

BAYERISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN
MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE KLASSE

SITZUNGSBERICHTE

JAHRGANG

1996

MÜNCHEN 1996

VERLAG DER BAYERISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

In Kommission bei der C. H. Beck'schen Verlagsbuchhandlung München

Sechzig Jahre Kepler-Kommission

Erweiterte Fassung eines Berichts an die Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, vorgetragen vom Vorsitzenden der Kepler-Kommission

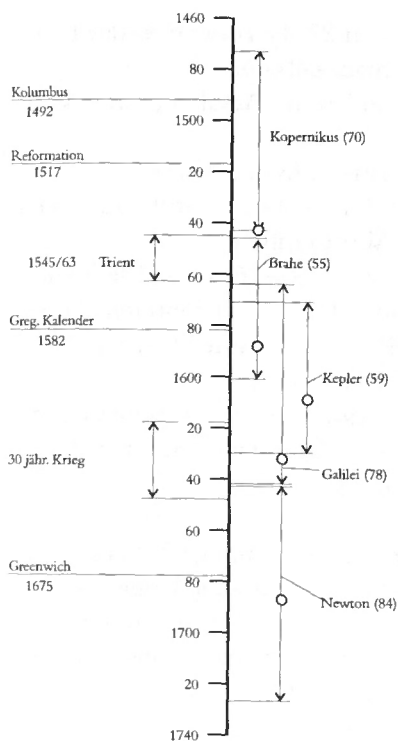
Ulrich Grigull

Sitzung vom 5. Juli 1996

Inhalt

Kepler und seine Zeit	3
Keplers Vita	4
Zur Geschichte der Kepler-Kommission	5
Erscheinungsweise der Bände	10
Verkaufsstatistik	11
Nachkommen Keplers	12
Kepler und die Universitäten	13
Zur Kalenderreform	16
Sonnenflecken, Jupitermonde, Fernrohr	18
„Die Phänomene retten“	22
Bild 1. Planetenbahn nach Ptolemäus	32
Bild 2. Marsbahn nach Art des Ptolemäus (J. Kepler, 1609) ..	33
Bild 3. Marsbahn nach Art des Ptolemäus mit Deferent und Epizykel	34
Bild 4. Zur Ableitung der Kepler-Gleichung	35
Bild 5. Winkelgeschwindigkeit und punctum aeqans	37
Bild 6. Winkelgeschwindigkeit und punctum aeqans	39

Kepler und seine Zeit



Lebensdaten

Claudius Ptolemäus	um 100–180
Nikolaus Kopernikus	1473–1543
Tycho Brahe	1546–1601
Galileo Galilei	1564–1642
Johannes Kepler	1571–1630
Isaac Newton	1643–1727

Opera Magna ○

Ptolemäus	Almagest	um 150
Kopernikus	De Revolutionibus	
	Orbium coelestium	1543
Brahe	De Mundi aetherei	
	recentioribus	
	phaenomenis	1588
Galilei	Dialogo (ital.)	1632
Kepler	Astronomia Nova	1609
Newton	Philosophiae Naturalis	
	Principia Mathematica	1687

Regierungsdaten Deutscher Kaiser zur

Kepler-Zeit

Rudolph II	1576–1612
Matthias	1612–1619
Ferdinand II	1619–1637

Keplers Vita

- 1571 Johannes Kepler wird am 27. Dezember in der Freien Reichsstadt Weil der Stadt geboren
- 1584–1589 Besuch der Klosterschulen in Adelberg und Maulbronn
- 1589–1594 Studium der Mathematik, Physik, Theologie in Tübingen. Aufnahme in das „Tübinger Stift“ als Stipendiat des Herzogs von Württemberg; Lehrer Michael Mästlin (1550–1631) in Mathematik und Astronomie und Matthias Hafenreffer (1561–1619) in Theologie. Promotion zum Magister Artium 1591 als zweiter unter vierzehn
- 1594–1600 Professor für Mathematik an der protestantischen Stiftsschule der steirischen Landstände in Graz
- 1596 *Mysterium Cosmographicum*
- 1597 Heirat mit Barbara Müller
- 1600 Ausweisung aus Graz, Übersiedlung nach Prag
- 1601 Tod Tycho Brahes, in der Teynkirche beigesetzt
- 1601–1612 Aufenthalt in Prag als Nachfolger Tycho Brahes
- 1601–1630 Kepler ist kaiserlicher Mathematiker unter Rudolph II., Matthias und Ferdinand II.
- 1604 *Astronomiae Pars Optica*
- 1609 *Astronomia Nova* (1. und 2. Keplersches Gesetz)
- 1611 Tod Barbara Keplers
- 1612–1628 Mathematiker der Landschaft Österreich ob der Enns (*Austria supra Anisum*) in Linz
- 1613 Heirat mit Susanna Reuttinger
- 1619 *Harmonice Mundi* (3. Keplersches Gesetz)
- 1620–1621 Aufenthalte in Württemberg, um seine Mutter im Hexenprozess zu verteidigen
- 1628 Übersiedlung nach Sagan im Dienste Wallensteins
- 1630 Kepler stirbt in Regensburg am 15. November

Zur Geschichte der Kepler-Kommission

Der Anstoß, die Werke von Johannes Kepler durch eine Kommission der Bayerischen Akademie der Wissenschaften neu herausgeben zu lassen, stammt von dem Münchner Mathematiker *Walther Ritter von Dyck* (1856–1934), Professor an der Technischen Hochschule München und deren Rektor von 1900–1906 und von 1919–1925, Ehrensensator seit 1933, Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

Zu jener Zeit existierte eine erste Edition der Kepler-Werke, die der Stuttgarter Gelehrte *Christian Frisch* von 1858–1871 in acht Bänden herausgegeben hatte. Bei aller Anerkennung der Leistung von Frisch wurde diese Ausgabe nach damaligen Maßstäben weder als vollständig noch als zuverlässig angesehen. Inzwischen waren nämlich weitere wichtige Arbeiten Keplers aufgefunden worden, die Frisch nicht gekannt hatte. Von Dyck veranstaltete Umfragen bei den maßgebenden Bibliotheken und Archiven und sorgte auch dafür, daß der gewaltige Bestand der Russischen Akademie der Wissenschaften in St. Petersburg in photographischer Reproduktion zur Verfügung gestellt wurde. Die ganze Sammlung umfaßt heute über 12 000 Blatt und bildet die Grundlage für die gegenwärtige Edition. Die Mittel für diese Dokumentensammlung stellten die Deutsche Forschungsgemeinschaft und Mäzene der rheinischen Industrie zur Verfügung.

Walther von Dyck fand tatkräftige Unterstützung durch den Mathematiker und katholischen Theologen *Max Caspar* (1880–1956), der bereits durch kommentierte Übersetzungen Keplerscher Werke hervorgetreten war. Dazu gehörte vor allem die „*Astronomia Nova*“, die 1929 herauskam. Außerdem veröffentlichte er eine Kepler-Biographie von 1948 (3. Aufl. 1958), die bis heute als die vollständigste gilt.

Seine Assistentin wurde *Martha List* (1908–1992), die mit großer Sachkunde seine Arbeiten unterstützte. Die Leistungen von Frau List wurden später dadurch gewürdigt, daß die Universität Wien sie 1978 zum Ehrendoktor promovierte und unsere Akademie ihr 1965 die Medaille „*bene merenti*“ in Silber zuerkannte. Als weiterer Mitarbeiter Caspars trat der Stuttgarter Bibliothekar und

Wissenschaftshistoriker *Franz Hammer* (1898–1969) hinzu. Die gemeinsamen Bemühungen der Genannten liefen auf die Gründung einer

Kommission für die Herausgabe der Werke von Johannes Kepler,

kurz Kepler-Kommission genannt, bei unserer Akademie heraus. Die Kommission wurde 1935 gegründet, Walther von Dyck hat den Beginn der Edition nicht mehr erlebt, er ist 1934 verstorben. Die ersten Mitglieder der Kommission waren Ludwig Bieberbach, Konstantin Carathéodory, Max Caspar, Karl Griewank, Franz Hammer, Hans Ludendorff, Eduard Schwartz.

Die Einteilung des Gesamtwerks in einzelne Bände erforderte besondere Überlegungen. Es zeigte sich bald, daß weder eine rein systematische, noch eine rein chronologische Gliederung durchführbar waren, wollte man dem Leser nicht willkürliche Einschnitte zumuten. So wurden die Bände im wesentlichen nach den Schaffensperioden Keplers geordnet, wobei innerhalb jeder Gruppe sachliche Gesichtspunkte eingehalten wurden. Auch wurde der Vorschlag diskutiert, dem lateinischen Text der Hauptwerke eine deutsche Übersetzung beizugeben. Diese Anregung wurde nicht befolgt, um den ohnehin beträchtlichen Umfang der Edition nicht noch zu vergrößern und den Fortgang zu verzögern. Vielmehr sollte jeder Band eine ausführliche Analyse des Inhalts enthalten (Nachbericht genannt), in der neben einer Textkritik auch schwierige und schwer verständliche Stellen erläutert und durch Querverweise die Bezüge zum Gesamtwerk hergestellt werden konnten. Diese Nachberichte sollten in deutscher Sprache abgefaßt werden, in bewußtem Gegensatz zur früheren Ausgabe von Christian Frisch.

