als in Ansehung ihrer Sonnennähen abzuhängen scheinen. Diefs alles kündigt uns also an, daß es in dem Planetensysteme, unabhängig von der Hauptursache, welche die Planeten in elliptischen Bahnen um die Sonne führt, besondere Ursachen gebe, welche ihre Bewegungen stören, und auf die Länge die Elemente ihrer Ellipsen verändern.

T a f e l

der elliptischen Bewegung der Planeten.

Siderische Umlaufzeiten.

Merkur	- -	87,969255	Tage.
Venus	- -	224,700817	
Erde	- -	365,256384	
Mars	- -	686,979579	
Jupiter	- -	4332,602208	
Saturn	- -	10759,077213	
Uranus	- -	30689,000000	

*Halbe große Achsen der Bahnen, oder mittlere
Entfernungen.*

Merkur	- -	0,387100
Venus	- -	0,723332
Erde	- -	1,000000
Mars	- -	1,523693
Jupiter	- -	5,202792
Saturn	- -	9,540724
Uranus	- -	19,183620

*Verhältniß der Excentricität zur halben großen
Achse für den Anfang des Jahrs 1750.*

Merkur	- -	0,205513
Venus	- -	0,006885
Erde	- -	0,016814

Mars	-	-	0,093088
Jupiter	-	-	0,048077
Saturn	-	-	0,056223
Uranus	-	-	0,046683

Seculare Veränderungen dieses Verhältnisses.

(Das Zeichen (—) zeigt Verminderung an.)

Merkur	-	0,000003369
Venus	-	— 0,000062905
Erde	-	— 0,000045572
Mars	-	0,000090685
Jupiter	-	0,000134245
Saturn	-	— 0,000201553
Uranus	-	— 0,000026228

Mittlere Längen für den Anfang des Jahrs 1750.

(Diese Längen sind von der mittleren Frühlingsnachtgleiche an für den mittleren Mittag des 31sten Decembers 1749 zu Paris berechnet.)

Merkur	-	-	281°,3194
Venus	-	-	51,4963
Erde	-	-	311,1218
Mars	-	-	24,4219
Jupiter	-	-	4°,1201
Saturn	-	-	257,0438
Uranus	-	-	353,9610

*Längen der Sonnenmühe für den Anfang des
Jahrs 1750.*

Merkur	- - -	81°,7401
Venus	- - -	141,9759
Erde	- - -	309,5790
Mars	- - -	368,3006
Jupiter	- - -	11,5012
Saturn	- - -	97,9466
Uranus	- - -	185,1262

Siderische und seculare Bewegung der Sonnenmühe.

(Das Zeichen (—) zeigt rückläufige Bewegung an.)

Merkur	- - -	1735",50
Venus	- - -	— 698,07
Erde	- - -	3671,63
Mars	- - -	4834,57
Jupiter	- - -	2030,25
Saturn	- - -	4967,64
Uranus	- - -	759,85

*Neigung der Bahn gegen die Ekliptik für den
Anfang des Jahrs 1750.*

Merkur	- - -	7°,7778
Venus	- - -	3,7701
Erde	- - -	0,0000
Mars	- - -	2,0556
Jupiter	- - -	1,4636
Saturn	- - -	2,7762
Uranus	- - -	0,8599

*Seculare Veränderung der Neigung gegen die
wahre Ekliptik.*

Merkur	- - -	55",09
Venus	- - -	13,80
Erde	- - -	0,00
Mars	- - -	- 4,45
Jupiter	- - -	- 67,40
Saturn	- - -	- 47,87
Uranus	- - -	9,38

*Länge des aufsteigenden Knoten für den Anfang
des Jahrs 1750.*

Merkur	- - -	50°,3836
Venus	- - -	82,7093
Erde	- - -	0,0000
Mars	- - -	52,9377
Jupiter	- - -	108,8062
Saturn	- - -	123,9327
Uranus	- - -	80,7015

*Siderische und seculare Bewegung des Knoten in
der wahren Ekliptik.*

Merkur	- - -	- 2332",90
Venus	- - -	- 5673,60
Erde	- - -	0,00
Mars	- - -	- 7027,41
Jupiter	- - -	- 4509,50
Saturn	- - -	- 5781,54
Uranus	- - -	- 10608,00

Sechstes Kapitel.

Von der Gestalt der Kometenbahnen, und den Gesetzen ihrer Bewegung um die Sonne.

Da die Sonne im Brennpunkte der Planetenbahnen liegt, so ist es natürlich, anzunehmen, daß sie auf gleiche Art auch im Brennpunkte der Kometenbahnen liege. Da aber diese Gestirne wieder verschwinden, nachdem sie sich einige Monate gezeigt haben, so sind ihre Bahnen, anstatt, wie die der Planeten, beynahe kreisförmig zu seyn, sehr in die Länge gezogen, und die Sonne ist dem Theile sehr nahe, in welchem sie sichtbar sind. Die Ellipse kann, vermöge der Abstufungen, deren sie vom Kreise bis zur Parabel fähig ist, zur Darstellung dieser verschiedenen Bahnen dienen. Die Analogie leitet uns also darauf, die Kometen in Ellipsen herumzuführen, in deren einem Brennpunkte die Sonne liegt, und sie darin nach den nämlichen Gesetzen, wie die Planeten, sich bewegen zu lassen, so daß die durch ihre Radios Vectores beschriebenen Flächen den Zeiten proportionirt sind.

