

Kalenderphysik

Die Art und Weise, in der die Menschheit Zeit wahrnimmt und einteilt, war schon immer auch vom physikalischen bzw. kosmologischen Verständnis der »Welt« geprägt. Dieses entwickelte sich durch die systematische Beobachtung (zyklischer) natürlicher Vorgänge: Vegetationszyklen, Ebbe-Flut-Wechsel, Regenzeiten und vor allem astronomische Zyklen. Neue Einsichten in Tag- und Nachtwechsel, Mondzyklen, Sonnen- und Planetenbahnen trugen letztlich auch maßgeblich zu einem besseren Verständnis von Zeit allgemein bei und ermöglichen unsere heutige präzise ineinandergreifende Hochgeschwindigkeitswelt.

Einer der prägendsten und bedeutendsten Schritte in diesem Prozess war die sog. kopernikanische Wende. Damit wird im enge-

ren Sinne die Abkehr vom geozentrischen (die Erde als Mittelpunkt des Universums) hin zu einem heliozentrischen (die Sonne im Mittelpunkt) Weltbild bezeichnet, die sich im 16. und 17. Jahrhundert in Europa vollzog. Im weiteren Sinne ist damit die Herausbildung der modernen Naturwissenschaften und der damit verbundene neue Ansatz zur Erforschung der Welt gemeint: Der Wandel bestand darin, bei der Erforschung der Welt über den unmittelbaren Augenschein hinauszugehen, um durch konstruktive Vernunft zu neuen Erkenntnissen zu gelangen.

Eingeleitet wurde diese Wende von Nikolaus Kopernikus (1473–1543), der in seinem Hauptwerk *De revolutionibus orbium coelestium* – kurz vor seinem Tod 1543 veröffentlicht – ein »Universum« beschrieb, in welchem die bewegungslose Sonne (und nicht die Erde) den Mittelpunkt bildet und von acht konzentrischen Kugelschalen (Planetensphären) umgeben ist. Auf den inneren sieben Schalen bewegen sich die Planeten, während die äußere, ebenfalls bewegungslose Schale die Fixsterne enthält. Die Planeten sind in der Reihenfolge Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter und Saturn um die Sonne herum angeordnet, der Mond umkreist die Erde, und die scheinbare Bewegung der Himmelskörper um die Erde ergibt sich durch die Drehung der Erde um ihre eigene Achse.

Ein weiterer Meilenstein war die Veröffentlichung von *Astronomia Nova AITIOΛΟΓΗΤΟΣ seu physica coelestis, tradita*

Jam postquam semel hujus rei periculum fecimus, audacia subvecti porro liberiores esse in hoc campo incipiemus. Nam conquiram tria vel quotcunque loca visa MARTIS, Planeta semper eodem eccentrici loco versante: & ex his lege triangulorum inquiram totidem punctorum epicycli vel orbis annui distantias a puncto æqualitatis motus. Ac cum ex tribus punctis circulus describatur, ex trinis igitur hujusmodi observationibus situm circuli, ejusque augium, quod prius ex præsupposito usurpaveram, & eccentricitatem a puncto æqualitatis inquiram. Quod si quarta observatio accedet, ea erit loco probationis.

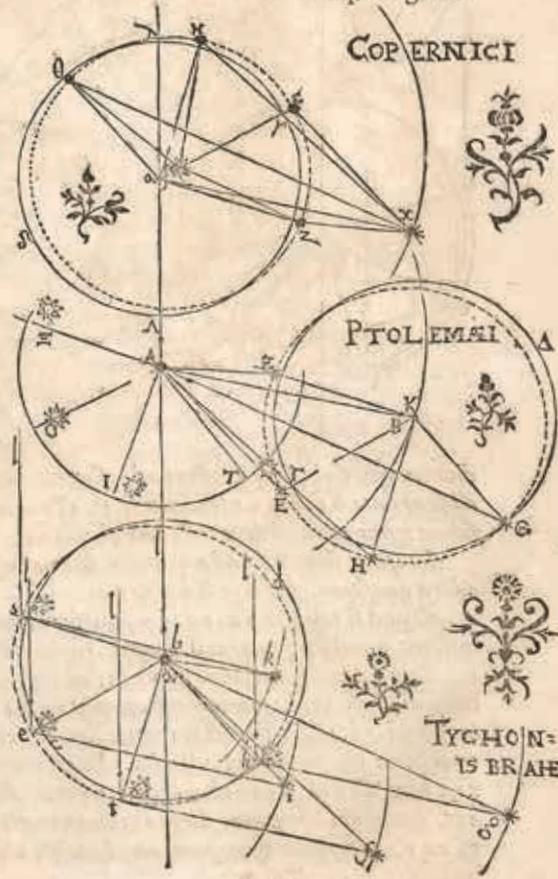
PRIMUM tempus esto anno MDCXC D. V Martii vesperi H. VII M. X eo quod tunc ꝑ latitudine pene caruit, ne quis impertinenti suspicione ob hujus implicationem in percipienda demonstratione impediatur. Respondent momenta hæc, quibus ꝑ ad idem fixarum punctum redit: A. MDCXII D. XXI Jan. H. VI M. XLI: A. MDCXIII D. VIII Dec. H. VI M. XII: A. MDCXV D. XXVI Octob. H. V M. XLIV. Estq; longitudo Martis primo tempore ex

TYCHONIS restitutione. i. 4. 38. 50: sequentibus temporib. toties per i. 36 auctior. Hic enim est motus præcessionis congruens tempori periodico unius restitutionis MARTIS Cumq; TYCHO apogæum ponat in 23 1/2 ꝑ, æquatio ejus erit ii. 14. 55: propterea longitudo coæquata anno MDCX i. 15. 53. 45.

Eodem vero tempore. & commutatio seu differentia medii motus SOLIS a medio Martis colligitur 10. 18. 19. 56: coæquata seu differentia inter medium SOLIS & MARTIS coæquatum eccentricum 10. 7. 5. 1.

PRIMUM hæc in forma COPERNICANA ut simpliciore ad sensum proponemus.

Sit a punctum æqualitatis circuitus terra, qui putetur esse circulus d ꝑ ex a descriptus: & sit Sol in partes ꝑ, ut a ꝑ linea apogæi



Die drei »falschen« Weltbilder, die Kepler bekannt und mit seinen Beobachtungsdaten verglichen wurden. Aus der *Astronomia nova*, 1609 (WLB, Ra 16 Kep 1).

commentariis de motibus stellae Martis ex observationibus G.V. Tychonis Brahe (dt. *Neue Astronomie, basierend auf Ursachen oder Himmelsphysik, behandelt anhand von Kommentaren zu den Bewegungen des Sterns Mars, aus den Beobachtungen von Tycho Brahe*) durch Johannes Kepler (1572–1630) im Jahre 1609. Im wahrsten Sinne des Wortes bahnbrechend war hier vor allem die heute als 1. Kepler'sches Gesetz bezeichnete Erkenntnis, dass sich die Planeten nicht auf Kreisbahnen, sondern auf Ellipsen bewegen, in deren Brennpunkt sich die Sonne befindet. Auch ist die Bahngeschwindigkeit nicht konstant, sondern variiert vielmehr so, dass ein von der Sonne zum Planeten gezogener Fahrstrahl in gleichen Zeitintervallen gleich große Flächen überstreicht (2. Kepler'sches Gesetz). Absolut revolutionär war dabei auch die Arbeitsweise Keplers. Er verwarf, anders als alle früheren Astronomen, die von den Philosophen seit Platon und Aristoteles »vorgeschriebene« gleichförmige Kreisbewegung, der dann weitere gleichförmige Kreisbewegungen hinzugefügt wurden, um die Abweichungen von den am Himmel beobachteten Planetenpositionen zu verringern (sog. Epizykeltheorie: Die Planetenbahnen werden durch Kreise, die auf Kreisen »abrollen«, beschrieben). Vielmehr versuchte Kepler, aus den Himmelsbeobachtungen die tatsächlichen Bahnen direkt zu rekonstruieren. Wie seine Zeitgenossen Galileo Galilei (1564–1642) und Francis Bacon (1561–1626) stellte er

dabei das Experiment bzw. die genaue Beobachtung der Natur als wichtigsten Weg zur Erkenntnis in den Mittelpunkt. Diese Denkweise von Kepler zeigt sich auch darin, dass er, obwohl protestantisch erzogen und geprägt, schon in frühen Jahren als Hofastronom die Einführung des Gregorianischen Kalenders befürwortete, da dieser die Wirklichkeit wesentlich besser abbildet.