In Abwägung aller Gesichtspunkte plante man schließlich eine Ausgabe von 22 Bänden, deren letzter der Registerband sein sollte. Nach der Herkunft der Texte ergab sich zusätzlich folgende Einteilung:

Werkbände (Band 1–12), das sind alle zu Lebzeiten Keplers oder kurz nach seinem Ableben gedruckten Werke,
Briefbände (Band 13–18), enthalten rund 1000 Briefe von und an Kepler,

Manuskriptbände (Band 19–21), enthalten wesentliche Teile aus dem noch nicht gedruckten wissenschaftlichen Nachlaß zu Leben und Werk Keplers, Registerband (Band 22).

Einige Bände (bisher 11, 20, voraussichtlich 21, 22) sind oder werden in zwei Halbbände aufgeteilt. Die folgende graphische Darstellung zeigt die Erscheinungsweise der Bände in chronologischer Darstellung. Bis 1974 war der Präsident der Akademie ex officio der Vorsitzende der Kepler-Kommission, *Ludwig Biermann* wurde der erste gewählte Vorsitzende, der sein Amt 1984 an *Ulrich Grigull* weitergab. *Volker Bialas* wurde 1985 zum wissenschaftlichen Leiter der Edition berufen. Die Herstellung der Bände wurde der C.H.Beck'schen Verlagsbuchhandlung München übertragen, finanziert gemeinsam durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft und die Bayerische Akademie der Wissenschaften.

Schließlich interessiert der Absatz der Kepler-Bände seit dem Erscheinen von Band 3 (*Astronomia Nova*) 1937 als dem frühesten Band der Reihe bis heute. Diese Absatz-Statistik ist in folgender Tabelle nach den Angaben des Verlages wiedergegeben.

Um den wissenschaftlichen Aufschluß der nachgelassenen Manuskripte Keplers zu erleichtern, wurde mit der Herstellung eines Kataloges aller Manuskripte begonnen, der von *Hella Kothmann* und *Johanna Kurić* bearbeitet wird. Es existieren noch etwa 14 000 Manuskript-Seiten, davon rund 20% Briefe, 50% Manuskripte astronomischen Inhalts, 30% verschiedenen Inhalts. Bei der Herstellung dieses Kataloges unterstützt uns das Institut für die Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik in St. Petersburg der Russischen Akademie der Wissenschaften, mit dem wir eine wissenschaftliche Kooperation vereinbart haben, die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert wird.

Das gedruckte Schrifttum von Johannes Kepler ist durch die *Bibliographia Kepleriana* zugänglich gemacht worden, die 1936 von Max Caspar und 1968 in zweiter Auflage von Martha List herausgegeben wurde. Wegen der starken Veränderungen in den Bibliotheksbeständen durch die Einwirkungen des zweiten Weltkriegs wurde ein Nachtrag notwendig, der von *Jürgen Hamel* besorgt wurde und im Manuskript vorliegt. Hierzu wurden 437

Antworten von Bibliotheken aus 34 Ländern herangezogen. Der Druck wird vorbereitet.

Über wiedergefundene Drucke und Handschriften von Johannes Kepler in deutschen und ausländischen Bibliotheken wurde in einer eigenen Reihe, den „Nova Kepleriana“, von 1910 bis 1934 berichtet. Die Reihe erschien in den Abhandlungen der Bayerischen Akademie der Wissenschaften und wurde von Walther von Dyck herausgegeben. Es erschienen 9 Hefte, die heute alle vergriffen sind. Die Reihe wurde unter dem Titel „Nova Kepleriana, Neue Folge“ seit 1969 fortgesetzt und enthält heute auch Bearbeitungen und Kommentare, die nicht für die Edition selbst geeignet sind. Bisher sind 8 Titel erschienen.

In den 50er und 60er Jahren spielte *Walther Gerlach* (1889–1979) eine herausragende Rolle in der Kepler-Kommission. Wir verdanken ihm mehrere Monographien über Kepler und seine Zeit, die in den Sitzungsberichten der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse unserer Akademie erschienen sind. Außerdem veröffentlichte er gemeinsam mit Martha List eine leicht lesbare, aber dennoch sehr exakte Biographie zu Kepler, die 1987 in 3. Auflage (bei Piper, München) herauskam. Auch verdanken wir den beiden Autoren einen Führer durch das Geburtshaus Keplers in Weil der Stadt, das heute ein kleines Kepler-Museum beherbergt.

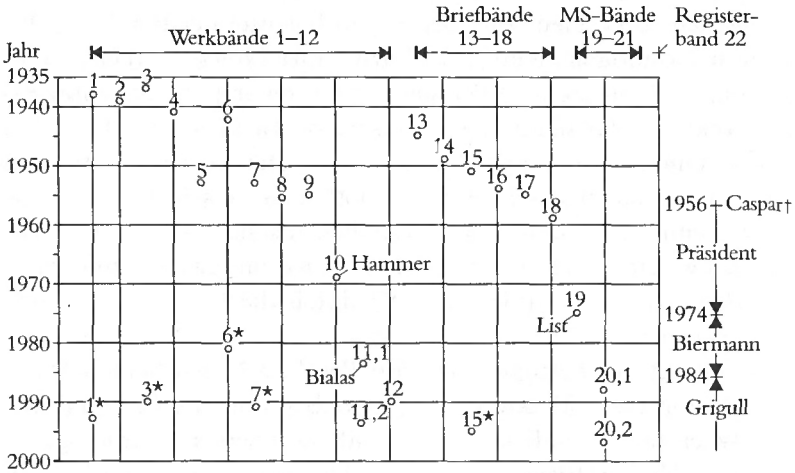
Zur Zeit wird die Veröffentlichung von Band 20,2 vorbereitet, dessen Text gerade gesetzt wird. Der Nachbericht wird von Volker Bialas bearbeitet. Der Band enthält insbesondere die Vorarbeiten zu Keplers astronomischem Hauptwerk, der *Astronomia Nova*. Die noch ausstehenden Bände 21,1 und 21,2 werden Keplers Berichte zur Berechnung der Finsternisse, sowie Manuskripte zu technischen Entwürfen, für Harmonik, Geschichte und Chronologie, zur Astrologie und Genealogie enthalten. Die Transkription besorgt, wie auch schon größtenteils bei den Bänden 20,1 und 20,2, *Friederike Bookmann*.

Die Gesamtausgabe in 21 Bänden, die wegen der vier Doppelbände aus 25 Einzelbänden besteht, wird ein Volumen von rund 12 000 Seiten enthalten, das durch den Registerband (Band 22) erschlossen werden soll, der von *P. M. Schenkel* bearbeitet wird. Die Arbeiten am Registerband, die unter meinem Vorgänger Ludwig Biermann begonnen wurden, erforderten ausgiebige Dis-

kussionen über die zweckmäßige Wahl und kurze Kommentierung der Stichwörter, da das Register es dem Benutzer ermöglichen soll, besonderen Problemen innerhalb des Gesamtwerks nachgehen zu können. Zur Zeit liegen Register der Bände 1 (*Mysterium Cosmographicum*), 3 (*Astronomia Nova*), 6 (*Harmonice Mundi*), 7 (*Epitome*), 8 (*Mysterium Cosmographicum Editio Altera*) und 12 (*Theologica*, Hexenprozeß, Tacitus) vor, die ersten fünf in einem kumulierten Gesamtdruck. Die Teilregister werden von uns an die maßgebenden Bibliotheken verschickt, die diese ihren Benutzern unmittelbar zugänglich machen, sowie an einige Fachleute verteilt, die wir zu kritischen Kommentaren auffordern. Die Registerarbeit wurde seit 1983 durch die Fritz Thyssen Stiftung gefördert.

So ist mit der Fertigstellung von Band 20,2, den beiden Halbbänden von Band 21 und dem Registerband noch eine beträchtliche Arbeit durch die Kommission und besonders ihre Arbeitsgruppe unter Volker Bialas zu leisten. Die erste Gesamtausgabe von Christian Frisch liegt mehr als 100 Jahre zurück. Es ist nicht zu erwarten, daß sich in absehbarer Zeit, in welchem Lande auch immer, wiederum eine Arbeitsgruppe bildet, die sich dieser anspruchsvollen Tätigkeit widmet, das Gesamtwerk Keplers zu edieren. So rechnen wir damit, daß unsere Edition für jeden übersehbaren Zeitraum die letzte sein wird. Der hohen Verantwortung und Verpflichtung ist sich jeder Beteiligte bewußt.

Erscheinungsweise der Bände der Kepler-Edition



* in letzter Zeit neu aufgelegt

Nachkommen Keplers

Johannes Kepler ist 59 Jahre alt geworden. Er war zweimal verheiratet und hatte zwölf Kinder, von denen ihn nur vier überlebten.

1. Aus Keplers erster Ehe (1597) mit *Barbara Müller* (1573–1611) stammen fünf Kinder. Es überlebten die Eltern nur *Susanna* (geb. 1602), verheiratet (1630) mit dem Astronomen und Arzt Jakob Bartsch, einem Mitarbeiter Keplers, der 1633 verstarb; aus dieser Ehe stammen zwei Töchter, weitere Nachrichten fehlen, und *Ludwig* (1607–1663), Stadtphysikus in Königsberg/Pr. und Leibarzt des Kurfürsten Albrecht von Brandenburg. Zwei Söhne starben in jugendlichem Alter. Für das Jahr 1717 wird der Ehemann einer Enkelin von Ludwig erwähnt, der die Außenstände Keplers bei der Liquidationskommission (vergeblich) einfordert. Es haben demnach Töchter Ludwigs überlebt.
2. Eine Stieftochter Keplers aus einer früheren Ehe Barbaras war *Regina* (1590–1617), verheiratet (1608) mit dem Gräflisch Isenburgischen Rat Philipp Ehem, der 1617 Pfleger eines aufgelassenen Klosters in Walderbach bei Regensburg wurde, wo Regina im selben Jahr verstarb. Über Nachkommen ist nichts bekannt.
3. Aus Keplers zweiter Ehe (1613) mit *Susanna Reuttinger* (1589–1636) stammen sieben Kinder. Es überlebten die Eltern nur *Cordula* (geb. 1621), die in Wien verheiratet war und Kinder hatte, die jung verstorben sein sollen; weitere Nachrichten fehlen, und *Anna Maria* (geb. 1630), weitere Nachrichten fehlen.