Es ist fast unmöglich, die Umlaufszeit eines Kometen, und folglich die große Achse

seiner Bahn durch Beobachtungen einer einzigen Erscheinung desselben kennen zu lernen; man kann daher auf solche Art auch die Fläche, die sein Radius Vector in einer gegebenen Zeit beschreibt, nicht genau bestimmen. Man muß aber erwägen, daß das von dem Kometen, während seiner Sichtbarkeit, beschriebene kleine Stück der Ellipse für eine Parabel genommen, und mithin seine Bewegung während dieser Zeit so berechnet werden kann, als ob sie parabolisch wäre.

Nach den Keplerischen Gesetzen verhalten sich die durch die Radios Vectores zweyer Planeten in gleicher Zeit beschriebenen Sektoren zusammen, wie die Flächen ihrer Ellipsen, dividirt durch die Quadrate ihrer Umlaufzeiten, diese Quadrate aber verhalten sich wie die Würfel der halben großen Achsen. Daraus kann man leicht schliessen, daß, wenn man sich einen Planeten von einer kreisförmigen Bahn gedenkt, deren Halbmesser dem Abstände eines Kometen in der Sonnennähe gleich ist, der durch den Radius Vector des Kometen beschriebene Sector zu dem ihm zugehörigen, durch den Radius Vector des Planeten beschriebenen, Sector in dem Verhältnisse der Quadratwurzel des Abstandes der

Sonnenferne des Kometen zu der Quadratwurzel der halben großen Achse seiner Bahn stehen werde, welches Verhältnifs, wenn die Ellipse sich in eine Parabel verwandelt, dem der Quadratwurzel aus 2 zu 1 gleich wird. Man hat also das Verhältnifs des Sectors des Kometen zu dem des erdichteten Planeten, und es ist, nach dem Vorhergehenden leicht, das Verhältnifs dieses letztern Sectors zu dem, welchen der Radius Vector der Erde in der nämlichen Zeit beschreibt, zu finden.

Man kann daher für jeden beliebigen Zeitpunkt die von dem Radius Vector des Kometen seit seinem Durchgange durch die Sonnennähe beschriebene Fläche bestimmen, und seinen Stand in der Parabel, von welcher man annimmt, daß er sie beschreibe, vestsetzen.

Man braucht alsdann nur noch aus den Beobachtungen die Elemente der parabolischen Bewegung, das heißt, die Entfernung des Kometen in der Sonnennähe, die Lage der Sonnennähe, den Augenblick des Durchgangs durch die Sonnennähe, die Neigung der Bahn gegen die Ekliptik und die Lage ihrer Knoten herzuleiten. Aber die Untersuchung dieser fünf Elemente bietet gröfsere Schwierigkeiten

dar, als die der Elemente der Planeten, welche, da sie allezeit sichtbar, und schon seit einer langen Reihe von Jahren beobachtet sind, in den vortheilhaftesten Stellungen mit der Bestimmung dieser Elemente verglichen werden können, da hingegen die Kometen nur sehr kurze Zeit sichtbar sind, und oft unter Umständen, wo ihre scheinbare Bewegung wegen der wahren Bewegung der Erde, die wir ihnen immer in entgegengesetzter Richtung beylegen, sehr verwickelt ist. Dieser Schwierigkeiten ungeachtet ist man durch verschiedene Methoden zur Bestimmung der Elemente der Kometenbahnen gelangt. Drey vollständige Beobachtungen sind zu diesem Behufe mehr, als zureichend; alle übrigen dienen nur zur Bestätigung der Genauigkeit dieser Elemente, und der Richtigkeit der eben erklärten Theorie. Mehr als achtzig Kometen, deren zahlreiche Beobachtungen durch diese Theorie genau dargestellt werden, schützen sie gegen jeden Angriff. Demnach sind die Kometen, die man lange Zeit für Lufterscheinungen angesehen hat, von derselben Natur, wie die Planeten, und ihre Bewegungen und Zurückkünfte sind nach den nämlichen Gesetzen, wie die Bewegungen der Planeten, bestimmt.

Wir wollen hier bemerken, wie das wahre System der Natur bey seiner weitem Entwicklung sich immer mehr und mehr bestätigt. Die Einfachheit der himmlischen Erscheinungen bey der Voraussetzung der Bewegung der Erde, verglichen mit ihrer äussersten Verwickelung bey der Voraussetzung ihrer Unbeweglichkeit macht die erstere dieser Voraussetzungen sehr wahrscheinlich. Die Gesetze der elliptischen Bewegung, die alsdann die Erde mit den Planeten gemein hat, vermehren diese Wahrscheinlichkeit sehr, die durch die Betrachtung, daß, bey dieser Voraussetzung, auch die Bewegung der Kometen den nämlichen Gesetzen unterworfen ist, noch gröfser wird.