Abgebildet ist das Exemplar von Keplers *Astronomia Nova* aus dem Bestand der Württembergischen Landesbibliothek. Die Abbildung zeigt die drei Kepler bekannten Weltbilder, die dieser dann im Fortschreiben seines Buches als nicht mit den Beobachtungen zu vereinbaren verwarf. Zunächst das kopernikanische Weltbild mit der Sonne im Zentrum, wobei auch für Kopernikus nur perfekte Kreisbahnen denkbar waren. Darunter das ptolemäische Modell, das vor Kopernikus allgemein als »gottgegeben« und richtig akzeptiert wurde und zuunterst das Modell von Tycho Brahe (1546–1601), der versuchte, in seinem sehr komplexen Konzept das geozentrische Weltbild zu »retten«. Tycho Brahe, Keplers Vorgänger als kaiserlicher Hofastronom, gilt als ein Begründer der modernen Astronomie. Er sammelte über lange Zeiträume hinweg sehr umfangreich, detailliert und höchst präzise Messdaten, auf die Kepler bei seinen Studien der Marsumlaufbahn zurückgreifen konnte. Allerdings rekonstruierte das sog. Tychonische Weltbild zwar den Verlauf der Planetenbahnen

äußerst exakt, aber die Bahngeschwindigkeiten passten nicht ganz. Doch eben gerade das zweite Kepler'sche Gesetz ermöglichte es, den Umlauf der Sonne in nie zuvor dagewesener Genauigkeit zu vermessen und unterjährig zu unterteilen.

Gegen Ende des 17. Jahrhunderts gelang es dann Isaac Newton (1643–1727) in seinem Werk *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, mithilfe der von ihm – parallel zu Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716) – entwickelten Differential- und Integralrechnung, anhand (aus heutiger Sicht) einfacher Grundannahmen und einem allgemeinen Gravitationsgesetz die Kepler'schen Gesetze herzuleiten.

Newtons allgemeine Überlegungen zur Zeit – die auch Bestandteil seiner (Streit-)Korrespondenz mit Leibniz waren – haben sich durchgesetzt und lange Zeit das Bild der Zeit innerhalb der Physik geprägt. Diese gelten sogar heute noch zumindest für den erfahrbaren Alltag: Zeit und Raum sind eine Art realer Behälter für die Ereignisse, die in ihm stattfinden. Die Zeit vergeht für Isaac Newton dabei konstant gleichmäßig ohne Anfang und Endpunkt, während für Leibniz Zeit und Raum nur gedankliche Konstruktionen sind, um die Beziehungen zwischen Ereignissen zu beschreiben. Dass Raum und Zeit nicht absolut sind und in gegenseitiger Beziehung zueinander stehen, ist eine vergleichsweise junge Erkenntnis der Relativitätstheorie (als spezielle Relativitätstheorie 1905 bzw. als allgemeine Relativitätstheorie 1915 von Albert Einstein (1871–1955) verfasst). Das heute weitestgehend allgemein akzeptierte Bild eines Urknalls als Beginn eines expandierenden Universums wurde sogar erstmalig erst 1931 durch Georges Lemaître (1894–1966) formuliert. Argumente in den aktuellsten kosmologischen Diskussionen, die auch die Quantenmechanik berücksichtigen, sprechen zumindest in Bezug auf

sehr kleine Zeitskalen (Planck-Zeit, $\sim 10^{-44}$ s) dafür, auch Leibniz' Zeitbegriff wieder aufzugreifen. Und einzelne Physiker wie z. B. Martin Bojowald (* 1973) argumentieren, dass es auch eine Zeit »vor dem Urknall« gab und es einen laufenden Zyklus von Entstehung und Vernichtung gibt.

↳ Marcel Thoms

Literatur

→ Thomas de Padova: Leibniz, Newton und die Erfindung der Zeit. München 2013; → Carl Friedrich von Weizsäcker: Kopernikus, Kepler, Galilei, in: ders.: Die Tragweite der Wissenschaft, Bd. 1: Schöpfung und Weltentstehung. Die Geschichte zweier Begriffe, Stuttgart 1964, S. 96–117; → Jürgen Hamel / Vera Trost: Johannes Kepler – Habe die Himmel erforscht ..., Stuttgart 2009; → Hubert Goenner: Einsteins Relativitätstheorien, 6. Aufl., München 2016.