Literatur:

Max Caspar: Johannes Kepler, 3. Auflage, Stuttgart: Kohlhammer 1958

Walther Gerlach und Martha List: Johannes Kepler, der Begründer der modernen Astronomie, 3. Auflage, München: Piper 1987

An den Nachforschungen über die Nachkommen Keplers ist wesentlich Frau Dr. Martha List beteiligt.

Kepler und die Universitäten

Für Freunde Keplers ist es ein beglückender Gedanke, den Meister in der Sicherheit eines akademischen Amtes zu wissen, wo er ohne Behelligung durch politischen und konfessionellen Streit seine Arbeiten vollenden kann. So ist es überraschend, daß Kepler nie auf einen Lehrstuhl einer Universität berufen wurde. An Versuchen von beiden Seiten hat es nicht gefehlt.

Nach der endgültigen Ausweisung aus Graz am 1. August 1600 befand sich Kepler in einer schwierigen Lage. Er hatte eine Einladung von Tycho Brahe nach Prag, wußte aber nicht, wie er dort aufgenommen werden würde. So fragte er bei seinem alten Lehrer Mästlin an, ob in *Tübingen* für ihn eine angemessene Position zu erwarten sei. Die Antwort war ausgesprochen negativ.

Eine weitere Chance bot sich 1611, als die Verhältnisse in Prag Kepler zwangen, sich nach einem neuen Wirkungskreis umzusehen. Der Kanzler des Herzogs von Württemberg hatte seinem Dienstherrn vorgeschlagen, einen zweiten Lehrstuhl für Mathematik an der Landesuniversität Tübingen einzurichten, da Mästlin schon alt sei. Für die Berufung kam Kepler in erster Linie in Frage. Nach den Gepflogenheiten mußte das Konsistorium seine Einwilligung geben. Die geistlichen Räte wandten sich empört gegen die Berufung Keplers, da er ein „verschlagerener Calvinist“ sei und außerdem die Konkordienformel zu unterschreiben sich geweigert hätte. Das schloß für Württemberg jede Berufung aus. Der Herzog mußte nachgeben und so ging für Kepler ein schöner Traum endgültig zu Ende.

Das hatte ein literarisches Nachspiel. In dem „Prognosticon auff das 1618. und 1619. Jahr“ (KGW 11,2 S. 180f und 463) findet sich ein eingeschobener Absatz, der mit dem übrigen Text keinen Zusammenhang hat:

Ich weiß ein Thier, das ist Generis Neutri, das sitzt und pranget in den Rosen/sihet nur auff ein anders Thier/seinen Feind/wann es vntergehen werde/vnd fürchtet sich im wenigsten nichts . . .

Vor diesem Tier warnt Kepler seine Leser in düsteren Prophezeiungen. Die Keplerforschung ist sich heute einig darin, daß nur das Konsistorium in Stuttgart gemeint sein konnte.

Auch zur Karls-Universität in *Prag* gab es Beziehungen. Keplers Freund, der Anatom Johannes Jessenius, wurde 1617 Rektor und versuchte, Kepler für seine Universität zu gewinnen. Kepler war aber schon in Linz, seiner nächsten Station, so da es zu keiner Berufung kam, vielleicht zu Keplers Glück. Jessenius endete einige Jahre später in den religiösen Wirren auf dem Schafott.

Die nächste Anfrage kam aus *Bologna*. Der dortige Astronom Giovanni Antonio Magini verstarb 1617. Der Theologieprofessor Roffeni fragte bei Kepler an, ob er den freigewordenen Lehrstuhl übernehmen wolle. Kepler sagte ab mit folgender Begründung:

Von Jugend an bis zu meinem gegenwärtigen Alter habe ich als Deutscher unter Deutschen eine Freiheit im Gebaren und Reden genossen, deren Gebrauch mir wohl, wenn ich nach Bologna ginge leicht, wenn nicht Gefahr, so doch Schmähung zuziehen, Verdächtigungen hervorrufen und mich den Angebereien von Schnüfflern aussetzen könnte.

Man muß dazu beachten, daß Bologna zum Kirchenstaat gehörte.

Schon früher hatte man sich in Italien für Kepler interessiert. Als Galilei 1610 von Padua nach Florenz wechselte, wollte man Kepler als Nachfolger in *Padua* gewinnen. Offenbar hatte Galilei Kepler beim Dogen von Venedig empfohlen (*Padua* gehörte zum Einflußbereich von Venedig). Aber der Plan zerschlug sich.

Eine letzte Anfrage kam aus *Rostock*. Der Rektor der Universität Rostock, Thomas Lindemann bot Kepler 1629 auf Anweisung Wallensteins, damals auch Herzog von Mecklenburg, einen Lehrstuhl an. Kepler hatte keine Neigung nach Rostock zu gehen. Er fühlte sich von Wallenstein abhängig. Gab es wieder Krieg, konnte er in Rostock ohnehin nicht arbeiten. Gab es Frieden, würde Wallenstein mit seinen Soldaten abrücken und konnte ihm nicht mehr helfen. So lehnte er den Ruf zwar nicht ab, stellte aber Forderungen, die praktisch nicht zu erfüllen waren. Die Angelegenheit verlief im Sande.

Die Bemühungen, Kepler auf einen Lehrstuhl zu berufen, standen unter keinem guten Stern. Seine Stammuniversität Tübingen verschloß sich ihm auf Lebenszeit. Alles übrige ließ sich damit nicht vergleichen, weder *Prag* noch *Padua*, *Bologna* oder *Rostock*.

Literatur:

Max Caspar: Johannes Kepler. 3. Auflage, Stuttgart: Kohlhammer 1958

Walther Gerlach und Martha List: Johannes Kepler, München und Zürich: Piper 1987

Keplers Gesammelte Werke (KGW) Bd. XI, 2, Hrsg. Kepler-Kommission der Bayr.

Akad. Wiss., München: C. H. Beck 1993

Zur Kalenderreform

Die Kirche ist auf einen richtiggehenden Kalender angewiesen, um das Osterfest und die übrigen beweglichen Feiertage berechnen und damit den Ablauf des Kirchenjahres festlegen zu können. Nach einem Beschluß auf dem Konzil zu Nicea (325) fällt Ostern auf den ersten Sonntag nach dem Frühlingsvollmond. Das Frühlingsaequinoktium wurde auf den 21. März festgelegt. Zur Vorausberechnung brauchte man zwei astronomische Daten: die Dauer des tropischen Jahres und die Dauer des synodischen Mondumlaufs. Bei der Einführung des Julianischen Kalenders (46 v. Chr.) wurde ein Jahr verwendet, dessen Dauer um 10 min 44 sec länger war als der heutige Bestwert für die Dauer des tropischen Jahres. In den 13 Jahrhunderten (seit Nicea) war diese Differenz auf 9 d 16 h 33 min angewachsen, so daß der Frühlingsanfang auf den 11. März fiel. Eine Reform des Kalenders war unvermeidlich geworden; auch Luther forderte sie. Auf dem Konzil von Trient wurde 1563 eine solche wiederum angemahnt. Nach langen Beratungen verkündete Papst Gregor XIII. 1582 den neuen, nach ihm benannten Kalender, bei dem auf den 4. Oktober 1582 sogleich der 15. Oktober folgen sollte. Damit war der Frühlingsanfang wieder auf den 21. März zurückgeholt. Außerdem wurde das Jahr um 3 Tage innerhalb von 400 Jahren gekürzt, indem in den vollen Jahrhunderten, deren Jahreszahlen nicht durch 400 teilbar waren (also 1700, 1800, 1900) der Schalttag ausfallen sollte.

Während die meisten katholischen Länder Europas und die deutschen katholischen Stände und Reichsstädte der Anweisung der päpstlichen Bulle folgten, leisteten die protestantischen Stände Widerstand. Sie fürchteten die Präzedenzwirkung auf weitere Forderungen des Papstes. Zugleich ergoß sich eine Flut von Spott- und Schmähschriften über das Land: „Ein Protestant läßt sich vom Antichrist nicht in die Kirche läuten“, hieß es dabei.

Um zu einer einheitlichen Zeitrechnung zu kommen, ließ Kaiser Matthias die Kalenderreform auf die Tagesordnung des für 1613 nach Regensburg einberufenen Reichstags setzen und wies seinen Hofmathematiker Kepler an, eine Stellungnahme vorzubereiten. Kepler hielt sich von Juli bis Oktober 1613 in Regensburg

auf. Obwohl ihm die Gregorianische Reform aus astronomischen Gründen nicht in allen Punkten zusagte, war er von der Notwendigkeit einer Kalenderreform zutiefst überzeugt. In seiner Stellungnahme zeigte Kepler zwar Verständnis für die Haltung der protestantischen Reichsfürsten, wies aber darauf hin, daß es sich nicht darum handeln könnte, einer päpstlichen Bulle zuzustimmen. Die Fürsten sollten vielmehr ihre Hofmathematiker zu Rate ziehen und nach deren Urteil mit der Autorität des Kaisers und des Reichstags einen neuen Kalender beschließen. Außerdem liege es im Interesse von Handel und Wandel, wenn im Römischen Reich eine einheitliche Zeitrechnung bestehen würde.

