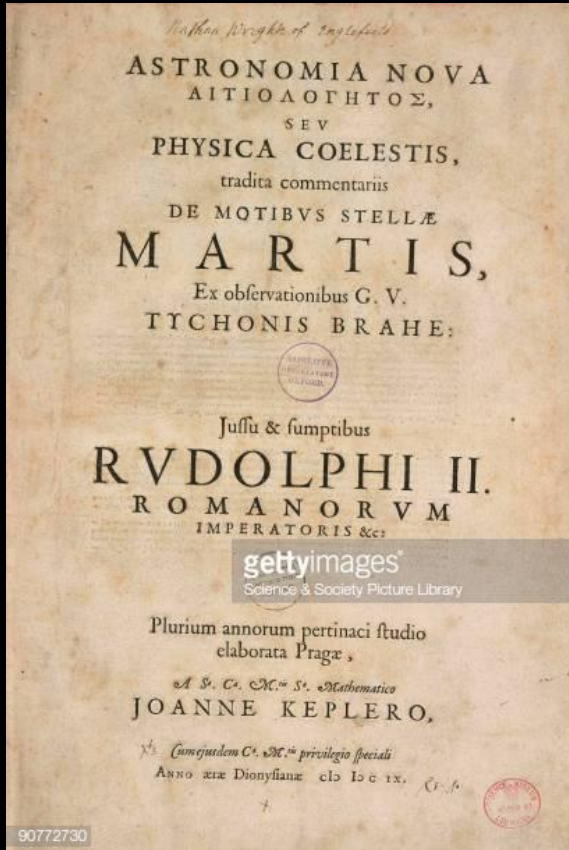


# Erwachende Wissenschaft – Teil 53

Wissenschaft in der beginnenden Neuzeit



## Auf dem Weg in die Neuzeit IV

Astronomia Nova

Eines der wichtigsten Bücher der  
Astronomiegeschichte

Johannes Kepler (1571 - 1630)

# Johannes Kepler und “Die Neue Astronomie”

1597 nimmt Kepler Kontakt mit Tycho Brahe auf, weil er Beobachtungen benötigt, um die in seinem „Mysterium Cosmographicum“ ausgearbeitete Idee über die Lage der Planetenbahnen empirisch überprüfen zu können.

Nachdem Kepler als Protestant Graz verlassen musste, erhielt er die Einladung von Brahe, nach Prag zu kommen, um ihn bei der Auswertung seiner Planetenbeobachtungen zu helfen. In Benatek bei Prag war gerade Christian Severin (Christian Sörensen Lonberg, „Longomontanus“) mit der Reduktion der Daten für die Marsbahn beschäftigt, an der sich nun Kepler mit beteiligte.

Das Verhältnis von Brahe und Kepler war von Anfang an schwierig. Brahe starb jedoch bald, Longomontanus ging nach Dänemark zurück und Kepler wurde mit der Aufgabenstellung, die „Rudolphinischen Tafeln“ fertigzustellen, Prager Hofmathematiker.

Nach einem schwierigen Erbschaftsstreit zwischen dem kaiserlichen Hof und den Verwandten Brahes erhielt Kepler schließlich Zugriff auf dessen Beobachtungsdaten.

*Nathan Wright of England*  
ASTRONOMIA NOVA  
ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ,  
SEV  
PHYSICA COELESTIS,  
tradita commentariis  
DE MOTIBVS STELLÆ  
MARTIS,  
Ex observationibus G. V.  
TYCHONIS BRAHE:

Jussu & sumptibus  
RVDOLPHI II.  
ROMANORVM  
IMPERATORIS &c:

gettyimages®  
Science & Society Picture Library

Plurium annorum pertinaci studio  
elaborata Praga,  
*A. S. C. M. S. Mathematico*  
JOANNE KEPLERO,

*Consuetudine C. M. S. privilegio speciali*  
ANNO XIX Dionysianæ clō 1569.

**Neue, ursächlich begründete  
Astronomie oder Physik des Himmels**

Dargestellt in Untersuchungen  
Über die Bewegungen des Sternes

**Mars**

Aufgrund der Beobachtungen des  
Edelmannes Tycho Brahe.  
Auf Geheiß und Kosten Rudolphs II  
Römischen Kaiser usw.

In mehrjährigem, beharrlichem  
Studium ausgearbeitet zu Prag von  
Sr. Heil. Kais. Maj. Mathematiker

**Johannes Kepler**

Mit ebendieser Kais. Maj. besonderer  
Vergünstigung  
Im Jahr 1609 der Dionysischen  
Zeitrechnung

# Die Bearbeitung von Tychos Marsbeobachtungen

Ein großer Teil der Datenreduktionen (geozentrische Örter) war bereits ausgeführt worden, so dass Kepler sein theoretisches Programm – den Beweis des „*Mysterium cosmographicum*“ umsetzen konnte.

