

Ueber

die Reformation der theoretischen
Astronomie durch Keppler.

Von

PROF. DR. JOHANN FRISCHAUF.

Vortrag, gehalten am 2. April 1869.

Die Entdeckung der wahren Gesetze der Planetenbewegung durch Keppler bildet unstreitig die ruhmvollste Epoche der Geschichte der theoretischen Astronomie. Indem ich es versuche, der geehrten Gesellschaft eine Darstellung der Geschichte dieser Entdeckung zu geben, bin ich gezwungen den Standpunkt der theoretischen Astronomie vor Keppler zu schildern, für welche Schilderung es sogar nothwendig ist bis zu den Uranfängen einer theoretischen Astronomie zurückzugehen. Schon in frühester Zeit hatte man den Unterschied zwischen Fixsternen und Planeten erkannt; Fixsterne nannte man diejenigen Himmelskörper, welche ihre Stellung am Himmel nicht verändern, während man Planeten, d. i. irrende Sterne, diejenigen Himmelskörper nannte, welche ihren Ort am Himmel verändern. Solche Planeten kannte man im Alterthume sieben: Sonne, Mond, Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn.

Man kann die Lage eines Himmelskörpers in ganz ähnlicher Weise an der Himmelskugel bestimmen, wie man die Lage eines Ortes auf der Erde durch dessen

geographische Länge und Breite bestimmt. Für die Planeten bezieht man deren Lage gewöhnlich auf die scheinbare Bahn, welche die Sonne in einem Jahre auf der Himmelsoberfläche beschreibt, d. i. auf die Ecliptik; man zieht nämlich von dem Gestirne einen senkrechten Bogen auf die Ecliptik, und nennt den Abstand des Fusspunktes dieses Bogens von dem Frühlingspunkte die Länge und das Stück des senkrechten Bogens die Breite des Gestirns. Für die Planeten sind die Breiten meist sehr klein, nur wenige Grade betragend.

Bestimmt man nun durch eine fortgesetzte Reihe von Beobachtungen die Orte eines Planeten, so kann man durch Verbindung derselben ein Bild seines Laufes am Himmel erhalten; man hat schon sehr frühzeitig gefunden, dass sowohl dieser Lauf ein ziemlich complicirter ist als auch die einzelnen Vorgänge dieser Bewegung höchst verwickelter Natur sind. Es ist nun die Aufgabe der theoretischen Astronomie diese Erscheinungen zu erklären, die Gesetze zu finden, nach welchen man den Ort eines Planeten berechnen kann. Um die Erscheinungen der Bewegungen der Himmelskörper zu erklären, nahm man im Alterthume zur sogenannten Sphärentheorie seine Zuflucht. Nach den Grundsätzen der griechischen Naturphilosophie galt die Kugel als der vollendetste Körper, die Kreislinie als die vollendetste Linie. Man dachte sich daher die Welt als Kugel, in deren Mittelpunkt sich die ruhende Erde befindet. Diese Weltsphäre dachte

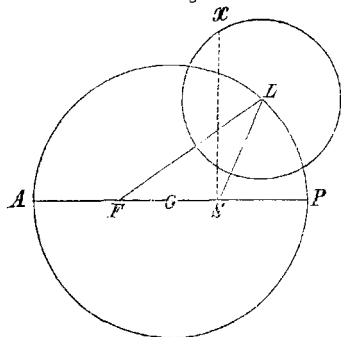
man sich in neun concentrische Sphären getheilt, in deren ersten sieben (vom Centrum gerechnet) sich die Planeten befanden, in der Oberfläche der achten waren die Fixsterne; die neunte, von welcher alle Bewegungen ausgingen, hiess *primum mobile*. Durch die Bewegungen dieser Sphären dachte man den damals sehr rohen Beobachtungen zu genügen.