Trotz solcher Bemühungen kam in Regensburg kein neuer Kalender zustande. Die protestantischen Fürsten in Deutschland und die skandinavischen Länder haben den Gregorianischen Kalender erst 1700 angenommen, England 1752. In Rußland wurde er 1918 eingeführt, die griechisch-orthodoxe Kirche nahm den neuen Kalender 1923 an, die Türkei 1927.

Ein Beispiel zur Kalenderfrage: die Oktoberrevolution fand am 25./26. Oktober 1917 (alten Stils) in St. Petersburg statt. Sie wurde in der früheren Sowjetunion am 7./8. November (neuen Stils) begangen. Die Zeitdifferenz zwischen den beiden Kalendern betrug inzwischen 13 Tage.

Literatur:

Max Caspar: Johannes Kepler, 3. Auflage Stuttgart: Kohlhammer 1958

Martha List: Johannes Kepler. In: Neue Deutsche Biographie, Band 11, S. 494–508
Berlin: Duncker und Humbert 1977

Gudrun Wolfschmidt: Der Weg zum modernen Weltbild. In: Nicolaus Copernicus, Revolutionär wider Willen. Stuttgart: Verlag für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik 1994

Hans Maier: Eine Zeit in der Zeit? Die christliche Zeitrechnung. In: Was ist Zeit. Faktum Bd. 6, 2. Aufl. München; Technische Universität München 1995

Johann H. Zedler: Großes vollständiges Universallexikon, Bd. 5 Halle und Leipzig 1733, Neudruck

Sonnenflecken, Jupitermonde, Fernrohr

Einige astronomische Phänomene, die erst durch den Gebrauch des Fernrohrs bekannt wurden, haben mehrere Entdecker. Darüber wird im folgenden für zwei solcher Phänomene berichtet.

Sonnenflecken (Maculae Solis)

Kepler beobachtete 1607 einen Sonnenfleck, hielt ihn aber für das Bild der Merkurscheibe während eines Durchgangs, der zu dieser Zeit erwartet wurde. Er berichtete darüber 1609 in einer Arbeit „Phaenomenon singulare“ (Leipzig 1609).

Kepler mußte sich berichtigen lassen durch eine Veröffentlichung des Astronomen Johannes Fabricius (1587–1610) aus Marienhafte (Ostfriesland), der die von ihm beobachteten Sonnenflecken 1611 ausführlich beschrieb und aus ihrer Bewegung auf die Rotation der Sonne schloß. Zur Beobachtung benutzte er eine Lochkamera.

Als weiterer Entdecker ist der Astronom Christoph Scheiner (1579–1650), Mitglied des Jesuitenordens, ein erklärter Gegner Galileis, zu nennen, der die Sonnenflecken seit 1611 in Ingolstadt beobachtete. Er projizierte 1613 das Sonnenbild mit einem ausgezogenen Fernrohr Keplerscher Bauart auf einen Schirm. Als er seinem Provinzial die Flecken zeigen wollte, lehnte dieser ab mit den Worten: „Wozu, mein Sohn? Ich habe den Aristoteles zweimal gelesen und nichts Derartiges darin gefunden. Die Flecken sind also Fehler deiner Augen oder deiner Gläser“. Scheiner teilte seine Beobachtung brieflich einem Freund mit, der sie ohne sein Wissen publizierte. Er selbst veröffentlichte später die ausführliche Arbeit „Rosa Ursina sive Sol“, Bracciano 1626. Auch er schloß auf eine Rotation der Sonne. Mit Galilei führte Scheiner einen langdauernden Streit um die Priorität.

Um Prioritäten zu sichern, bediente man sich damals einer eigentümlichen Methode. Als Galilei die Phasen der Venus entdeckt hatte, formulierte er den Satz:

Cynthiae figuras aemulatur mater amorum

(die Venus ahmt die Phasen des Mondes nach),

den er aber nicht im Klartext, sondern als Anagramm, also in willkürlicher Umstellung der Buchstaben seinen Freunden mitteilte. Kepler lieferte mehrere lateinische Sätze als Auflösungen, die aber alle keinen Sinn ergaben. Die Frage erledigte sich durch Galileis Publikation „Sidereus Nuncius“.

Nachdem die Entdeckung des Fernrohrs in Holland bekannt wurde, baute sich Galilei mehrere eigene Fernrohre mit verschiedenen Vergrößerungen und richtete sie auf den Sternhimmel. Dabei entdeckte er seit Anfang des Jahres 1610 neuartige Phänomene, die ihm die Gewißheit gaben, daß das Ptolemäische Weltsystem sich auch physikalisch widerlegen läßt. Zu diesen Beobachtungen gehören: die Phasen der Venus (die gehörnte Venus), die Mondgebirge, die Auflösung des Siebengestirns (der Plejaden) in 40 Sterne, die Auflösung der Milchstraße in viele Einzelsterne, die Monde des Jupiter, die Sonnenflecken. Galilei faßte diese Beobachtungen in der Schrift „Sidereus Nuncius“ (Sternbote) zusammen, die er auch Kepler zukommen ließ mit der Bitte, sie zu kommentieren. Kepler antwortete umgehend mit einem ausführlichen Brief, der unter dem Titel „Dissertatio cum Nuncio Sidereo“ 1610 veröffentlicht wurde. Galileis Beobachtungen waren für Kepler ein wesentlicher Anlaß, sich mit der Theorie des Fernrohrs zu beschäftigen. Das Ergebnis war die Schrift „Dioptrice“, die 1611 erschien.

Jupitermonde (Satellites Jovis)

Der markgräfliche Hofmathematiker Simon Marius (Mayr) (1570–1624) entdeckte in der Nacht vom 28./29. Dezember 1609 in Ansbach mit einem Fernrohr holländischer Bauart drei, später vier Jupitermonde. Seine langjährigen Beobachtungen veröffentlichte er in dem Werk „Mundus Jovialis“, das 1614 in Nürnberg erschien. Kepler benutzte später seine Messungen der Halbachsen und Umlaufzeiten, um die Gültigkeit des 3. Gesetzes in den Grenzen der Meßunsicherheiten nachzuweisen. Die Leistungen Galileis bei dessen eigenen Beobachtungen erkannte Marius vorbehaltlos an.

Die Entdeckung Galileis fällt in die Zeit Januar/März 1610, nachdem er sich eigene Fernrohre holländischer Bauart hergestellt

hatte. Er nannte die vier Jupitermonde die „Mediceischen Sterne“ zu Ehren des regierenden Hauses in Florenz. Für ihn selbst war diese Entdeckung ein weiterer Beweis gegen das Ptolemäische System, da es offenbar Sterne gibt, die sich nicht um die Erde drehen. Seine Entdeckung fand wenig Anklang. Daher veranstaltete er im Hause seines Kollegen Giovanni Antonio Magini (1555–1617), Professor der Astronomie an der Universität Bologna, in der Nacht vom 24./25. April 1610 eine Vorführung vor geladenen, prominenten Gästen, die allerdings weitgehend mißlang. Da diese Herren in der Handhabung astronomischer Geräte nicht geübt waren, glaubte keiner von ihnen, die Monde wirklich gesehen zu haben. Vermutlich war auch das Fernrohr verhältnismäßig lichtschwach. Später wurden Pamphlete gegen Galilei verteilt.

Als weiterer Entdecker der Jupitermonde wird der englische Mathematiker Thomas Harriot (1560–1621) genannt, der ebenfalls 1610 die Monde mit einem holländischen Fernrohr beobachtete.

Fernrohr (Perspicillum)

Die Entdeckung des Fernrohrs wird dem holländischen Brillenmacher Hans Lipperhey (auch als Lippershey, Lippersheim, Laprey zitiert) (etwa 1570–1619) aus Middelburg zugeschrieben, der 1608 ein Patent auf ein Fernrohr holländischer Bauart (Konvexlinse als Objektiv, Konkavlinse als Okular) beanspruchte. Das Patent wurde nicht erteilt, da fast gleichzeitig ähnliche Anmeldungen eingereicht wurden, so daß die Neuheit der Idee zweifelhaft war. Es handelte sich offenbar um eine Zufallserfindung, die aber gewinnversprechend zu sein schien. So wurden in kurzer Zeit derartige Fernrohre, zunächst für terrestrische Beobachtungen gedacht, auf Messen und Märkten angeboten. Aber auch unter Astronomen wurde diese Erfindung rasch bekannt, die auch zum Nachbau anreizte. So konstruierte Simon Marius Ende 1609 ein eigenes Fernrohr und Galilei baute für den eigenen Gebrauch Anfang 1610 mehrere Fernrohre holländischer Bauart, die ihm seine berühmten Entdeckungen ermöglichten.