Die Kometen bewegen sich nicht, wie die Planeten, alle nach einerley Richtung; die einen haben eine wahre rechtläufige, andere aber eine rückläufige Bewegung. Die Neigungen ihrer Bahnen sind nicht, wie die der Planetenbahnen, in eine gerade Zone eingeschlossen, sondern man findet bey ihnen alle Verschiedenheiten der Neigung von der Bahn an, die in der Ebene der Ekliptik liegt, bis zu der, die auf ihr lothrecht ist.

Man erkennt einen Kometen bey seiner Wiedererscheinung an der Identität der Elemente seiner Bahn mit denen der Bahn eines schon beobachteten Kometen. Wenn der Abstand in der Sonnennähe, die Lage der Sonnennähe und der Knoten, und die Neigung der Bahn sehr nahe die nämlichen sind, so ist es sehr wahrscheinlich, daß der erschienene Komet ein schon früher beobachteter ist, welcher, nachdem er sich bis auf eine Entfernung, wo er unsichtbar war, entfernt hatte, in den der Sonne nahe liegenden Theil seiner Bahn zurückkommt.

Da die Umlaufszeit der Kometen sehr lang, und diese Gestirne erst seit ungefähr zwey Jahrhunderten mit einiger Sorgfalt beobachtet worden sind, so kennt man bis jetzt nur die Umlaufszeit eines einzigen Kometen, nämlich dessen vom Jahre 1682, mit Gewißheit, den man schon vorher in den Jahren 1607. und 1531. beobachtet hatte, und welcher im Jahre 1759. wieder erschienen ist. Dieser Komet braucht ungefähr 76 Jahre, um zu seiner Sonnennähe zurückzukommen; folglich ist, wenn man die mittlere Entfernung der Sonne von der Erde für die Einheit annimmt, die große Achse seiner Bahn ungefähr

35,9; und da seine Entfernung in der Sonnennähe nur 0,58 beträgt, so entfernt er sich von der Sonne aufs wenigste 35mal mehr, als die Erde, und durchläuft eine sehr excentrische Ellipse. Die Zeit seiner Zurückkunft zur Sonnennähe war von 1531 bis 1607. um 13 Monate länger, als von 1607 bis 1682, hingegen war sie von 1607 bis 1682. um 18 Monate kürzer, als von 1682 bis 1759. Es scheint also, daß ähnliche Ursachen, wie die, welche die elliptische Bewegung der Planeten verändern, die der Kometen auf eine noch merklichere Art stören.

Man hat die Zurückkunft von einigen andern Kometen vermuthet; die wahrscheinlichste davon war die des Kometen vom Jahre 1532, von welchem man glaubte, daß er mit dem vom Jahre 1661, dessen Umlaufszeit man auf 129 Jahre gesetzt hat, der nämliche sey.

Da aber dieser Komet im Jahre 1790, wo man ihn erwartete, nicht wieder erschien, so hat man allen Grund, zu glauben, daß diese zwey Kometen nicht einer und derselbe seyen. Dieß muß uns in unserm Urtheile über die Identität zweyer beobachteten Kometen sehr behutsam machen. Wir wollen versuchen, die Wahrscheinlichkeit

dieser Identität bey wenig verschiedenen Elementen zu berechnen.

Wir wollen setzen, der Unterschied betrage nur einen Grad in der Neigung der Bahn, und in den Oertern des aufsteigenden Knoten und der Sonnennähe, und nur ein Hunderttheil in Ansehung des Abstandes in der Sonnennähe, wenn die mittlere Entfernung der Sonne von der Erde für die Einheit angenommen wird. Wir wollen ferner setzen, die Fehler der aus den Beobachtungen hergeleiteten Elemente, und die Veränderungen, welche diese Elemente in der von einer Erscheinung des Kometen bis zur andern verflossenen Zeit leiden konnten, seyen in die vorigen Gränzen eingeschlossen, so daß sich kein Anstand findet, die beyden Kometen als einen und denselben anzusehen.

Die Neigung der Bahn eines neuen Kometen gegen die Ekliptik kann eine von Null bis auf die halbe Peripherie veränderliche Gröfse haben; wenn aber die Neigung grösser ist, als hundert Grade, so ändert die Bewegung ihre Richtung; man kann also schon aus der Neigung allein angeben, ob die Bewegung rechtläufig oder rückläufig sey. Die Wahrscheinlichkeit, daß die Neigung der
 Bahn

Bahn eines neuen Kometen von der Neigung der Bahn eines alten sich nicht um mehr, als einen Grad darüber oder darunter, entfernen werde, ist demnach $\frac{2}{200}$ oder $\frac{1}{100}$ gleich. Die Lage des aufsteigenden Knoten eines neuen Kometen kann von 0 bis auf 400° unterschieden seyn. Die Wahrscheinlichkeit, daß sie von der Lage des Knoten eines ehemals beobachteten Kometen um nicht mehr als einen Grad unterschieden seyn werde, ist folglich $\frac{1}{200}$. Eben so ist auch die Wahrscheinlichkeit, daß die Lage der Sonnennähe eines neuen Kometen von der der Sonnennähe eines alten um nicht mehr als einen Grad unterschieden seyn werde, $\frac{1}{200}$. Wir wollen setzen, daß auf gleiche Art auch der Abstand in der Sonnennähe in dem zwischen 0, und 1,5 eingeschlossenen Raume veränderlich seyn könne. Man hat zwar wirklich Kometen gesehen, deren Abstand in der Sonnennähe größer, als 1,5 war; aber diese Fälle sind so selten, daß wir, bey diesem Versuche der Berechnung, nicht nöthig haben, darauf Rücksicht zu nehmen, da eine größere Entfernung der Kometen in der Sonnennähe sie fast immer unsichtbar macht. Die Wahrscheinlichkeit, daß die Entfernung eines neuen Kometen in der Sonnennähe von der