Die erste strenge Theorie, welche sich beinahe vierzehn Jahrhunderte erhielt, wurde von dem berühmten alexandrinischen Astronomen Claudius Ptolemäus ungefähr um das Jahr 150 unserer Zeitrechnung aufgestellt. Zwei Hilfsmittel waren es, deren sich Ptolemäus zur Erklärung der Planetenbewegung bediente: der excentrische Kreis und der Epicykel; mit beiden Hilfsmitteln wurde die sogenannte erste und zweite Ungleichheit soweit erklärt, dass den damals auf höchstens 10 Minuten genauen Beobachtungen genügt wurde. Die Beobachtungen hatten nämlich gezeigt, dass die Unregelmässigkeiten der Planetenbewegung zweierlei Natur waren, welche man mit dem Namen der ersten und zweiten Ungleichheit bezeichnete. Um kurz den Unterschied derselben anzugeben, so sei folgendes erwähnt: Die erste Ungleichheit hat ihren Grund darin, dass die Bewegung der Planeten nicht in Kreisen, sondern in Ellipsen geschieht, in deren gemeinsamen Brennpunkte sich der Mittelpunkt der Sonne befindet. Die zweite Ungleichheit ist begründet in der Veränderung des Beobachtungsortes durch die Bewegung der Erde um die Sonne. Diese jetzt

als scheinbar erkannten Veränderungen des Planeten-Ortes, welche durch die Bewegung der Erde entstehen, bildeten die zweite Ungleichheit.

Da die Theorie des excentrischen Kreises und des Epicykels für das Verständniss der reformatorischen Thätigkeit Keppler's nothwendig sind, so möge

Fig. 1.



hier eine kurze Darstellung dieser Hülfsmittel gegeben werden.

Es sei (Fig. 1) O der Mittelpunkt des excentrischen Kreises, S der Mittelpunkt der Welt, im Umfange des excentrischen Kreises bewege sich ein Punkt L derart, dass die von dem Punkte F nach L gezogenen Geraden

in gleichen Zeiten gleichen Winkel beschreiben. Der Punkt F wird in dem durch die beiden Punkte S und O bestimmten Durchmesser der Apsidenlinie angenommen. Für die Sonne fällt F mit O zusammen einfache Excentricität; für die Planeten mit Ausnahme Merkurs setzt Ptolemäus den Punkt F in denselben Abstand von O, in welchem sich S von O befindet; so dass $FO = OS$ ist, gleiche Theilung der Excentricität.

Um den Punkt L als Mittelpunkt bewegte sich der Planet X in einem zweiten Kreise, welcher der Epicykel hiess. Durch die Bewegung des Punktes L in einem excentrischen Kreise wurde die erste Ungleichheit und durch die Bewegung des Planeten in dem Epicykel, dessen Mittelpunkt der Punkt L ist, die zweite Ungleichheit erklärt. Allerdings kann man die Frage aufwerfen, wie verträgt sich diese epicyklische Theorie mit der Annahme der festen Sphären? Darum hatten sich die alexandrinier Astronomen wenig gekümmert, ihnen war es nur darum zu thun, den Ort eines Planeten berechnen zu können; erst durch Peurbach, dem Vater der abendländischen Astronomie, wurde diese Aufgabe dadurch gelöst, dass er den Sphären eine solche Dicke gab, dass der excentrische Kreis sammt dem Epicykel zwischen der äusseren und inneren Oberfläche Raum hatte.

Erst mit dem Ende des Mittelalters trat eine grosse Revolution auf dem Gebiete der Sternkunde durch Nicolaus Kopernikus ein. Kopernikus fand, dass die Erklärung der Bewegungen der Planeten sehr vereinfacht werde durch die Voraussetzung der Bewegung der Erde.

Kopernikus gab der Erde eine Axendrehung und liess sie sammt den Planeten sich um die Sonne bewegen. Durch 23 Jahre war Kopernikus mit der Ausbildung seines Systems und der darauf gegründeten Planetentheorie beschäftigt, welche Lehren in dem Werke *de revolutionibus orbium coelestium* 1543 be-