Kepler erhielt ein Galileisches Fernrohr erst Ende August 1610, als ihm der Fürstbischof Ernst von Köln ein solches für einige Tage überließ. Er teilte seine Beobachtungen über die Jupitermonde in

einer Schrift „*Narratio de Jovis Satellitibus*“ mit, die noch im selben Jahr in Florenz nachgedruckt wurde. Den Rest des Jahres 1610 verwandte Kepler auf die Abfassung der „*Dioptrice*“. Hier erörterte er die Theorie des holländischen Fernrohrs und schlägt außerdem das „astronomische Fernrohr“ vor, das aus zwei Konvexlinsen bestand und daher lichtstärker war. Kepler hatte weder Geld noch Mitarbeiter für den Bau eines solchen Fernrohrs, das dann erstmalig 1613 von Scheiner in Ingolstadt nach den Vorschlägen Keplers gebaut wurde.

Literatur:

- Max Caspar: Johannes Kepler. 3. Auflage Stuttgart: Kohlhammer 1958
 Johannes Fabricius: *De Maculis in Sole observatis, et apparente earum cum Sole conversione, Narratio*. Wittenberg 1611
 Galileo Galilei: *Sidereus Nuncius*, Venedig 1610
 J. Kepler: *Dissertatio cum Nuncio Sidereo*, KGW Bd. 4 (1941)
 Simon Marius: *Mundus Jovialis*, Nürnberg 1614
 Volker Bialas: Die Bedeutung des dritten Planetengesetzes für das Werk von Johannes Kepler. *Philosophia Naturalis* 13 (1971) Heft 1, S. 42–55.
 E. H. Schmitz: *Handbuch zur Geschichte der Optik*. Verlag J. P. Wagenborgh, Bonn, Bd. 1 (Von der Antike bis Newton) 1981; *Ergänzungsband: Das Fernrohr*, 1982
 Christoph Scheiner: *Rosa Ursina sive Sol*. Bracciano, 1626
 J. Kepler: *Dioptrice*, (1611). KGW Bd. 4 (1941)

„Die Phänomene retten“

Von Ptolemäus zu Kepler

Der griechische Astronom Claudius Ptolemäus aus Alexandria (um 100–180) veröffentlichte sein Hauptwerk um das Jahr 150 unter dem ursprünglichen Titel

Μαθηματικῆς Συντάξεως βιβλία ιγ

(dreizehn Bücher einer mathematischen Sammlung),

das später den Titel

Μεγίστη Σύνταξις τοῦ οὐρανοῦ

(größte Sammlung zur Himmelskunde)

bekam. In der arabischen Übersetzung wurde aus

μεγίστη (die größte)

der Titel

Almagest,

unter dem das Werk in die Weltliteratur einging. Es wurde aber auch später noch als „Syntaxis“ zitiert.

Der Übersetzer der ersten deutschen Ausgabe (Karl Manitius, 1912/13) gibt dem Werk den knappen Titel

Handbuch der Astronomie

und meint dazu, der Titel „Almagest“ habe „das Werk des Ptolemäus mit dem Nimbus eines orientalischen Zauberbuchs umgeben“.

Es handelt sich um eines der bedeutendsten astronomischen Werke des Altertums, ein Handbuch, in dem das gesamte astronomische Wissen der Zeit zusammengefaßt ist. Es enthält vor allem das „Ptolemäische Weltsystem“, ein geozentrisches System, bei dem Mond, Sonne und die damals bekannten fünf Planeten um die Erde kreisen.

Über die Bewegung der Himmelskörper galten damals (und galten bis Kopernikus) die Lehren des Aristoteles (384–322), wonach Himmelskörper sich nur in Kreisen mit gleichbleibender Geschwindigkeit (gemeint ist immer die Winkelgeschwindigkeit) bewegen können. Schon sehr früh erkannte man, daß es zwei verschiedene Abweichungen (Ungleichheiten genannt) von dieser Regel gibt. Die erste Ungleichheit beruhte, wie wir heute wissen,

darauf, daß die Planeten nicht auf Kreisen, sondern auf Ellipsen umlaufen mit einer Wiederkehr in der siderischen Umlaufzeit des Planeten. Die zweite Ungleichheit beruhte darauf, daß die Planeten nicht von ihrem Bahnmittelpunkt, sondern von einem bewegten Beobachter (auf der Erde) betrachtet werden. Die Periode ist dabei die synodische Umlaufzeit des Planeten, das ist die Wiederkehr der gleichen Position des Planeten zu Sonne und Erde. Die beiden Ungleichheiten sind nicht völlig unabhängig voneinander.

Die Aufgabe des Astronomen zu jener Zeit wurde darin gesehen, ein Weltmodell zu entwerfen und daraus Rechenverfahren zu entwickeln, mit deren Hilfe man die beobachteten ungleichförmigen Bewegungen der Planeten, die Phänomene, zurückführen kann auf die einzig möglichen Bewegungen auf gleichförmig durchlaufenen Kreisbahnen nach Aristoteles. Man nannte das

σώζειν τὰ φαινόμενα,

apparentias salvare,

die Phänomene retten.

Diese Phänomene, also die beobachteten Planetenörter und -bahnen, konnten nur Bestandteile von gleichförmig durchlaufenen Kreisbahnen sein. Der Astronom jener Tage mußte diesen Beweis führen und damit die Phänomene retten.

Nach dem Vorbild des Astronomen Hipparch (um 190–125) bediente sich auch Ptolemäus zweier bewährter Hilfsmittel für die Berücksichtigung der beiden Ungleichheiten, des Exzenters für die erste und des Epizykels für die zweite Ungleichheit (Bild 1). Mit diesem Modell konnte Ptolemäus allerdings nicht die Forderung nach konstanter Winkelgeschwindigkeit des Planeten erfüllen. Er verzichtete darauf und führte dafür einen Ausgleichspunkt Q, das punctum aequans ein, von dem aus der Planet mit konstanter Winkelgeschwindigkeit auf dem Deferenten umlaufen sollte, und der aus Symmetriegründen auf der Apsidenlinie liegen mußte. Durch sorgfältige Auswertung der vorhandenen Meßwerte für die Örter und die Winkelgeschwindigkeit der Planeten stellte Ptolemäus fest, daß die Entfernung OQ nach Bild 1 gleich der Entfernung OE sein mußte, so daß die Entfernung EQ gleich der doppelten Exzentrizität $2e$ wurde (der Radius des Deferenten OM wurde üblicherweise gleich Eins gesetzt). Ptolemäus rettete auf

diese unkonventionelle Weise durch das punctum aequans wenigstens ein Prinzip des Aristoteles.

Die Epizykel berücksichtigten die zweite Ungleichheit und damit das auch den alten Astronomen wohlbekannte Phänomen, daß die Planeten im Bereich der Opposition für kurze Zeit stillzustehen scheinen und danach rückläufig werden, bis sie nach einem zweiten Stillstand wieder den rechtläufigen Umlaufsinn annehmen. Diese Erscheinungen konnten mit der Epizykeltheorie plausibel gemacht werden. Kepler hat in der Einleitung zur „Astronomia Nova“ solche Epizykeln „more Ptolemaico“ für die Marsbahn nach Tychonischen Messungen von 1580 bis 1596 abgebildet (Bild 2). In Bild 3 sind noch der Deferent und der Epizykel in die Keplersche Skizze eingetragen.

Die Einführung des punctum aequans brachte Ptolemäus später Kritik ein, auch von Kopernikus. Lassen wir zunächst einen Astronomen unserer Tage hierzu Stellung nehmen. Karl Stumpff schreibt in Band 1 seiner „Himmelsmechanik“ (Berlin 1959):

Vorausgesetzt, daß man auf dem Standpunkt der alten Astronomie beharrt, die das geozentrische System und die gleichförmige Kreisbewegung der Himmelskörper zum Prinzip erhoben hatte, läßt sich kaum eine Lösung denken, die so tief in das Wesen der Dinge eindringt wie gerade diese.

Das geozentrische Weltsystem des Ptolemäus im Almagest, mit seinen Verfahren zur Berechnung der Sternörter und der Finsternisse und der Fixsternstabelle blieb 1400 Jahre gültig, zwar nicht unangefochten, aber ohne ernsthafte Konkurrenz. Es gab kein besseres System. Ptolemäus beanspruchte offensichtlich nicht, daß die Planeten sich wirklich auf den Exzentern und Epizykeln bewegen. Sein System war für ihn ein Rechenmodell, um die Phänomene retten zu können, soweit das möglich war. Wenn nicht, ging er seinen eigenen Weg.

Im Jahre 1543, im Sterbejahr des Nikolaus Kopernikus, wurde dessen heliozentrisches Weltsystem veröffentlicht, bei dem (nach antiken Vorbildern) die fünf Planeten und die Erde um die (mittlere) Sonne kreisen. Dieses System war theoretisch dem geozentrischen System weit überlegen, da die zweite Ungleichheit und damit die Epizykel nach Definition wegfielen. Kopernikus hatte die Vorstellung,

daß sich vielleicht eine vernünftigere Art von Kreisen finden ließe, von denen alle sichtbare Ungleichheit abhinge, wobei sich alle in sich gleichförmig bewegen würden, wie es die vollkommene Bewegung an sich verlangt.

Damit war bereits sein Programm formuliert, das jedenfalls „die vollkommene Bewegung an sich“, also die Forderungen des Aristoteles, berücksichtigen würde. Gegen die Einführung des punctum aequans durch Ptolemäus hatte er beträchtliche Vorbehalte. In seiner Widmung an Papst Paul III. zu seinen „Revolutiones“ bemerkte er über die älteren Astronomen:

Sie müssen also im Zuge ihrer Beweisführung, die sie ihre Methode nennen, entweder irgend etwas Wesentliches übergangen oder etwas Fremdartiges und nicht im geringsten zur Sache Gehöriges hinzugenommen haben. Das wäre ihnen keinesfalls passiert, wenn sie sicheren Grundsätzen gefolgt wären.