eines ehemdem beobachteten nicht um ein Hunderttheil unterschieden seyn werde, ist also sehr nahe $\frac{4}{300}$. Demnach wird die Wahrscheinlichkeit, das die Elemente eines neuen Kometen von denen eines alten nicht über die vorhin bestimmten Gränzen abweichen werden, ein Product aus den vier Zahlen $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{200}$, $\frac{1}{200}$, $\frac{4}{300}$, und mithin dem Bruche $\frac{1}{3 \cdot (10)^8}$ gleich seyn.

Um nun die Wahrscheinlichkeit, das der neue Komet mit dem vormals beobachteten der nämliche sey, zu bestimmen, giebt die Theorie der Wahrscheinlichkeitsrechnung folgende Regel: Multipliciret den Bruch $\frac{1}{3 \cdot (10)^8}$ mit der um Eins vermehrten Zahl der sichtbaren und noch nicht beobachteten Kometen, und dividiret durch dieses um Eins vermehrte Product die Einheit, so wird der Quotient die gesuchte Wahrscheinlichkeit seyn.

Wenn die Gränzen der Fehler der aus den Beobachtungen hergeleiteten Elemente gröfser, als die vorhinbestimmten sind, so mus man anstatt des Bruchs $\frac{1}{3 \cdot (10)^8}$ das Product dieses Bruchs durch das der vier Zah-

len, welche ausdrücken, wie vielmal eine jede Gränze die im Vorigen angenommene Gränze enthalte, gebrauchen.

Da die Zahl der sichtbaren und noch nicht beobachteten Kometen unbekannt ist, so ist es unmöglich, die Wahrscheinlichkeit, um welche es hier zu thun ist, zu berechnen. Indessen kann man mit Wahrscheinlichkeit glauben, daß jene Zahl nicht gröfser, als eine Million sey. Setzt man sie aber dieser gleich, so sind 300 gegen Eins zu wetten, daß ein Komet, dessen Elemente von denen eines alten nur um die oben bestimmten Gröfsen unterschieden sind, der nämliche mit diesem sey.

Da Halley die Elemente der Kometen von 1607. und 1682. auf solche Art verglich, konnte er mit einer Wahrscheinlichkeit von $\frac{1200}{1201}$ ankündigen, daß diese zwey Kometen einer und derselbe seyen, und daß solcher gegen die Mitte dieses Jahrhunderts wieder erscheinen würde. Die Furcht, sich darin zu betrügen, die zwar schon sehr klein war, wurde beynahe gleich Null, nachdem er in den Elementen des im Jahre 1531. beobachteten Kometen ungefähr die Elemente von diesem erkannt hatte; und für uns, die wir

den Kometen, im Jahre 1759. wieder gesehen haben, ist sie vollends verschwunden.

Aber mit dem Kometen von 1532. verhält es sich nicht so. Seine Elemente sind nach Apians und Fracastors Beobachtungen bestimmt worden, welche so wenig genau sind, daß sie eine Ungewißheit von 41° über die Lage des Knoten, von 10° über die Neigung, von 22° über die Lage der Sonnennähe, und von $0,17$ über den Abstand in der Sonnennähe zurücklassen.

Man muß folglich den Bruch $\frac{1}{3 \cdot (10)^8}$ durch das Product $41 \cdot 10 \cdot 22 \cdot 17$. multipliciren, welches ihn auf $0,000517$ bringt. Gesetzt also, daß es noch tausend sichtbare und noch nicht beobachtete Kometen gebe, was nicht unwahrscheinlich ist, so würde die Wahrscheinlichkeit, daß die zwey Kometen von 1532 und 1661. der nämliche seyen, ungefähr $\frac{2}{3}$ seyn, welche viel zu klein ist, um die Identität zweyer Kometen auszusagen. Man darf sich also nicht darüber wundern, daß dieser Komet in diesen letzten Jahren nicht wieder erschienen ist.

Der neblichte Schein, womit die Kometen fast immer umgeben sind, scheint von

Dünsten zu entstehen, welche die Sonnenhitze von ihrer Oberfläche erhebt. In der That begreift man leicht, daß die große Hitze, die sie gegen ihre Sonnennähe erfahren, die Materien verdünnen muß, welche die ausnehmende Kälte, die sie in ihren Sonnenfernen litten, in den festen Zustand versetzte. Auch scheint es, daß die Schweife der Kometen nichts anders als diese Dünste seyen, welche durch diese Verdünnung, verbunden entweder mit dem Stoffe der Sonnenstrahlen, oder mit der Auflösung dieser Dünste in derjenigen Flüssigkeit, welche uns das Zodiaklicht zusendet, auf sehr große Höhen erhoben worden. Dieß scheint aus der Richtung dieser Schweife zu folgen, welche, in Ansehung der Sonne, immer hinter den Kometen liegen, und nicht eher als in der Gegend der Sonnennähe sichtbar werden, und nicht eher ihr Maximum erreichen, als nach dem Durchgange durch diesen Punkt, wenn die den Kometen durch die Sonne mitgetheilte Hitze durch ihre Dauer und durch die Nähe dieses Gestirns angewachsen ist.