Als erstes untersuchte er, inwieweit die drei konkurrierenden Weltsysteme im Fall des Planeten Mars dessen Position am Himmel für einen gegebenen Zeitpunkt vorhersagen können.

Kepler zeigte im Detail (niedergelegt im ersten Teil der „*Astronomia nova*“), dass alle drei „Theorien“ im Rahmen der Beobachtungsgenauigkeit in der Lage waren, die Marsposition darzustellen.

## **Kepler:**

Alle drei „Weltsysteme“ sind kinematisch gleichwertig. Anhand der Beobachtungen von Brahe ist ein empirischer Beweis, welches davon „wahr“ ist, nicht möglich.

Wenn eine Planetenbahn physikalisch-kinematisch begründet ist, dann muss sich solch eine Bahn aus den Beobachtungen ableiten lassen

→ Kopernikanisches System postuliert „physikalische“ Planetenbahnen

# Rekonstruktion der Erdbahn

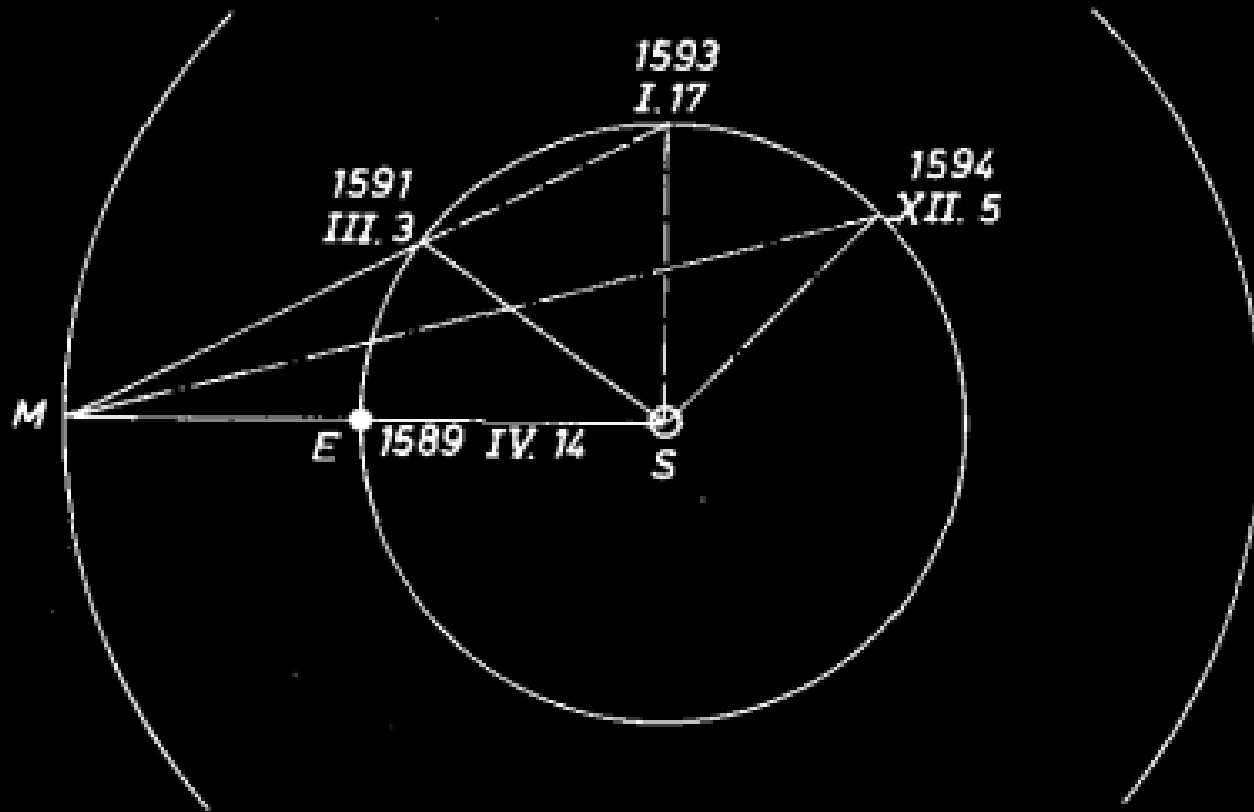
Im kopernikanischen System bewegen sich alle Planeten auf jeweils einer individuellen Kreisbahn um ein für die entsprechende Bahn individuellen Punkt in Sonnennähe, der „mittleren Sonne“. Um die zweite Ungleichheit der Planetenbewegung zu erfassen (konkret dem der Erde), musste auch Kopernikus eine Kreisbahn annehmen, deren Zentrum aus der Sonnenmitte „herausgerückt“ ist, wobei der Grad dieser „Herausrückung“ (Exzentrizität) ein individueller Planetenbahn-Parameter ist.