kannt gemacht wurden. Der unmittelbare Gewinn, den die berechnende Astronomie dadurch erfuhr, war jedoch gering; denn die Basis dieser Theorie waren die von Ptolemäus angegebenen Beobachtungen, einige Beobachtungen von Kopernikus selbst, und drei Beobachtungen Merkurs von dem nürnbergischen Astronomen Bernhard Walther, dem Nachfolger des Regiomontanus. Die von Erasmus Reinhold nach diesen Theorien berechneten sogenannten prutenischen Tafeln wichen von dem beobachteten Orte zu Keplers Zeiten um einige Grade ab, so dass sich die Richtigkeit der kopernikanischen Ansicht dadurch nicht prüfen liess, und das Ansehen des Ptolemäus bei der damaligen Unduldsamkeit der religiösen Parteien, namentlich der protestantischen Theologen fast gar nicht erschüttert wurde. Ausserdem machte das Verständniss des kopernikanischen Werkes den Zeitgenossen bedeutende Schwierigkeiten; denn früher hatte man vorausgesetzt, dass jede beobachtete Bewegung eines Körpers demselben auch wirklich zukomme, während Kopernikus die Stillstände und rückläufigen Bewegungen, die man an den Planeten beobachtet, für Schein erklärte, entstanden durch die Bewegungen der Erde. Man warf dem neuen System vor, dass es die Begriffe von Ruhe und Bewegung verwirre, von welchem Vorwurfe es erst durch Galilei, indem derselbe den Begriff der relativen Bewegung in die Mechanik einführte, gereinigt wurde. Durch Galilei und Kepler wurde das kopernikanische System zum herrschenden gemacht;

das Verdienst gebührt beiden Männern, jedoch mit dem Unterschiede, dass sich Galilei mit dem Grunde der Erklärung der zweiten Ungleichheit beschäftigte, während Keppler durch die Entdeckung der wahren Gesetze der Planetenbewegung zur vollständigen Erklärung der ersten Ungleichheit gelangte.

Johann Keppler, zu dem wir jetzt angelangt sind, war im Jahre 1571 zu Weil im Würtembergischen geboren. Sein Vater war ein fahrender Kriegsmann, der im Kampfe gegen die Türken fiel. Keppler, zur Theologie bestimmt, kam mit 15 Jahren in die Klosterschule zu Maulbronn und mit 18 Jahren in das theologische Stift zu Tübingen. Dasselbst lehrte damals Mästlin Mathematik und Astronomie, letztere Wissenschaft nach Ptolemäus; denn das kopernikanische System war verboten. Mästlin war jedoch ein Anhänger des Kopernikus, und es scheint, dass er in demselben die besseren Schüler heimlich unterrichtete; denn Keppler wurde unter Mästlins Leitung ein überzeugter Kopernikaner.

Als Keppler seine Studien gerade vollendet hatte, kam ein Gesuch der steirischen Stände nach Tübingen um einen Lehrer der Mathematik und Moral für das protestantische Gymnasium in Graz. Die tübingen Theologen, um des ihnen unangenehmen Kopernikaners los zu werden, empfahlen Keppler für diese Stelle. Von dieser Zeit an beginnt die reformatorische Thätigkeit Kepplers in der Astronomie, zu welcher er durch seine bewunderungswürdige, ja fast divinatorische Erfindungs-

gabe vereint mit eisernem Fleisse und zäher Beharrlichkeit ganz geschaffen war. Dabei besass Keppler eine unbegrenzte Vorliebe für alles Geheimnissvolle und Wunderbare, in seiner Weltanschauung verband er die pythagoräischen Vorstellungen mit den christlich theologischen Ideen seiner Zeit. Gerade aus dem mystischen Theile seiner Arbeiten lässt sich die Grösse dieses Mannes erst vollständig würdigen, in diesem findet man die Grundgedanken, die ihm in seinen Untersuchungen den leitenden Faden lieferten, denn im Interesse und bei dem Versuche der Begründung seiner kosmischen Ideen entdeckte er seine drei Gesetze.

Keppler suchte zuerst ein Gesetz zwischen den nach der kopernikanischen Theorie gegebenen Distanzen der Planeten von der Sonne, jedoch ohne Erfolg, selbst durch die Einschaltung eines neuen Planeten Mars und Jupiter, und eines zweiten zwischen Merkur und Venus konnte er kein Gesetz der Abstände finden. Keppler suchte sich daher auf geometrischem Wege zu helfen. Die geometrischen Verhältnisse sind ewig mit Gott. Das Vollendetste in der Geometrie ist die Kugel, bei der Erschaffung der Welt wurde zuerst die Alles umfassende Fixsternsphäre gebildet. Das vollendetste nach der Kugel sind die fünf regulären Körper. Das Planetensystem der Sonne ist nach der Idee der fünf regulären Körper gebildet. Die Zahl der Planeten, ihre Entfernungen von der Sonne und ihre Bewegungen sind der Natur dieser fünf Körper angepasst. Dieser Grundgedanke wird in dem Geheim-