Siebentes Kapitel.

Von den Bewegungsgesetzen der Trabanten um ihre Planeten.

Wir haben im sechsten Kapitel des vorigen Buchs die Bewegungsgesetze des Trabanten der Erde, und seine beträchtlichsten Ungleichheiten erklärt, und haben also jetzt nur noch die der Trabanten des Jupiters, Saturns und Uranus zu betrachten.

Wenn man den Halbmesser des Aequators des Jupiters bey der mittlern Entfernung des Planeten von der Sonne $60''185$ gleich setzt, und für die Einheit annimmt, so sind die mittlern Entfernungen seiner Trabanten von seinem Mittelpunkte sehr nahe folgende:

I. Trabant	- -	5,697300
II Trabant	- -	9,065898
III. Trabant	- -	14,461628
IV. Trabant	- -	25,436000

Ihre siderischen Umlaufszeiten sind folgende:

I. Trabant	-	1,769137787069931	Tag
II. Trabant	-	3,551181016734509	
III. Trabant	-	7,154552807541524	
IV. Trabant	-	16,689019396008634.	

Die synodischen Umlaufzeiten der Trabanten oder die Zeiten zwischen ihren mittlern Conjunctionen mit dem Jupiter, lassen sich aus ihren und des Jupiters siderischen Umlaufzeiten leicht herleiten.

Im Anfange des Jahrs 1700. waren die mittlern Längen der Trabanten folgende:

I. Trabant	- -	85°, 8491.
II. Trabant	- -	83, 5827.
III. Trabant	- -	182, 4495.
IV. Trabant	- -	253, 1545.

Vergleicht man die Entfernungen der vier Jupiterstrabanten mit ihren Umlaufzeiten, so findet man zwischen diesen Gröſsen das schöne Verhältniß, von welchem wir gesehen haben, daß es zwischen den mittlern Entfernungen der Planeten von der Sonne und ihren Umlaufzeiten Statt habe; das heißt, daß die *Quadrate der siderischen Umlaufzeiten der Trabanten sich zusammen verhalten, wie die Würfel ihrer mittlern Entfernungen von Jupiters Mittelpunkte.*

Die häufigen Verfinsterungen dieser Trabanten haben den Astronomen ein Mittel an die Hand gegeben, die Bewegungen derselben mit einer Genauigkeit zu verfolgen, die

man von der Beobachtung ihrer Entfernung vom Jupiter nicht erwarten kann. Sie haben zu folgenden Resultaten geführt.

Die Bahn des ersten Trabanten ist nicht merklich elliptisch; ihre Ebene fällt sehr nahe mit der des Aequators des Jupiters zusammen. Deren Neigung gegen die Bahn dieses Planeten $4^{\circ},4444$ beträgt.

Auch die Bahn des zweyten Trabanten ist nicht merklich elliptisch. Ihre Neigung gegen die Bahn des Jupiters ist veränderlich, so wie die Lage ihrer Knoten. Alle diese Veränderungen werden beyläufig dargestellt, wenn man setzt, die Bahn des Trabanten sey gegen Jupiters Aequator ohngefähr um $5182''$ geneigt, und ihren Knoten eine rückläufige Bewegung in dieser Ebene giebt, deren Perioden dreyßig julianischen Jahren gleich ist.

Die Bahn des dritten Trabanten ist etwas elliptisch; das dem Jupiter am nächsten liegende Ende ihrer großen Achse, welches man das *Perijovium* (die *Jupitersnähe*) nennt, hat eine rechtläufige Bewegung und die Excentricität der Bahn scheint sehr merklichen Veränderungen unterworfen zu seyn. Gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts war die Mittelpunktsleichung in ihrem Maxi-

mun, wo sie sich ohngefähr auf 2661" erstreckte; nachher hat sie abgenommen, und gegen das Ende des Jahrs 1775 war sie in ihrem Minimum und betrug ohngefähr 759". Die Neigung der Bahn dieses Trabanten gegen die des Jupiters und die Lage ihrer Knoten sind veränderlich. Diese Veränderungen lassen sich beyläufig darstellen, wenn man annimmt, die Bahn sey ohngefähr um 2244" gegen Jupiters Aequator geneigt, und ihren Knoten eine rückläufige Bewegung in der Ebene dieses Aequators, in einer Periode von 137 Jahren, giebt.