Die erste Aufgabe, die Kepler sich stellte, war die Bestimmung der Abweichung der „mittleren Sonne“ (Kreismittelpunkt der Erdbahn) von dem wahren Sonnenmittelpunkt. Nach dieser Arbeit halbierte er den von Kopernikus angegebenen Wert der Erdbahn-Exzentrizität.

Da Kepler davon ausging, dass die Ursache für die (noch als gleichförmig) angenommene Planetenbewegung eine vom Zentrum der Sonne, dem Magnetismus analoge (erst „*motrix animalis*“, dann „*gravitas*“) Kraft, ist, prüfte er als nächstes

- welche Auswirkungen hat es, wenn das Zentrum jeder Planetenbahn die Sonnenmitte ist
- ob es richtig ist, dass die von einer Planetenbahn definierte Ebene immer durch die Mitte der Sonne geht

Zur Rekonstruktion der Erdbahn nutzte Kepler aus, dass ca. alle 2 Jahre der Planet wieder an der gleichen Position auf seiner Bahn relativ zur Sonne steht, die Erde aber auf anderen Positionen ...



Auf diese Weise konnte er für eine große Zahl von Zeitpunkten aus den geometrischen Gegebenheiten den Erdbahnradius als Verhältnis zum Marsbahnradius für verschiedene Erdpositionen berechnen.

# Entdeckung des Zweiten Keplerschen Gesetzes

Kepler ermittelte die Exzentrizität der Erdbahn („Herausrückung“ des Mittelpunktes des Bahnkreises aus dem Sonnenmittelpunkt) unter der Benutzung von Marsbeobachtungen – d. h. über die Berechnung des Sonnenabstandes der Erde für die Zeitpunkte, an denen der Mars an der gleichen Position auf seiner Bahn steht.

Schiebt man jetzt den Bahnmittelpunkt der Erde generell in den Sonnenmittelpunkt, dann muss man zur Erklärung der zweiten Ungleichheit der Sonnenbewegung eine ungleichförmige Erdbewegung auf dessen Bahn postulieren, wobei die Bahngeschwindigkeit in den Apsiden Extremwerte (Perihel – höchste Geschwindigkeit, Aphel geringste Geschwindigkeit) erreicht.

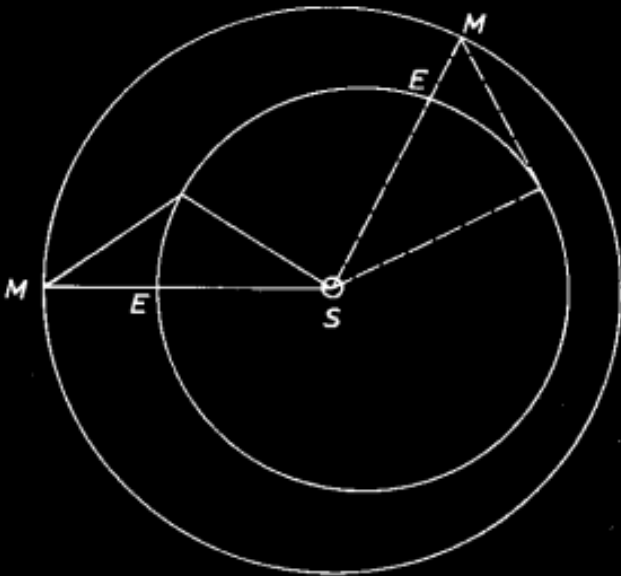
Kepler entdeckt, dass der von der Sonne zur Erde gezogene „Fahrstrahl“ in gleichen Zeiten jeweils gleiche Flächen überstreicht

→ Flächensatz oder „Zweites Keplersche Gesetz“

# Die Analyse der Marsbahn

Johannes Kepler standen Positionsbeobachtungen des Planeten Mars über 10 Marsoppositionsperioden (1580 bis 1600, Genauigkeit 2' und besser) zur Verfügung. Mit diesem Datenmaterial und der von ihm neu bestimmten Erdbahn (die immer noch ein Kreis war, deren Mittelpunkt aber im Sonnenmittelpunkt lag und unter Berücksichtigung der „Zweiten Ungleichheit“ – Flächensatz) berechnete er die genaue räumliche Marsposition für jede der 10 Oppositionen.