Mit dem Fremdartigen, das nicht zur Sache gehört, dürfte Kopernikus auch das punctum aequans des Ptolemäus gemeint haben, das eben nicht zu den „sicheren Grundsätzen“ des Aristoteles gehörte.

Nikolaus Kopernikus (1473–1543) war seit 1512 Domherr zu Frauenburg in Ostpreußen, das er gelegentlich Gynopolis nannte und an die Weichsel verlegte. An seinem Hauptwerk

De Revolutionibus Orbium Coelestium, das in deutsch meist nach der Übersetzung von L. Menzzer (Thorn 1879), als

Über die Kreisbewegungen der Weltkörper zitiert wird, hat er nach eigenen Angaben viermal neun Jahre gearbeitet.

Das heliozentrische Planetensystem machte zwar die Epizyklen des Ptolemäus überflüssig, seine Treue zu den „sicheren Grundsätzen“ des Aristoteles zwangen Kopernikus aber, Epizyklen neuer Art einzuführen, um auch die gleichförmige Winkelgeschwindigkeit zu berücksichtigen. Die elegante Lösung des Ptolemäus mit dem punctum aequans hatte er sich selbst verboten. Damit gingen aber die Vereinfachungen des heliozentrischen Systems weitgehend verloren. Kopernikus hat die Phänomene konsequenter als Ptolemäus gerettet. Manche nennen ihn deswegen „den letzten Aristoteliker“.

Kopernikus hatte lange gezögert, sein Werk zum Druck freizugeben, vermutlich aus der Überlegung, es sei noch nicht fertig. Ein begeisterter Anhänger, Georg Joachim Rheticus (1514–1574), Professor in Wittenberg, besuchte Kopernikus in Frauenburg, bat um Einsicht in das Manuskript und publizierte unter dem Titel

Narratio prima

(erster Bericht)

eine leicht lesbare Kurzfassung (Danzig 1540) über Kopernikus' Hauptwerk, die reißenden Absatz fand. Er überredete Kopernikus schließlich, den Druck freizugeben, der dann unter der Aufsicht des Andreas Osiander (1498–1552), eines lutherischen Mathematikers und Theologen an der Lorenzkirche in Nürnberg, 1543 dortselbst vonstatten ging.¹

Dabei machte Osiander den Versuch, die Lehre des Kopernikus nur als neue Berechnungsmethode für Sternörter hinzustellen. Er versah die „*Revoluciones*“ mit einem anonymen

Vorwort an den Leser über die Hypothesen dieses Werks aus eigener Feder, in dem es hieß:

Es ist nämlich nicht erforderlich, daß diese Hypothesen wahr, ja nicht einmal, daß sie wahrscheinlich sind; sondern es reicht allein schon hin, wenn sie eine mit den Beobachtungen übereinstimmende Rechnung ergeben.

Damit hatte Osiander nicht nur seine Kompetenzen als Herausgeber gröblich überschritten (wenigstens nach heutigen Maßstäben), sondern auch die Ideen des Kopernikus in ihr Gegenteil verkehrt. Denn daß die Planeten (mit der Erde) um die Sonne kreisen, war für Kopernikus mit größter Wahrscheinlichkeit physikalische Realität. Er konnte sich nicht mehr zur Wehr setzen. Er lag todkrank in Frauenburg und soll die ersten Andrucke seines Hauptwerks erst auf dem Totenbett zu Gesicht bekommen haben. Kopernikus starb am 24. Mai 1543.

Diese Verfälschung wurde bald bekannt. Kepler empörte sich 1609 darüber in einem Brief unter Nennung des Namens Osiander. Trotz dieses Vorworts wurden die „*Revoluciones*“ durch die

¹ Die Erstausgabe des Hauptwerkes von Kopernikus „*De Revolutionibus Orbium Coelestium*“ wurde im November 1995 für DM 290 000 an einen amerikanischen Antiquar versteigert „in der seltenen Variante, die Errata und Titel auf beiden Seiten eines Einzelblatts trägt“. Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 11. November 1995.

Indexkommission 1616 (also 73 Jahre nach ihrem Erscheinen) in ihrer unkorrigierten Fassung auf den Index gesetzt und erst 1835 wieder freigegeben. Eine korrigierte Fassung ist nie erschienen. Außerhalb des Machtbereichs der Indexkommission wurde das Werk in seiner ursprünglichen Fassung weiterhin gedruckt, so in Amsterdam 1617. Auch Keplers Werk „Epitome Astronomiae Copernicanae“ wurde 1619 indiziert.

Das Verhalten des lutherischen Theologen Osiander hatte 53 Jahre später eine Entsprechung beim Druck von Keplers Erstlingswerk „Mysterium Cosmographicum“ 1596 in Tübingen. Dieses Werk beruhte auf der Gültigkeit des Kopernikanischen heliozentrischen Planetensystems. Kepler hatte darin auch die Verträglichkeit der Lehren des Kopernikus mit der Bibel ausgesprochen. Der Senat der Universität Tübingen genehmigte den Druck dieses Werkes, der Theologe Hafenreffer, damals Rektor, gab Kepler „die brüderliche Mahnung“, jene Übereinstimmung nicht öffentlich zu vertreten, denn der Mathematiker habe nur Hypothesen aufzustellen und sich nicht mit den Argumenten der Bibel zu befassen. Auch hierin zeigen sich die starken Vorbehalte der damaligen lutherischen Theologen gegen das Kopernikanische Weltbild.

Johannes Kepler war seit seiner Studentenzeit in Tübingen überzeugter Kopernikaner. Sein Lehrer Mästlin hatte ihn die Vorteile eines heliozentrischen Systems gelehrt, die er auch in Disputationen mit Studenten verteidigte. Sein Erstlingswerk von 1596, das *Mysterium Cosmographicum*, beruhte, wie oben erwähnt, auf der Richtigkeit der Lehren des Kopernikus. In Prag trug Brahe ihm auf, die Beobachtungen des Planeten Mars fortzusetzen. Das war insofern ein Glücksfall, als Mars unter den äußeren Planeten die größte Exzentrizität (rund 9,3%) besitzt, so daß Abweichungen von den Dogmen der alten Astronomen am ehesten erkennbar werden. Über seine Arbeitsmethode schreibt er:

Die hauptsächliche Leistung und Aufgabe des wahren Astronomen besteht darin, aus den Beobachtungen die Figuren zu ersinnen, welche die Planetenbahnen einhalten und dann solche Hypothesen oder physikalische Prinzipien auszudenken, aus denen man Figuren ableiten kann, die mit den aus den Beobachtungen gewonnenen übereinstimmen.

Das war die völlige Abkehr von der alten Methode, „Phänomene zu retten“. Die Beobachtungen, die Phänomene, waren für Kepler die Wirklichkeit. Niemand brauchte sie mehr zu retten.

Genau nach diesem Arbeitsplan handelte er. Kepler hatte aus Tychos Beobachtungen zehn zuverlässige Marsörter übernommen und um zwei eigene Beobachtungen erweitert. Diese Beobachtungen stammten aus Oppositionen und waren daher frei von der zweiten Ungleichheit. Diese zwölf Marsörter waren für Kepler die experimentelle Basis, an der sich jede Theorie bewähren mußte. Sein Ziel war, „die wahre Gestalt der Himmelsbewegungen“ zu ermitteln. Er schreibt:

Ich bringe eine Physik des Himmels anstelle einer himmlischen Theologie und der Metaphysik des Aristoteles.

Bei aller Hochachtung vor Kopernikus hatte Kepler wohl bemerkt, daß sich der Fortschritt bei ihm auf die heliozentrische Anordnung der Planeten bezog, er im übrigen aber

more Ptolemaico mutatis mutandis

verfahren war, also nach Art des Ptolemäus mit den erforderlichen Änderungen, die durch den Übergang vom geozentrischen zum heliozentrischen System notwendig wurden. Durch Vergleich mit seinen Marsörtern widerlegte Kepler die bekannten und die von ihm versuchsweise eingeführten Hypothesen, so die Kreisbahn, die gleichförmige Winkelgeschwindigkeit, die Ovalhypothese, den Radiensatz. Er suchte nach einem neuen, übergeordneten Prinzip der Planetenbewegung, aus dem sich die Bahnform ermitteln ließ. Dazu führte er den Flächensatz ein, wonach der Fahrstrahl des Planeten in einer bestimmten Zeit eine bestimmte Fläche überstreichen sollte. Diese Hypothese führte auf eine elliptische Bahn des Planeten, die seinen experimentellen Werten im Rahmen der Meßunsicherheiten vollständig entsprach. Durch geschickte Wahl der Variablen leitete er die bekannte „Kepler-Gleichung“ ab, mit deren Hilfe sich der Ort eines Planeten zu einer bestimmten Zeit vorausberechnen ließ, wenn nur die Daten der Bahnellipse, also etwa die große Halbachse und die Exzentrizität bekannt waren. Diese Ableitung ist in Bild 4 mit einem knappen Text wiedergegeben.

Auf der Suche nach den harmonischen Gesetzen der Planetenbewegung entdeckte Kepler 1619 das dritte Planetengesetz, nach

dem der Quotient aus der dritten Potenz der großen Halbachse einer Kepler-Ellipse und dem Quadrat der Umlaufzeit einer Konstante gleich sein sollte. Für die sechs Planeten ergab sich im Rahmen der Meßunsicherheit ein einheitlicher Wert. Kepler hat die Gültigkeit seines dritten Gesetzes auch für die Jupitermonde nachgewiesen, wofür er die Messungen von Simon Marius aus Ansbach ausgewertet hat.