Die Bahn des vierten Trabanten ist sehr merklich elliptisch; ihr Perijovium hat eine rechtläufige Bewegung von ohngefähr 7852", und ihre Neigung gegen die Jupitersbahn beträgt 272'. Vermöge dieser Neigung tritt der vierte Trabant, in Ansehung der Sonne, oft hinter den Planeten, ohne verfinstert zu werden. Von der Entdeckung der Trabanten an bis auf das Jahr 1760 schien diese Neigung beständig zu seyn; sie hat aber in diesen letzten Jahren merklich zugenommen. Auf alle diese Veränderungen werden wir wieder zurückkommen, wenn wir die Ursache davon enthüllen werden.

Die Bewegungen der Jupiterstrabanten sind noch andern, von diesen Veränderungen unabhängigen Ungleichheiten unterworfen, welche ihre elliptischen Bewegungen stören, und ihre Theorie sehr verwickelt machen. Diese sind besonders merklich bey den drey ersten Trabanten, deren Bewegungen sehr merkwürdige Verhältnisse zeigen.

Ihre mittleren Bewegungen sind so beschaffen, daß die des ersten Trabanten, sammt dem Doppelten von der des dritten dem Dreyfachen von der mittleren Bewegung des zweyten Trabanten sehr nahe gleich ist. Das nämliche Verhältniß hat auch zwischen den mittleren synodischen Bewegungen Statt. Denn da die synodische Bewegung nichts anders ist, als der Ueberschuß der siderischen Bewegung eines Trabanten über die des Jupiters, so verschwindet, wenn man in dem vorigen Ausdrucke die synodischen Bewegungen an die Stelle der mittleren setzt, die mittlere Bewegung Jupiters, und die Gleichheit bleibt die nämliche.

Die mittleren, sowohl synodischen als siderischen Längen der drey ersten Trabanten aus Jupiters Mittelpunkte gesehen, sind so beschaffen, daß der Ueberschuß von der des

ersten Trabanten über das Dreyfache von der des zweyten sammt dem Doppelten von der des dritten der halben Peripherie sehr nahe gleich ist.

Diese Gleichheit trifft so nahe zu, daß man versucht worden ist, sie für völlig genau anzusehen, und die sehr kleinen Größen, um welche die beyden Theile von einander unterschieden sind, Beobachtungsfehlern zuzuschreiben.

Zum wenigsten kann man versichern, daß sie noch eine lange Reihe von Jahrhunderten hindurch bestehen wird; daraus aber folgt, daß von jetzt an auf eine große Zahl von Jahren hin die drey ersten Jupitertrabanten nicht zugleich verfinstert werden können.

Die Perioden und die Gesetze der vornehmsten Ungleichheiten dieser Trabanten sind die nämlichen. Die Ungleichheit des ersten beschleunigt oder verspätet seine Verfinsterungen, in ihrem Maximum, um 233" in Zeit.

Durch Vergleichung ihres Gangs mit den Stellungen der zwey ersten Trabanten gegen einander hat man gefunden, daß sie verschwindet, wenn diese Trabanten, von

Jupiters Mittelpunkte aus gesehen, zu gleicher Zeit in Opposition mit der Sonne stehen; daß sie nachher wächst, und am größten wird, wenn der erste Trabant im Augenblicke seiner Opposition um 50° weiter vorgerückt ist, als der zweyte; daß sie wieder gleich Null wird, wenn er um 100° weiter vorgerückt ist; daß sie jenseits dieser Gränzen ein entgegengesetztes Zeichen annimmt, die Verfinsterungen verspätet, und wächst, bis die Entfernung der Trabanten 150° beträgt, wo sie ihr negatives Maximum erreicht; daß sie von da an wieder abnimmt, und bey der Entfernung von 200° verschwindet; daß sie endlich in der zweyten Hälfte der Peripherie den nämlichen Gesetzen, wie in der ersten, folgt.

Daraus hat man geschlossen, daß bey der Bewegung des ersten Trabanten um den Jupiter eine Ungleichheit Statt habe, die in ihrem Maximum $5258''$ beträgt, und dem Sinus des doppelten Ueberschusses der mittleren Länge des ersten Trabanten über die des zweyten proportionirt ist, welcher Ueberschuss dem Unterschiedé der mittleren synodischen Längen der beyden Trabanten gleich ist. Die Periode dieser Ungleichheit beträgt nicht ganz 4 Tage. Wie es aber

komme, daß sie, bey den Verfinsterungen des ersten Trabanten, sich in eine Periode von 437,75 Tagen verwandle, dieß wollen wir jetzt erklären.

Gesetzt der erste und zweyte Trabant gehen zu gleicher Zeit von ihren mittleren Oppositionen mit der Sonne aus, so wird der erste Trabant bey jedem Kreise, den er vermöge seiner mittleren synodischen Bewegung beschreiben wird, in seiner mittleren Opposition seyn. Gedenkt man sich nun einen erdichteten Stern, dessen Winkelbewegung dem Ueberschusse der mittleren synodischen Bewegung des ersten Trabanten über das Doppelte von der des zweyten gleich ist; so wird der doppelte Unterschied der mittleren synodischen Bewegungen der beyden Trabanten bey den Verfinsterungen des ersten einem Vielfachen der Peripherie, sammt der Bewegung des erdichteten Sterns gleich seyn; der Sinus dieser letzteren Bewegung wird also der Ungleichheit des ersten Trabanten bey den Verfinsterungen proportionirt seyn, und sie darstellen können. Ihre Periode ist der Zeit der Bewegung des erdichteten Sterns gleich, welche, nach den mittleren synodischen Be-

wegungen der beyden Trabanten, 437,75 Tage beträgt; und so ist sie also mit grösserer Genauigkeit, als durch die directe Beobachtung, bestimmt.

Die Ungleichheit des zweyten Trabanten folgt einem ähnlichen Gesetze, wie die des ersten, mit dem Unterschiede, daß sie beständig das entgegengesetzte Zeichen führt. Sie verfrühet oder verspätet die Verfinsterungen, in ihrem Maximum, um 1059" in Zeit. Vergleicht man sie mit den Stellungen der zwey ersten Trabanten gegen einander, so findet man, daß sie verschwindet, wenn beyde zu gleicher Zeit in Opposition mit der Sonne stehen; daß sie nachher die Verfinsterungen des zweyten Trabanten immer mehr und mehr verspätet, bis die beyden Trabanten im Augenblicke dieser Erscheinungen um 100 Grade von einander entfernt sind; daß diese Verspätung abnimmt, und wieder gleich Null wird, wenn die gegenseitige Entfernung der beyden Trabanten 200 Grade beträgt; daß endlich, jenseits dieser Gränze, die Verfinsterungen auf eben die Art verfrühet werden, wie sie vorhin verspätet worden waren. Aus diesen Beobachtungen hat man geschlossen, daß bey

der Bewegung des zweyten Trabanten eine Ungleichheit Statt hat, die, in ihrem Maximum, $11923''$ beträgt, und dem Sinus des Ueberschusses der mittleren Länge des ersten Trabanten über die des zweyten proportionirt ist, aber ein entgegengesetztes Zeichen führt, welcher Ueberschuss dem Unterschiede der mittleren synodischen Bewegungen der beyden Trabanten gleich ist.

Wenn die beyden Trabanten zugleich von ihrer mittleren Opposition mit der Sonne ausgehen, so wird der zweyte Trabant, bey jedem Kreise, den er vermöge seiner mittleren synodischen Bewegung beschreiben wird, in seiner mittleren Opposition seyn. Gedenkt man sich nun, wie zuvor, einen Stern, dessen Winkelbewegung dem Ueberschusse der mittleren synodischen Bewegung des ersten Trabanten über das Doppelte von der des zweyten gleich ist, so wird der Unterschied der synodischen Bewegungen der beyden Trabanten, bey den Verfinsterungen des zweyten, einem Vielfachen der Peripherie sammt der Bewegung des erdichteten Sterns gleich seyn. Die Ungleichheit des zweyten Trabanten wird also bey seinen Verfinsterungen dem Sinus der Bewegung

dieses erdichteten Sterns gleich seyn. Man sieht also den Grund, warum die Periode und das Gesetz dieser Ungleichheit die nämlichen sind, wie bey der Ungleichheit des ersten Trabanten.

Der Einfluß des ersten Trabanten auf die Ungleichheit des zweyten ist sehr wahrscheinlich; wenn aber der dritte Trabant in der Bewegung des zweyten eine Ungleichheit hervorbringt, die derjenigen ähnlich ist, welche der zweyte in der Bewegung des ersten zu verursachen scheint, das heißt, eine solche, die dem Sinus des doppelten Unterschieds der mittleren Längen des zweyten und dritten Trabanten proportionirt ist, so wird diese neue Ungleichheit mit derjenigen, welche man dem ersten Trabanten zuzuschreiben hat, sich vermischen. Denn vermöge des oben erläuterten Verhältnisses, welches die mittleren Längen der drey ersten Trabanten zu einander haben, ist der Unterschied der mittleren Längen der zwey ersten Trabanten gleich der halben Peripherie sammt dem doppelten Unterschiede der mittleren Längen des zweyten und dritten Trabanten, so daß der Sinus des ersten Unterschieds mit dem Sinus von dem Doppel-

ten

ten des zweyten Unterschieds einerley ist, aber mit einem entgegengesetzten Zeichen. Die durch den dritten Trabanten in der Bewegung des zweyten verursachte Ungleichheit hätte also das nämliche Zeichen, und folgte dem nämlichen Gesetze, wie die bey dieser Bewegung beobachtete Ungleichheit; es ist daher sehr wahrscheinlich, daß diese Ungleichheit das Resultat der zwey von dem ersten und dritten Trabanten abhängenden Ungleichheiten ist. Wenn, nach Verlauf von Jahrhunderten, das vorige Verhältniß zwischen den mittleren Längen dieser drey Trabanten Statt zu finden aufhörte, so würden die beyden jetzt vermischten Ungleichheiten sich von einander absondern, und man würde ihren respectiven Werth entdecken können. Aber, nach den Beobachtungen muß dieses Verhältniß sehr lange Zeit bestehen, und wir werden im vierten Buche sehen, daß es genau ist.