Als nächstes versuchte er für diese räumliche Positionen (gegeben durch Radiusvektor und Sonnenlänge) einen Kreis zu finden, der auf der Peripherie diese Punkte enthält.



Es zeigte sich, dass dies unter Widerspiegelung der Beobachtungsgenauigkeit von Tycho Brahe nicht möglich ist.

Danach nutzte er den Flächensatz, um auch den Mittelpunkt der Marsbahn mit dem Sonnenmittelpunkt gleich zu setzen, was die Approximation der Kreisbahn an die berechneten Positionen verbesserte.



Aber auch hier blieb eine Restabweichung, die zu einer Abweichung einer berechneten Position zu einer beobachteten Position von  $\frac{1}{4}$  des Vollmonddurchmessers ( $\sim 8'$ ) führte. Kepler war sich gewiss, dass es sich hier um ein inhärentes Problem handelt, denn die Beobachtungen Tycho Brahes hatten eine Messungsgenauigkeit von lediglich  $2'$ .

→ Kepler versuchte nun die Bahnpositionen durch andere geometrische Objekte als dem Kreis anzunähern: Oval, Eiform und zuletzt Ellipse

### 11. Oktober 1605 – Brief an David Fabricius

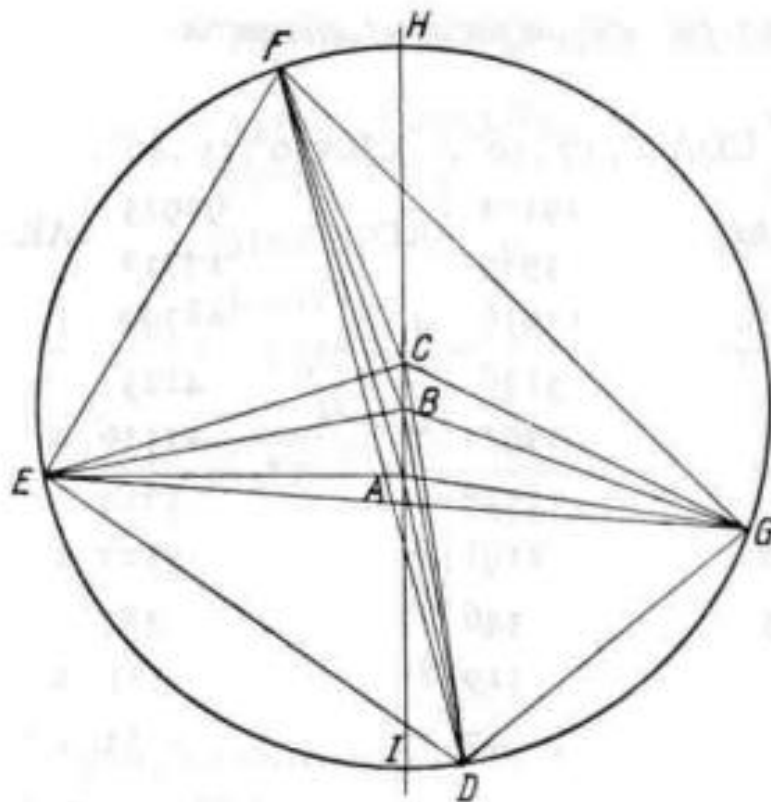
*„Nun habe ich also dies. Die Bahn eines Planeten ist eine wirkliche Ellipse.. . oder jedenfalls weicht sie unmerklich von einer solchen ab.“*

Der Beweisgang war derselbe wie im Falle der Erdbahn. Kepler setzte Ellipsen- und Flächensatz voraus und wies nach, dass die Resultate mit den Beobachtungen in Einklang standen.

Kepler hat auf die Analyse dieser Zusammenhänge eine ungeheure Mühe verwandt. Fabricius gegenüber hat er bekannt, dass er die Rechnung von 0 bis 180 Grad rund vierzigmal durchgeführt hat, ehe sein erstes „Keplersches Gesetz“ sichergestellt war.

	Anno 1580	Anno 1582	Anno 1585	Anno 1587	Anno 1589	Anno 1591
<i>Apbel. anno 1587 . . .</i>	28. 48. 55. Ω	4. 28. 48. 55.	4. 28. 48. 55.	4. 28. 48. 55.	4. 28. 48. 55.	4. 28. 48. 55.
<i>Movetur annis intermediis</i>	6. 42.	4. 28.	2. 14.	0.	2. 15.	4. 32.
<i>Apbel. anno supra scripto</i>	4. 28. 42. 13.	4. 28. 44. 27.	4. 28. 46. 41.	4. 28. 48. 55.	4. 28. 51. 10.	4. 28. 53. 27.
<i>Longitudo media . . .</i>	1. 25. 49. 31.	3. 9. 24. 55.	4. 20. 8. 19.	6. 0. 47. 40.	7. 14. 18. 26.	9. 5. 43. 55.
<i>Adde . . . . .</i>	3. 55.	3. 55.	3. 55.	3. 55.	3. 55.	3. 55.
<i>Correcta long. med. . .</i>	1. 25. 53. 26.	3. 9. 28. 50.	4. 20. 12. 14.	6. 0. 51. 35.	7. 14. 22. 21.	9. 5. 47. 50.
<i>Ergo angulus C . . .</i>	87. 11. 13.	49. 15. 37.	8. 34. 27.	32. 2. 40.	75. 31. 11.	126. 54. 23.
<i>Sinus . . . . .</i>	99880	75767	14909	53058	96823	79961
<i>Eccentricitas aequantis .</i>	7232	7232	7232	7232	7232	7232
	65088	50624	07232	36160	65088	50624
	6509	3616	2893	2169	4339	6509
	579	506	651	36	578	651
	58	43	6	6	14	43
	.	5			2	1
<i>Pars aequation. . . . .</i>	7223 4°. 8'. 33". 91. 19. 46.	5479 3°. 8'. 26".	1078 0°. 37'. 4".	3837 2°. 11'. 57".	7002 4°. 0'. 55".	5783 3°. 18'. 55".
<i>Angulus B . . . . .</i>	88. 40. 14.	46. 7. 11.	7. 57. 23.	29. 50. 43.	71. 30. 16.	123. 35. 28.
<i>Dimid. . . . .</i>	44. 20. 7.	23. 3. 36.	3. 58. 42.	14. 55. 21.	35. 45. 8.	61. 47. 44.
<i>Tangent. . . . .</i>	97706	42572	6955	26650	72002	186464
<i>Quotiens qui prodit ex divisione differentiae laterum in Summam</i>	79643	79643	79643	79643	79643	79643
	716787	318572	47786	159286	557501	796430
	55750	15929	7168	47786	15929	637144
	5575	3982	398	4779	16	47786
	48	557	40	398		3186
		16				478
						32
<i>Tangent. . . . .</i>	778160 37°. 53'. 22". 44. 20. 7.	33906 18°. 43'. 47". 23. 3. 36.	5539 3°. 10'. 13". 3. 58. 42.	21225 11°. 59'. 0". 14. 55. 21.	57344 29°. 49'. 54". 35. 45. 8.	148506 56°. 2'. 40". 61. 47. 44.
<i>Ang. ad A . . . . .</i>	82. 13. 29.	41. 47. 23.	7. 8. 55.	26. 54. 21.	65. 35. 2.	117. 50. 24.
<i>Apbelium . . . . .</i>	148. 42. 13.	148. 44. 27.	148. 46. 41.	148. 48. 55.	148. 51. 10.	148. 53. 27.
<i>Locus ♂ in . . . . .</i>	6. 28. 44. II	16. 57. 4. 69	21. 37. 46. 62	25. 43. 16. 111	4. 26. 12. 111	26. 43. 51. 2
<i>Debet . . . . .</i>	6. 28. 35.	16. 55. 30.	21. 36. 10.	25. 43. 0.	4. 24. 0.	26. 43. 0.
<i>Different. . . . .</i>	0. 9."	1. 34."	1. 36."	0. 16."	2. 12."	0. 51."

<i>Tang. manent</i>	98373	129093	156271	48438
	7661	2927	4426	6168
	6886   11	2581   86	6250   84	2906   28
	590   22	1161   81	625   08	48   44
	59   02	25   82	31   25	29   06
	98	9   03	9   36	3   87
	7536	3779	6917	2988
	4°. 18'. 36".	2°. 9'. 52".	3°. 57'. 24".	1°. 42'. 41".
		3. 57. 24.		4. 18. 36.
<i>Summa una</i>	6.	7. 16.	<i>Summa altera</i>	6. 1. 17. 10



*Sex minutis abundamus, quae tolluntur retractione aphelii per 38". Vt quia fuit in 28°. 49'. 8"  $\Omega$ , jam erit in 28°. 48'. 30"  $\Omega$ .*