niss des Weltbaues, dem ersten Hauptwerke Keplers, welches 1596 zu Tübingen erschien, auf folgende Art durchgeführt: Jedem regulären Körper lässt sich eine Kugelfläche ein- und umschreiben. Die sechs Planetensphären bilden fünf Zwischenräume, zwischen welchen man die fünf regulären Körper einschaltet. Der gemeinsame Mittelpunkt der Sphären und der regulären Körper ist die Sonne. Zwischen Sphären Saturns und Jupiters ist der Würfel derartig eingeschaltet, dass die Saturnsphäre dem Würfel umgeschrieben, die Jupitersphäre dem Würfel einbeschrieben ist, u. s. w., so dass die Aufeinanderfolge ist:

Saturn, Würfel, Jupiter, Tetraeder, Mars, Dodekaeder, Erde, Icosaeder, Venus, Octaeder, Merkur.

Wegen der Excentricität der Bahnen gab Kepler den Sphären eine solche Dicke, als der Unterschied der grössten und kleinsten Entfernungen erfordert.

Die Zahlen, welche Kepler nach der Rechnung der regulären Körper und nach den Angaben des Kopernikus erhielt, stimmten mit einander ziemlich gut überein; nur bei Jupiter war eine etwas grössere Abweichung. Kepler erklärte diese Abweichungen als Folgen der ungenauen Theorie, namentlich der nicht sicher bestimmten Excentricitäten; ja er hatte die sichere Ueberzeugung, dass seine Theorie mit den richtig bestimmten Excentricitäten und Distanzen übereinstimmen werde.

Es war daher die Aufgabe genauere Werthe für die Entfernungen der Himmelskörper und für die

Excentricitäten zu erhalten. Dazu waren genauere Beobachtungen nöthig als die, auf welche Kopernikus seine Theorie gegründet hatte. Solche Beobachtungen erhielt Kepler durch den dänischen Astronomen Tycho de Brahe.

Tycho hatte bereits vor Kepler eine Reformation der Astronomie auf Grundlage sorgfältiger Beobachtungen versucht, und zu diesem Zwecke auf seiner Uranienburg auf der Insel Hveen einen wahren Schatz von Beobachtungen innerhalb eines Zeitraumes von 21 Jahren gesammelt.

Nach dem Tode des Königs Friedrich II. seines Gönners vertrieben, folgte Tycho einem Rufe des Kaisers Rudolf II. nach Prag, welches nun der Sitz der Astronomie wurde. Hier sollten vor allem aus den Beobachtungen neue astronomische Tafeln gerechnet werden, zu welcher Arbeit alle astronomischen Kräfte aufgeboten wurden. Kepler, welcher durch sein Geheimniss des Weltbaues schon die Aufmerksamkeit auf sich gezogen hatte, wurde natürlich auch zu dieser Arbeit eingeladen. Kepler, ohnediess durch die Religionsverfolgung bedrängt, kam im Jahre 1600 nach Prag. Hier war Tycho bereits mit Hilfe seines Schülers Longomontanus mit der Theorie der Sonne und des Mondes beschäftigt, und man machte sich eben an die Bearbeitung der Planeten, als Tycho 1601 plötzlich starb. Kepler wurde nun der Leiter der kais. Sternwarte, ihm fiel die ganze astronomische Erbschaft zu, 24 geschriebene Folianten. Da Longo-

montanus gerade mit der Reduction der Beobachtungen des Planeten Mars beschäftigt war, so begann Kepler seine Untersuchungen mit diesem Planeten. Der Planet Mars ist ganz geeignet, die Grundlagen einer neuen Planetentheorie zu liefern: die bedeutende Excentricität = $\frac{1}{11}$, die bedeutende Annäherung an

die Erde zur Zeit der Opposition. Die Beobachtungen dieses Planeten von Tycho umfassten einen Zeitraum von 16 Jahren, waren auf dem ganzen Umfange der Marsbahn gleichförmig vertheilt und dabei von bedeutender Genauigkeit, auf höchstens 2' unsicher.

Die Untersuchungen Keplers über den Lauf des Planeten Mars, die er in dem Werke *Astronomia nova* 1609, Pragae, veröffentlichte, welche die Entdeckung der wahren Gesetze der Planetenbewegung zur Folge hatten, lassen sich in drei Abtheilungen bringen. In der ersten Abtheilung folgte er noch den Ideen des Ptolemäus, Kopernikus und Tycho, in der zweiten Abtheilung beschäftigte er sich mit der Bestimmung der Erdbahn, die dritte Abtheilung hat die Entdeckung der wahren Figur der Marsbahn zum Resultate. Kepler bestimmte zunächst die Lage der Marsbahn. Ist die Breite des Planeten gleich Null, so befindet sich derselbe in der Ebene der Erdbahn, d. i. in einem Knoten. Durch Untersuchung der Knoten fand Kepler, dass die Knotenlinie, d. i. die Durchschnittsline der Ebene der Planetenbahn mit

der Ebene der Erdbahn eine bestimmte Lage habe und durch den wahren Ort der Sonne gehe.

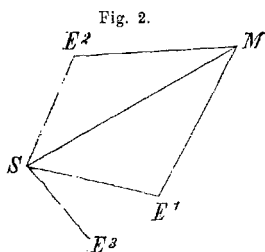
Die Neigung der Bahn bestimmte Kepler am directesten dadurch, dass er die Breite des Mars zu der Zeit suchte, wenn sich die Erde im Knoten des Mars befand, und der Längenunterschied von Sonne und Mars 90^0 betrug. Die beobachtete Breite ist in diesem Falle gleich der Neigung der Marsbahn. Auf diese Art und durch andere weniger directe Methoden bestätigend, fand Kepler die Neigung der Marsbahn $= 1^0 50'$. Hierauf suchte Kepler aus vier auf den wahren Ort der Sonne bezogenen Längen des Mars eine Kreisbahn derart zu bestimmen, dass, wenn (Fig. 1) S die Sonne ist, von irgend einem Punkte F der Apsidenlinie die Bewegung gleichförmig erscheint, wobei also das Verhältniss $FO : OS$ anfangs unbestimmt ist. Nach 70 Versuchen fand Kepler eine solche Kreisbahn; dabei war $AO = OP = 1$ gesetzt, $OS = 0.11332$, $FO = 0.07232$, also $FS = 0.18564$, die Hälfte $= 0.09282$.

Kepler nannte diese ungleiche Theilung der Excentricität die stellvertretende Hypothese, dieselbe gab die Längen in der Bahn ziemlich richtig, die Entfernungen des Mars von der Sonne falsch. Kepler versuchte nun die Rechnung nach der ptolemäischen Hypothese mit der gleichen Theilung der Excentricität, und fand in den um $\pm 45^0$ von der Apsidenlinie entfernten Orten einen Fehler von $8'$ bis $9'$, welcher viel zu gross war, um durch die

Ungenauigkeit der tychonischen Beobachtungen erklärt zu werden.

Keppler gab daher diese Untersuchungen auf und folgte von nun an nur mehr seinen eigenen Ideen. Er bestimmte nun zuerst auf neuem Wege mit Hilfe des Planeten Mars die Erdbahn, um dadurch die Beobachtungen der Planeten von der zweiten Ungleichheit befreien zu können.

Es sei (Fig. 2) *M* die Projection des Planeten Mars auf die Ecliptik, für dieselbe Zeit sei die Erde im Punkte *E*₁, *S* sei die Sonne. Nach Ablauf eines siderischen Marsjahres (ungefähr 687 Tage) ist der Planet Mars wieder in *M*, die Erde sei im Punkte *E*₂.



Ist die Lage der Linie *SM* bekannt, so kennt man aus den Beobachtungen die Winkel der Dreiecke *SME*₁ und *SME*₂, also die Verhältnisse

$$\frac{SE_1}{SM}, \quad \frac{SE_2}{SM}$$

Befindet sich nach Ablauf eines zweiten Marsjahres die Erde im Punkte *E*₃, so kennt man ausserdem noch das Verhältniss

$$\frac{SE_3}{SM}$$

Man kann also die Distanzen *SE*₁, *SE*₂, *SE*₃ in Theilen der Distanz *SM* angeben. Da die Lage die-

ser Geraden ebenfalls gegeben ist, so kennt man dadurch drei Punkte der Erdbahn, nämlich E_1 , E_2 , E_3 . Durch drei Punkte ist ein Kreis, also auch dessen Mittelpunkt O bestimmt. Kepler erhielt für die Entfernung SO in Theilen des Halbmessers der Erdbahn den Werth $= 0.018$, während Tycho unter Voraussetzung der einfachen Excentricität den Werth $= 0.036$ erhalten hatte. Es war also auch für die Erdbahn die gleiche Theilung der Excentricität nachgewiesen.

Für die Bestimmung der Marsbahn nahm nun Kepler zu seinen physischen Ideen über die Ursache der Bewegung der Himmelskörper seine Zuflucht: diese Ursache ist die Sonne, die Zeit, welche der Planet in einem unendlich kleinen Bogen zubringt, ist dem Abstände von der Sonne proportional. Daraus folgt, dass die Zeit, welche der Planet braucht, um einen endlichen Bogen zu durchlaufen, der Summe der Distanzen proportional ist; diese Summe hielt Kepler für die Fläche und erhielt dadurch sein zweites Gesetz: Die von der Sonne nach dem Planeten gezogene Gerade überstreicht der Zeit proportionale Flächen. Das Gesetz ist richtig, die Ableitung jedoch nicht streng. Allein auch mit Hilfe dieses neuen Gesetzes gelang es nicht eine kreisförmige Bahn zu finden, welche den Beobachtungen genüge.

Kepler suchte nun die Figur der Marsbahn aus den Entfernungen des Planeten von der Sonne zu bestimmen. Da die Oppositionen die Entfernungen nicht

sicher bestimmen lassen, so berechnete Kepler ausser den Oppositionen drei Entfernungen, er fand dieselben viel kleiner als die nach der Hypothese der Kreisbahn berechneten und schloss daraus, dass die Marsbahn kein Kreis, sondern eine Art von Ovallinie sei.

Diese Untersuchungen theilte Kepler seinem astronomischen Freunde David Fabricius mit, dieser, verglich die aus der Oval-Hypothese gerechneten Distanzen mit den Beobachtungen und fand sie zu kurz. Fabricius stellte selbst eine Planetentheorie auf, die jedoch von Kepler als unrichtig verworfen wurde. Endlich fand Kepler, dass die Figur der Marsbahn eine Ellipse sei, in deren einem Brennpunkte sich der Mittelpunkt der Sonne befindet, das sogenannte erste keplerische Gesetz, obgleich es später gefunden wurde als das zweite.

Diese beiden Gesetze wandte Kepler auch auf die übrigen Planeten an und bestimmte aus den tychonischen Beobachtungen ihre Bahnen. Es zeigte sich zunächst, dass die Idee der regulären Körper nicht richtig sei.

Ungeachtet Kepler mit Hilfe seiner beiden Gesetze und den bekannten Bahnen den Ort eines Planeten bestimmen konnte*), so war er doch nicht damit zufrieden; im festen Glauben an eine Harmonie des

(* Ueber diese Berechnung vergl. „Theorie der Bewegung der Himmelskörper um die Sonne in elementarer Darstellung von Dr. J. Frischauf.“ Graz, 1868. Art. 2, 3, 4, 11, 12.

Himmels suchte er ein Gesetz zwischen den mittleren Entfernungen der Planeten von der Sonne und deren Umlaufszeiten. Es war eine glückliche Idee, die ihn leitete, die verschiedenen Potenzen dieser Zahlen zu vergleichen; nach vielen vergeblichen Versuchen fand er, dass sich die Quadrate der Umlaufszeiten wie die Würfel der mittleren Entfernungen der Planeten von der Sonne verhalten, drittes keplerisches Gesetz (*Harmonices mundi*. Lincii, 1619).

Mit den drei keplerischen Gesetzen war Alles gethan, was die Geometrie für die Astronomie leisten konnte; ein neuer Fortschritt in der Planetentheorie konnte nur von der Mechanik ausgehen. Huygens wandte zuerst diese Wissenschaft auf die Sternkunde an und entdeckte die Gesetze der Centralbewegung; durch Newton's Entdeckung der allgemeinen Gravitation wurde die gemeinsame Quelle der drei keplerischen Gesetze gefunden.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1869

Band/Volume: [9](#)

Autor(en)/Author(s): Frischauf Johannes

Artikel/Article: [Ueber die Reformation der theoretischen Astronomie durch Kepler. 141-158](#)