Endlich zeigt die Ungleichheit in Ansehung des dritten Trabanten bey seinen Verfinsterungen, verglichen mit den gegenseitigen Stellungen des zweyten und dritten, die nämlichen Verhältnisse, wie die Ungleichheit des zweyten, verglichen mit den gegenseitigen

gen Stellungen der zwey ersten Trabanten. Es findet sich also bey der Bewegung des dritten Trabanten eine Ungleichheit, die dem Sinus des Ueberschusses der mittleren Länge des zweyten Trabanten über die des dritten proportionirt ist; und in ihrem Maximum 827" beträgt. Wenn man sich nun einen Stern gedenkt, dessen Winkelbewegung dem Ueberschusse der mittleren synodischen Bewegung des zweyten Trabanten über das Doppelte der mittleren synodischen Bewegung des dritten gleich ist, so wird die Ungleichheit des dritten Trabanten, bey seinen Verfinsterungen, dem Sinus der Bewegung dieses erdichteten Sterns proportionirt seyn. Nun ist, vermöge des Verhältnisses, welches zwischen den mittleren Längen der drey Trabanten Statt hat, der Sinus dieser Bewegung, bis auf das Zeichen, einerley mit dem der Bewegung des ersten erdichteten Sterns, den wir vorhin betrachtet haben. Die Ungleichheit des dritten Trabanten bey seinen Verfinsterungen hält also die nämliche Periode und folgt den nämlichen Gesetzen, wie die Ungleichheiten der beyden ersten.

Dieß ist der Gang der vornehmsten Ungleichheiten der drey ersten Jupiterstraban-

ten. Ihre Uebereinstimmung und die der mittleren Bewegungen und der mittleren Längen scheinen ein besonderes System dieser drey von gemeinschaftlichen Kräften belebten, und durch gemeinschaftliche Verhältnisse zusammen verbundenen Körper auszumachen.

Wir wollen jetzt die Saturnstrabanten betrachten. Wenn man den Halbmesser dieses Planeten in seiner mittleren Entfernung von der Sonne für die Einheit annimmt, so sind die Entfernungen der Trabanten von seinem Mittelpunkte folgende:

I.	-	-	3,080
II.	-	-	3,952
III.	-	-	4,893
IV.	-	-	6,268
V.	-	-	8,754
VI.	-	-	20,295
VII.	-	-	59,154

Ihre siderischen Umlaufzeiten sind

I.	-	-	0,94271 Tage
II.	-	-	1,37024
III.	-	-	1,88780
IV.	-	-	2,73948
			R s

V.	-	-	4,51749 Tage.
VI.	-	-	15,9453
VII.	-	-	79,3296

Vergleicht man die Umlaufszeiten dieser Trabanten mit ihren mittleren Entfernungen von Saturns Mittelpunkte, so findet man auch hier wieder das schöne, in Absicht auf die Planeten von Keplern entdeckte, Verhältniß, von welchem wir gesehen haben, daß es in dem Systeme der Jupiters Trabanten Statt habe; das heißt, daß die *Quadrate der Umlaufszeiten der Saturnstrabanten sich zusammen verhalten wie die Würfel ihrer mittleren Entfernungen von dem Mittelpunkte dieses Planeten.*

Die große Entfernung der Saturnstrabanten, und die Schwierigkeit, ihren Stand zu beobachten, hat es nicht verstattet, die elliptische Gestalt ihrer Bahnen, und noch weniger, die Ungleichheiten zu erkennen, denen ihre Bewegungen unterworfen sind. Indessen ist die Bahn des sechsten Trabanten merklich elliptisch.

Setzt man den Durchmesser des Uranus in seiner mittleren Entfernung von der Sonne 6" gleich, und nimmt solchen für die Ein-

heit an, so sind die Entfernungen seiner Trabanten von seinem Mittelpunkte

I.	-	-	17,022
II.	-	-	22,752

Ihre siderischen Umlaufszeiten sind

I.	-	-	8,7068 Tage.
II.	-	-	13,4559

Vergleicht man diese Zeiten und diese Entfernungen mit einander, so sieht man, daß die *Quadrate der Umlaufszeiten dieser Trabanten sich wie die Würfel ihrer mittleren Entfernungen vom Mittelpunkte dieses Planeten verhalten.* Dieses Verhältniß ist folglich ein allgemeines Bewegungsgesetz für ein System von Körpern, die um einen gemeinschaftlichen Brennpunkt laufen.

Welches sind nun die vornehmsten Kräfte, welche die Planeten, Trabanten und Kometen in ihren respektiven Bahnen erhalten? Welche besonderen Kräfte stören ihre elliptischen Bewegungen? Welche Ursache bewirkt das Zurückgehen der Nachtgleichen, und die Bewegungen der Achse der Erde und des Mondes? Durch welche Kräfte wird endlich das Wasser des Meeres täglich zweymal in die Höhe gezogen? Die Voraussetzung

eines einzigen Grundsatzes, wovon alle diese Wirkungen abhängen, ist der Einfachheit und Majestät der Natur würdig. Die Allgemeinheit der Gesetze, welche die himmlischen Bewegungen zeigen, scheint auf das Daseyn eines solchen Anzeige zu thun; ja man sieht diesen Grundsatz selbst schon in den Verhältnissen dieser Erscheinungen zu der gegenseitigen Lage der Körper des Sonnensystems durchschimmern. Um ihn aber mit Evidenz daraus herzuleiten, muß man die Bewegungsgesetze der Materie kennen.