Wir fragen noch nach dem *punctum aequans* des Ptolemäus. Die drei Punkte auf der Apsidenlinie nach Ptolemäus in Bild 1 und die drei Punkte einer Kepler-Ellipse in Bild 4 zeigen eine gewisse Verwandtschaft. Aus den von Kepler verwendeten Gleichungen läßt sich der Verlauf der Winkelgeschwindigkeit eines Planeten über einen vollen Umlauf berechnen. (Bild 5 und 6) und zwar für den Fokus wie für den freien Brennpunkt, den Antifokus (beide von Kepler so genannt). Der Antifokus einer Kepler-Ellipse erfüllt zwar nicht die genauen Bedingungen des *punctum aequans* des Ptolemäus, aber doch mit guter Näherung. So ist das Urteil von Karl Stumpff berechtigt, daß die Lösung des Ptolemäus „tief in das Wesen der Dinge“ eingedrungen ist, zumal wenn man bedenkt, daß sie vor fast anderthalb Jahrtausenden ausgesprochen wurde.

Kepler ist heute hochberühmt durch die Entdeckung der drei nach ihm benannten Planetengesetze. Man darf aber nicht vergessen, daß Kepler sich die Voraussetzungen für diese Entdeckungen erst selbst schaffen mußte. Die astronomische Wende, also die Abkehr von der Befangenheit des Altertums und des Mittelalters in alte Dogmen, ist erst von ihm geleistet worden. Nach Kepler hat niemand mehr versucht, „Phänomene zu retten“.

Trotzdem werden wir nach wie vor den Begriff der Wende mit dem Namen des Kopernikus verbinden. Die Begründung dafür können wir bei Goethe nachlesen, der in seinen „Materialien zur Geschichte der Farbenlehre“ (1810) den Punkt beschreibt, „wo die Scheidung der älteren und neueren Zeit immer bedeutender wird“:

Doch unter den Entdeckungen und Überzeugungen möchte nichts eine größere Wirkung auf den menschlichen Geist hervorgebracht haben, als die Lehre des Kopernikus. Kaum war die Welt als rund anerkannt und in sich selbst abgeschlossen, so sollte sie auf das ungeheure Vorrecht Verzicht

tun, der Mittelpunkt des Weltalls zu sein. Vielleicht ist noch nie eine größere Forderung an die Menschheit geschehen: denn was ging nicht alles durch diese Anerkennung in Dunst und Rauch auf: ein zweites Paradies, eine Welt der Unschuld, Dichtkunst und Frömmigkeit, das Zeugnis der Sinne, die Überzeugung eines poetisch-religiösen Glaubens; kein Wunder, daß man dies alles nicht wollte fahren lassen, daß man sich auf alle Weise einer solchen Lehre entgegensetzte, die denjenigen, der sie annahm, zu einer bisher unbekannten, ja ungeahnten Denkfreiheit und Großheit der Gesinnungen berechnete und aufforderte.

Den krönenden Abschluß der Entwicklung der Astronomie von Ptolemäus zu Kepler lieferte Isaac Newton. Aus seinen Gesetzen der Gravitation und der Massenträgheit ließen sich die drei Kepler-Gesetze zwanglos und widerspruchsfrei ableiten. Damit war der Weg der Entwicklung frei zur Astronomie unserer Tage.

Literatur:

- J. Kepler: *Astronomia Nova* (1609). KGW Bd. 3 (1937)
- J. Kepler: *Neue Astronomie*, übersetzt und eingeleitet von Max Caspar. München-Berlin: Oldenburg 1929
- Claudius Ptolemäus: *Handbuch der Astronomie*, übersetzt und erklärt von Karl Manitius. 2 Bände. Leipzig: Teubner 1912/13
- Nicolaus Copernicus: *Über die Kreisbewegungen der Weltkörper*, übersetzt und mit Anmerkungen von C. L. Menzzer. Thorn: Lambeck 1879
- Martha List: Johannes Kepler. In: *Neue Deutsche Biographie*, Bd. 11, Berlin 1977, S. 494–508
- K. Stumpff: *Himmelsmechanik*, Bd. 1. Berlin: Deutscher Verlag der Wiss. 1959
- J. J. von Littrow: *Die Wunder des Himmels*, 11. Auflage bearbeitet von K. Stumpff. Bonn: Dümmler 1963
- M. Schneider: *Himmelsmechanik*. 3. Auflage Mannheim: Bibliogr. Institut 1992
- A. Koestler: *The Sleepwalkers*, 1959, deutsch von W. M. Treichlinger, Bern 1959
- J. Frischauf: *Grundriß der theoretischen Astronomie*. Graz: Leuschner & Lubensky 1871
- J. L. E. Dreyer: *A History of Astronomy from Thales to Kepler*. New York: Dover 1953
- Gudrun Wolfschmidt: *Nicolaus Copernicus (1473–1543) (Hrsg.) Revolutionär wider Willen*. Stuttgart 1994; darin: Gudrun Wolfschmidt: *Der Weg zum modernen Weltbild*, S. 9–69
- V. Bialas: *Kepler als Vollender der copernicanischen Astronomie*, S. 190–199
- L. F. B. Biermann, U. Grigull: *50 Jahre Kepler-Kommission*. Bayer. Akademie d. Wiss., Mathem.-naturwiss. Klasse. Sitzungsberichte 1985

- J. W. v. Goethe: Materialien zur Geschichte der Farbenlehre, 1810. Goethes Werke, Hamburger Ausgabe Bd. 14, S. 81. Hamburg: Christian Wegner 1960
- V. Bialas: Die Bedeutung des dritten Planetengesetzes für das Werk von Johannes Kepler. *Philosophia Naturalis* Bd. 13 (1971) Heft 1, S. 42–55



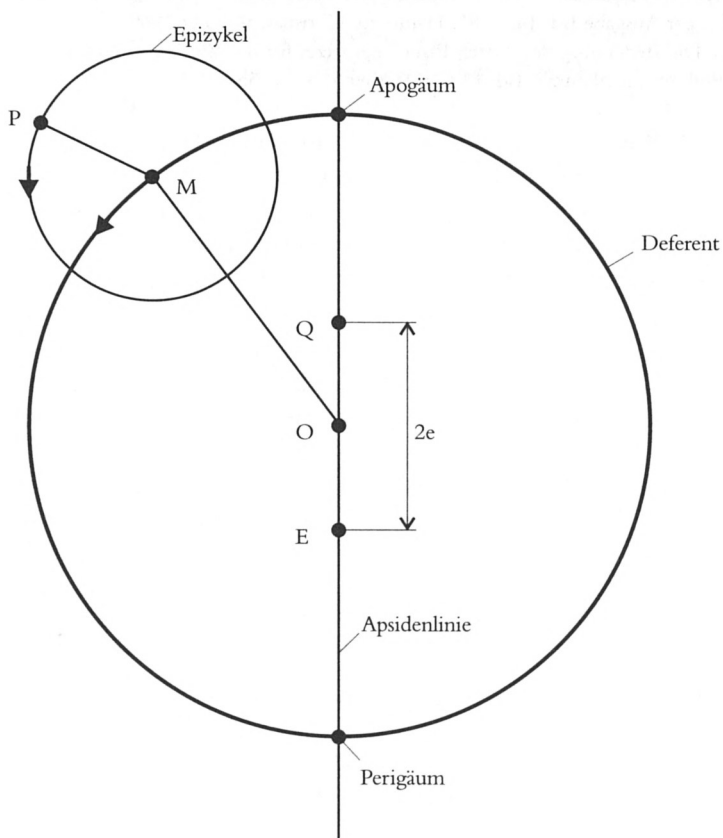


Bild 1: Planetenbahn nach Ptolemäus (schematisch)

E Erde, O Mittelpunkt der Kreisbahn, Q punctum aequans,
P Planet, M Mittelpunkt des Epizykels

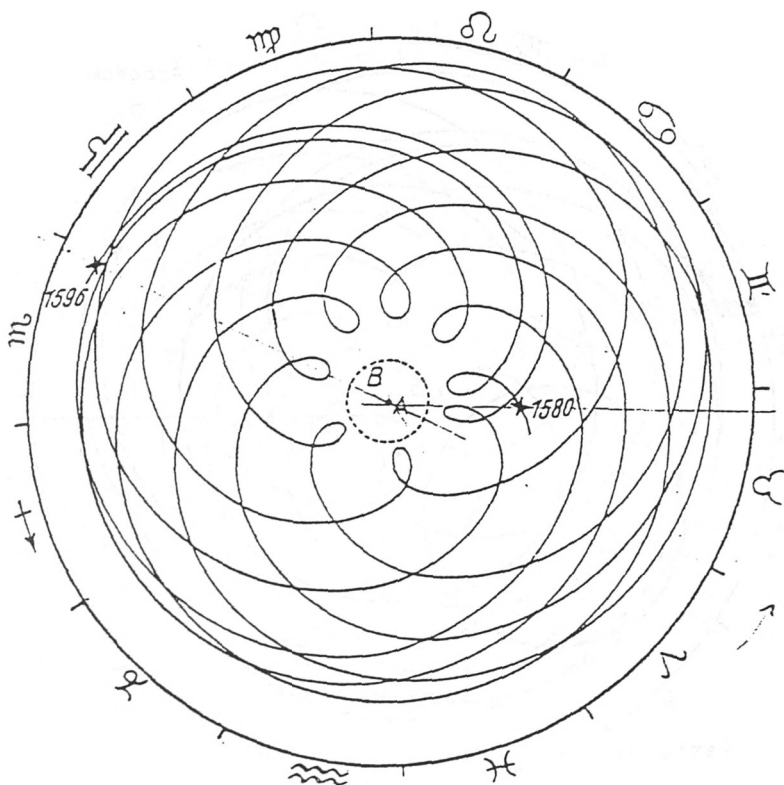


Bild 2: Marsbahn von 1580 bis 1596 nach Art des Ptolemäus
 Erde in A; Raum B für Mond, Merkur, Venus, Sonne
 nach J. Kepler, *Astronomia Nova*, Heidelberg 1609

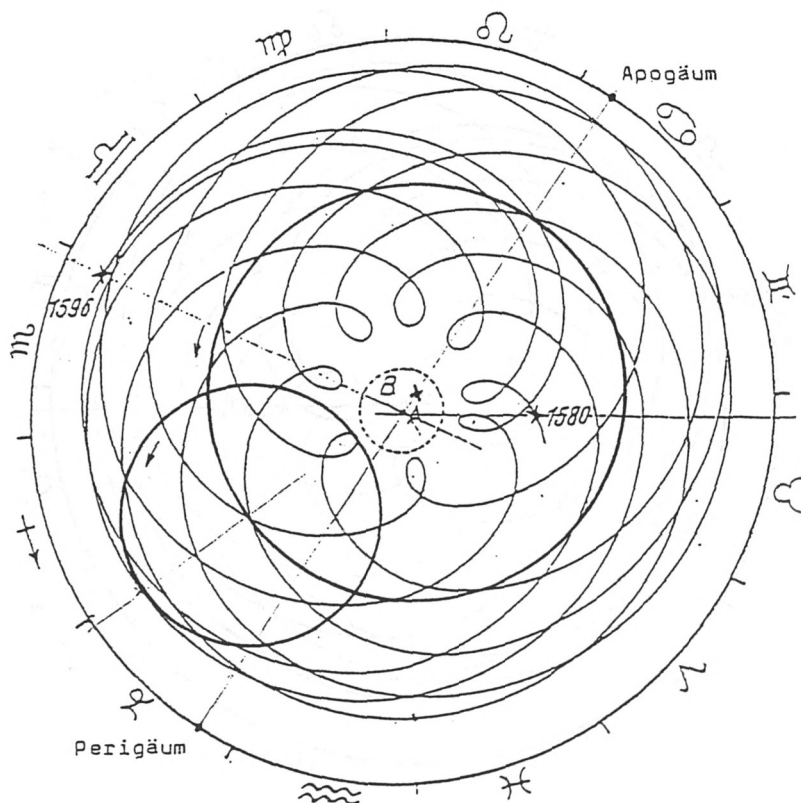
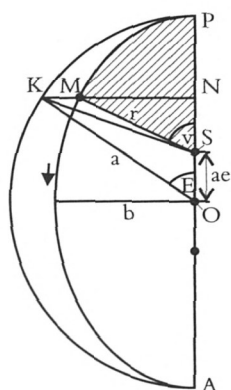


Bild 3: Marsbahn nach Art des Ptolemäus, gezeichnet von J. Kepler (1609) mit Deferent (Radius R) und Epizykel (r)
 $r/R = 0,685$ nach Ptolemäus (Almagest 10,8)
 Apogäum des Mars: Krebs $25^{\circ} 30'$ (Almagest 10,5)
 synodische Umlaufzeit $T_{\text{syn}} = 779,95 \text{ d} = 2,135 \text{ a}$

Zur Ableitung der Kepler-Gleichung

Bild 4:



a,b	Halbachsen der Ellipse
v	wahre Anomalie
E	exzentrische Anomalie
r	Radius Vektor, Fahrstrahl
e	numerische Exzentrizität
S	Sonne
M	Planet (Mars)
P	Perihel
A	Aphel

Nach dem Flächensatz ist die vom Fahrstrahl überstrichene (in Bild 4 schraffierte) Fläche SMP proportional der dafür benötigten Zeit t seit Passieren des Perihels. Ist T die Umlaufzeit des Planeten, so muß mit πab als Fläche der Ellipse gelten

$$\frac{t}{T} = \frac{\text{Fläche SMP}}{\pi ab}$$

Die Fläche SMP berechnet Kepler aus der zum Kreis gehörenden Fläche SKP mittels der Proportion $\text{SMP}/\text{SKP} = b/a$. Es gilt

also auch $\frac{t}{T} = \frac{\text{SKP}}{\pi a^2}$. Aus Bild 4 entnimmt man (s. unten) Fläche

$$\text{SKP} = \frac{a^2}{2} (E - e \sin E).$$

Führt man $\frac{2\pi}{T} = \tilde{\omega}$ als mittlere Winkelgeschwindigkeit und $M = \tilde{\omega} t$ als mittlere Anomalie ein, so erhält man die Kepler-Gleichung

$$\boxed{\tilde{\omega} t = M = E - e \sin E.}$$

Berechnung der Fläche SKP:

$$\text{SKP} = \text{OKP} - \text{OKS} = \frac{1}{2} a \times a E - \frac{1}{2} ae \times a \sin E =$$
$$\frac{a^2}{2} (E - e \sin E)$$

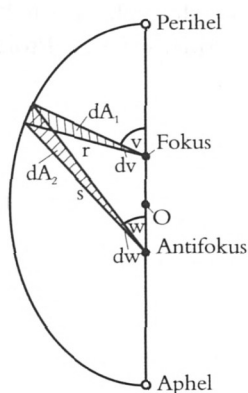


Winkelgeschwindigkeit und punctum aequans

Die ungleichförmige Winkelgeschwindigkeit einer Planetenbahn war für Ptolemäus der Grund, auf eine der Vorschriften von Aristoteles zu verzichten und den Ausgleichspunkt, das punctum aequans einzuführen, von dem aus sich der Planet mit gleichförmiger Winkelgeschwindigkeit bewegen sollte. Für Kopernikus war das die Abkehr von den „sicheren Grundsätzen“ der Alten; eine Anschauung dieser Art schien ihm weder „vollkommen genug noch der Vernunft hinreichend angepaßt zu sein“. So rettete er noch einmal die Phänomene. Die von Kepler entdeckte elliptische Planetenbahn entstand aus physikalischen Überlegungen, zu denen die ungleichförmige Winkelgeschwindigkeit nach Definition hinzugehörte. Es gab keine Phänomene mehr zu retten.

Wir betrachten im folgenden die Winkelgeschwindigkeiten als Funktion der exzentrischen Anomalie und fragen, was aus dem punctum aequans des Ptolemäus geworden ist.

Bild 5:



Die von Fahrstrahl r durch den Winkel dv gebildete Fläche ist

$$dA_1 = \frac{r^2 dv}{2}.$$

Der Flächensatz lautet damit

$$2 \frac{dA_1}{dt} = r^2 \frac{dv}{dt} = r^2 \omega_1 = c =$$

$$\frac{2\pi ab}{T} = \tilde{\omega} ab.$$

Darin ist die Winkelgeschwin-

digkeit $\omega_1 = \frac{dv}{dt}$ eingeführt und die Konstante c durch den Quotienten aus doppelter Ellipsenfläche $2\pi ab$ und Umlaufzeit T gebildet.

$$\text{Daraus folgt } \omega_1 = \frac{c}{r^2} = \frac{\tilde{\omega}ab}{r^2}$$

Für die Beziehung zwischen Radius Vektor r und exzentrischer Anomalie E gilt die (hier nicht abgeleitete) Gleichung

$$r = a(1 - e \cos E).$$

Damit erhält man mit $b/a = \sqrt{1 - e^2}$

$$\omega_1/\tilde{\omega} = \frac{\sqrt{1 - e^2}}{(1 - e \cos E)^2} \approx 1 + 2e \cos E + e^2(3 \cos^2 E - 1/2) \text{ fokal.}$$

Das ist die Beziehung zwischen der Winkelgeschwindigkeit des Planeten um den Fokus ω_1 als Funktion von E , normiert mit dem Wert $\tilde{\omega} = 2\pi/T$ mit T als Umlaufzeit.

Mit $s = 2a - r$ und $r = a(1 - e \cos E)$ wird $s = a(1 + e \cos E)$.

Aus Bild 5 liest man ab: $r \frac{dv}{dt} = s \frac{dw}{dt}$ und $r^2 \frac{dv}{dt} = r s \frac{dw}{dt}$. Da-

mit wird $\frac{dw}{dt} = \omega_2 = \frac{\tilde{\omega}ab}{rs}$ und daraus

$$\omega_2/\tilde{\omega} = \frac{\sqrt{1 - e^2}}{1 - e^2 \cos^2 E} \approx 1 + e^2(\cos^2 E - 1/2) \text{ antifokal.}$$

In Bild 6 sind ω_1 und ω_2 als Funktion der exzentrischen Anomalie E für Mars und Jupiter dargestellt. Wie man sieht, ist die antifokale Winkelgeschwindigkeit ω_2 nur sehr schwach mit E veränderlich. Der freie Brennpunkt einer Kepler-Ellipse spielt zwar nicht genau die Rolle des punctum aequans nach Ptolemäus, kommt ihr aber sehr nahe.

Bild 6:

