

Kepler und die „Kopernikanische Wende“

Walter Gerlach

Es werden die vielfachen Faktoren diskutiert, welche vor allem im XVII. Jahrhundert zur sogenannten Kopernikanischen Wende und damit zur neuen exakten Naturwissenschaft führten.

Es ergibt sich die besondere Bedeutung von Johannes Kepler sowohl durch seine wissenschaftlichen Arbeiten als auch durch seine wissenschaftliche Haltung.

Für den Naturwissenschaftler bedeutet „Kopernikanische Wende“ oder „Kopernikanische Revolution“ den Übergang von Mittelalter zu Neuzeit, die Begründung der „exakten Naturwissenschaft“.

Wir müssen eine kurze Bemerkung über die Begriffe „Wende“ und „Revolution“ vorausschicken, für die es keine eindeutige Definition gibt. Sie gehören zu den Schlagwörtern, durch deren Gebrauch die Gedanken des Hörers oder Lesers festgelegt werden oder werden sollen. Das Wenden einer Münze führt von einem Bild ohne Übergang zu einem anderen. Eine Wendung in der Gehrichtung kann eine plötzliche oder eine allmähliche Richtungsänderung sein. Im Begriff „Revolution“ ist nur das Gewaltsame eindeutig, die Frage ihrer Folgen bleibt völlig offen.

Das Werk des Nikolaus Kopernikus „De Revolutionibus Orbium Coelestium libri VI“, im Druck erschienen kurz vor seinem Tod am 24. Mai 1543, tritt nicht als *deus ex machina* in der Geistesgeschichte auf; es fällt — abgesehen davon, daß der Grundgedanke der zentralen Stellung der Sonne im Planetensystem bis ins Altertum zurückgeht¹ — als eines der markanten Ereignisse in eine Zeit langsamer Umorientierung des naturphilosophischen Denkens. Doch soll hiervon nicht gesprochen werden. Wir wollen vielmehr zeigen, wie erst kurz vor und nach 1600 nicht allein, jedoch wesentlich durch Kepler, zwar von dem Werk des Kopernikus ausgehend, aber sofort und weit über dasselbe hinausgehend, sich die neuartigen und zum Teil erst später fruchtbar werdenden Gedanken entwickeln, die wir heute „die Kopernikanische Wende“ nennen.

I.

Das Erscheinen des Werks des Kopernikus führte zunächst weder zu einer Revolution, noch auch zu einer Wende, weder in der Astronomie noch im Denken über die Natur noch in der Weltanschauung. Der Nürnberger Osiander hatte in dem unerbetenen Vorwort² das mathematisch aus alten und neuen Beobachtungen abgeleitete „Heliozentrische Planetensystem“ (eine viel später eingeführte Benennung), d. h. die in sich zurückkehrende Bewegung (*revolutio*) der 6 Planeten (darunter der Erde) um die Sonne, eine „neue, aber in nichts gegenüber den alten wahrscheinlichere

Hypothese“ genannt.³ Melanchthon und andere lehnten dasselbe zunächst kurzwegs ab; aber die späteren maßgeblichen protestantischen Theologen — so Keplers Urteil 1609 (also 65 Jahre später) — „nehmen kein Gewissen, dies zu glauben“ und alle Päpste seit 1543 hätten „Copernicum . . . noch nie eines Irrtums oder Ketzerei beschuldigt“.

Als solche wurde die Lehre „von der bewegten Erde“ erst 1616 bei dem Verbot des Werkes und dann besonders scharf im Urteil des Heiligen Officium vom 22. Juni 1633, dem Abschluß des Galilei-Prozesses, erklärt. Auf die weitere Entwicklung der Astronomie, der neuen Naturwissenschaft überhaupt, hatten diese Fehlentscheidungen keinen wesentlichen Einfluß.

II.

Eine Folge des Kopernikanischen Werkes für die Astronomie ist der neue Gedanke von Tycho Brahe, daß eine Entscheidung über den Bau des Sonne-Erde-Planeten-Systems erst möglich ist, wenn langzeitige, systematische, mit größter Genauigkeit durchgeführte Messungen der wechselnden Planetenstellungen vorliegen.

Neu ist auch Tychos sorgfältige Überlegung aller experimenteller Einzelheiten der Beobachtungsinstrumente und der Meßmethode zur größtmöglichen Vermeidung aller Fehlerquellen, sowie die Errichtung einer großen Sternwarte, des ersten „Großinstituts für eine spezielle Aufgabe“.

Tychos Vorstellung über die Struktur des Planetensystems war durchaus anti-kopernikanisch und auch antiptolemäisch. Er übernahm von dem anerkannten System des Ptolemäus die im Mittelpunkt der „Welt“ ruhende Erde, welche von der Sonne umkreist wird; die Planeten sollten aber nicht die Erde, sondern die Sonne auf Kreisen umlaufen.

Ein beweiskräftiges Argument gegen die noch vorherrschende — wie Kepler mehrfach bemerkte! — Vorstellung von „festen Sphären“ (orbes solidi) hatte Tycho mit seinen berühmten Parallaxenmessungen an dem Kometen von 1577 erbracht; nach diesem lief die Kometenbahn durch die Venusosphäre, welche er also zertrümmert haben mußte. Darüber hinaus widersprach der experimentelle Nachweis, daß ein Komet eine vorübergehende interplanetarische, „außerhalb der Mondosphäre“ liegende Erscheinung ist, dem Dogma der ewig unveränderlichen himmlischen Sphären. (Galilei hielt daran fest, daß die Kometen — er nannte sie Tychonische Affenplaneten — atmosphärische Dünste sind.) Damit waren als eine, wenn auch nur indirekte Folge des Werkes des Kopernikus ein astronomisches und ein weltanschauliches Prinzip der alten Naturphilosophie gefallen.

Das Tychonische Planetensystem spielte als ein Kompromiß zwischen biblischer Forderung (die zentrale ruhende Erde) und astronomischen Erkenntnissen (Lauf der Planeten um die Sonne) noch bis nach Newton eine Rolle.

III.

Die erste *direkte* Folge des Kopernikanischen Werkes und der neuen von ihm veranlaßten Tychonischen Beobachtungen *für die Astronomie* ist Keplers „Astronomia Nova“ von 1609: aus den langjährigen Planetenmessungen erschloß Kepler ohne jede Voraussetzung, „frei von jeglichem Gewand einer Hypothese“, unabhän-

gig von allen bestehenden „Gemalden von seienden und nichtseienden Dingen . schwitzend und keuchend“ die Keplerschen Gesetze der elliptischen Planetenläufe um die Sonne.

Wenn Tycho Messungen von höchster Präzision als Grundlage für jede astronomische Erkenntnissuche fordert, so stellt Kepler für eine naturwissenschaftliche Theorie die Forderung auf: sie muß quantitativ mit den Ergebnissen der Beobachtungen übereinstimmen — innerhalb der sorgfältig zu prüfenden Meßgenauigkeit.

Mit der Aufstellung der *Bahnellipsen* gibt Kepler den seit 2000 Jahren anerkannten, aus der griechischen Philosophie stammenden Grundsatz auf, daß die „natürliche“ (so Aristoteles) Bewegungsform in dem außerhalb der Mondbahn liegenden Bereich der mit konstanter Geschwindigkeit durchlaufene *Kreis* ist. Die aus der Natur abgelesenen Verhältnisse, die „Wahrheit in der Natur“, erzwingen eine Neuorientierung des Denkens. Hier wird das Grundprinzip für alle spätere Naturwissenschaft aufgestellt und praktiziert.

Wie einschneidend Keplers Aufgeben der „natürlichen Kreisbahnen“ himmlischer Körper in das wissenschaftliche Denken seiner Zeit war, sieht man daran, daß selbst Galilei bis zuletzt an den Kopernikanischen, d. h. Aristotelischen Kreisen festhielt.⁴ Hier blieb er Aristoteliker, obgleich er u. a. durch die Ableitung der Wurfparabel die Aristotelische Lehre von der „natürlichen“ geradlinigen Bewegung im irdischen Bereich ad absurdum geführt hatte — ebenfalls ein wichtiger Faktor der „Kopernikanischen Wende“.

Im Gegensatz zu der bisher geforderten dogmatischen Anerkennung der von „Autoritäten“ gelehrten Prinzipien lehrt Kepler mit der Begründung der neuen Naturwissenschaft auch die zeitliche Begrenztheit jeder naturwissenschaftlichen Aussage: Beobachtungsergebnisse könnten durch neue Erfahrungstatsachen „in den kommenden Jahrhunderten“ als unvollkommen oder auch falsch gedeutet erkannt werden; nur langsam in kleinen Schritten über Generationen hin würden sich wirkliche sichere Erkenntnisse ergeben, ja, im Grunde bringe jedes neue Wissen nur „Erneuerung alter Unwissenheit“.

IV.

Keplers Planetengesetze sind das Ergebnis der mathematischen Auswertung von Tychos Beobachtungen, also für seine Zeit „klassische“ Astronomie; für ihre Ableitung gilt dasselbe, was Kepler von Kopernikus' Arbeitsweise sagt: „more Ptolemaico“. Aber von Anfang an, seit 1595, leitet ihn ein weit über sie hinausführender, der Zeit noch ganz fernliegender Gedanke nach den „*Ursachen* für Zahl, Größe und Bewegung der Planetenbahnen“. Das Problem ist nicht mehr, wie Gott die Welt erschaffen hat und lenkt, sondern welche Gesetze er der Welt eingepreßt hat. Kepler setzt „an die Stelle der Himmelstheologie eine Himmelsphysik“. Die *causae physicae*, die *Naturgesetze* sind aus der Beobachtung der Natur zu ermitteln.

So ist der Titel des großen Werks von 1609 „*Astronomia seu Physica Coelestis*“: *Himmelsphysik* — das ist Keplers neue Astronomie.⁵ Die Verbindung von Astronomie und Physik — von den Gelehrten allgemein abgelehnt, der Trennung von Erde und Himmel widersprechend — ist eine prinzipielle Erweiterung seiner ersten (aber auch später nicht aufgegebenen) Vorstellung, daß „der Schöpfer

Geometrie getrieben“ habe; sie ist der zugleich naturwissenschaftlich wie weltanschaulich wichtigste, heute mehr denn je die Forschung leitende und reife Früchte tragende Gedanke der „Kopernikanischen Wende“.

Kepler übernimmt das Kopernikanische Bild „der von königlichem Thron aus die Familie der Planeten regierenden Sonne“, gibt ihm aber einen rationalen physikalischen Inhalt: von der Sonne geht wie das Licht auch eine massenbewegende, eine ponderomotorische Kraft auf die Planeten aus; sie muß deshalb eine ausgezeichnete feste Lage in der Mitte der Welt haben.

Die mannigfachen, oft wechselnden, nach größerer Klarheit suchenden Überlegungen über die Art der Kraft — die *anima motrix*, die *species immateriata*, *vis* und *vigor* etwa (Gilberts Gedanken aufnehmend) magnetischer Herkunft — diese physikgeschichtlichen Fragen interessieren hier ebensowenig wie die Überlegung, daß *auch* die Lichtstrahlen eine solche Kraft ausüben.⁶ Entscheidend für die Entwicklung der Himmelsmechanik bis zu Newtons Gravitationsgesetz ist die neue Vorstellung einer einheitlichen Physik des Himmels und der Erde. So erweitert Kepler die Kraftvorstellung auf alle ohne materielle Übertragung erfolgenden Bewegungen: eine *wechselseitig* wirkende Kraft zwischen Erde und Stein bewirkt den „freien Fall“, zwischen Erde und Mond den Lauf des Mondes, zwischen Mond und Erde Ebbe und Flut auf der Erde. Sie beruht auf der „*gravitas*“ aller körperlichen Materie; er nennt eine Wirkung durch den freien Raum hindurch — vom Magnet abstrahierend — kurz „magnetisch“.⁷

„Vom Sein der Dinge zu den Ursachen ihres Seins und Werdens vorzudringen“ wird *die* Aufgabe aller Naturforschung. — In ihrer Auswirkung ist Keplers einheitliche, irdische und himmlische Vorgänge gesetzmäßig verbindende „Physik“ wohl nur vergleichbar mit Wöhlers Entdeckung der gleichen „Chemie“ in Reagenzglas und Organismus. Mit seiner Synthese des Harnstoffs 1828 wird die bis dahin bestehende Grenze zwischen chemischen Reaktionen in der unbelebten und in der belebten Materie durchbrochen.

Mit der zwar gut begründeten, aber — wie betont sei — noch keineswegs bewiesenen Einordnung der „bewegten Erde“ in die Schar der Planeten⁸ (das stärkste Argument war das dritte Keplersche Gesetz von 1618) als eine „Wahrheit der Natur“ wurde der herrschenden Ansicht der absoluten Gültigkeit der biblischen Texte auch in Fragen der Natur widersprochen. Keplers Urteil ist klar und eindeutig: „Die Bibel ist kein Lehrbuch der Optik und der Astronomie“.

Mit dem Satz „In der Theologie gilt das Urteil der Autoritäten, in der Naturphilosophie das der Vernunftgründe“ wird ein Trennungsstrich gezogen: die *Autonomie der Naturwissenschaft* wird *das* ihre Zukunft bestimmende Moment der „Kopernikanischen Wende“. Auf die kirchliche Anerkennung mußte diese Unabhängigkeit der Naturwissenschaft allerdings noch lange warten.

Die Autonomie der Naturwissenschaft verlangt auch ein entsprechendes Verhalten der Gelehrten. Es ist ihre „Pflicht“ (so Kepler), „das im Innern als wahr Erkannte auch nach außen mit allen Kräften des Geistes zu vertreten“ — ohne Rücksicht auf Zustimmung oder Ablehnung der Gelehrten oder der Menge.

Zu Galileis und Keplers Zeit gab es an den Universitäten noch keine naturwissenschaftlichen Lehrstühle; Astronomia oder Sphaera wurden als mathematische

Disziplinen, Physik „nach Albertus Magnus“ oder „nach Aristoteles“ (dieses noch bis in das 18. Jahrhundert) gelesen. Die an Universitäten wirkenden Gelehrten waren theologisch gebunden. Man mag es ein Glück nennen, daß weder Kopernikus noch Tycho noch Kepler einer Universität angehörten.⁹

„Überlaßt der Schule, die ihr verlassen habt, ihre Sitten“, so tröstet Kepler 1610 den über die ablehnende Haltung der Hauptphilosophen in Pisa klagenden Galilei; und später schreibt er: „Bei anderen, an die Hochschule gebundenen (Academiae juratis) bezweifle ich, daß sie etwas aufkommen ließen, was sich gegen die herrschende Anschauung wendet.“

In der Tat ist der Widerstand der Universitäten gegen das Neue ihr einziger Beitrag zur „Kopernikanischen Wende“! Galilei griff auch ihren „Wissenschaftsbetrieb“ an, die wortreichen, in Auslegung von Schriften bestehenden Disputationen; er schrieb seine größten Werke nicht mehr lateinisch, in der Sprache der Gelehrten, sondern in der Landessprache.¹⁰

Zur Autonomie der Naturwissenschaft gehört auch die Beachtung des von Kepler anlässlich des Widerstandes der Protestanten gegen die Einführung des Gregorianischen Kalenders ausgesprochenen Tadels: daß Mathematiker sich in mathematischen Fragen theologischer Argumente bedient haben!

VI.

Ein bedeutsame Rolle für die „Kopernikanische Wende“, d. h. für die neue Naturwissenschaft, spielt Galileis Beobachtung des Himmels mit dem Fernrohr (ab 1610). Sie hat ursprünglich mit dem Kopernikanischen System nichts zu tun; sie erbrachte auch (damals!) keine neuen Argumente für dieses, wohl aber gegen das ptolemäische System: die Phasen der Venus bewiesen ihren Umlauf (nicht aber den der Erde) um die Sonne. Insofern ist diese Beobachtung für die damalige Astronomie von Bedeutung, etwa als eine für Tychos System sprechende Beobachtung, wie sie auch vielfach gedeutet wurde.

Geistesgeschichtlich betrachtet gehört die Einführung des Fernrohres zu den bestimmenden Ereignissen in der immer stärker nach Beobachtungen der Natur rufenden Philosophie. So muß als wesentliche Bedeutung der Galileischen Entdeckung für die Entwicklung der neuen Naturwissenschaft der Nachweis angesehen werden, daß mit künstlichen Instrumenten Dinge und Vorgänge in der Natur aufgefunden werden können, von welchen der Mensch ohne diese nichts wissen kann, weil sie seinen Sinnen nicht wahrnehmbar sind. Daß diese auch noch in dem „den Menschen verschlossenen, ewig unveränderlichen himmlischen Bereich“ lagen, erhöhte ihre Bedeutung für den sich vollziehenden weltanschaulichen Wandel. So versteht man die — wörtlich zu nehmen! — *unbesehene* Ablehnung der Fernrohrbeobachtungen durch viele Gelehrte, welche bis zum Vorwurf absichtlicher Täuschung gingen. Keplers Briefe aus dieser Zeit sind hierzu aufschlußreich; er selbst bekannte sich sofort offen zu Galilei, obwohl auch er früher die „Durchdringbarkeit der Himmelssubstanz“ bezweifelt hatte. Der Widerstand gegen die neue beobachtende Astronomie kam allerdings sehr schnell zum Erliegen, wesentlich gefördert durch das neue Keplersche Fernrohr.

Grundsätzliche Bedeutung hatte der Nachweis von Jupitermonden auch für

Kepler, der für sie das Wort „Satelliten“ prägte. Denn wieder fiel ein altes Dogma, daß himmlische Bewegungen nur um den Mittelpunkt der Welt (gleich Erde) erfolgen. Auch schloß der Umlauf der Satelliten um den Jupiter die Annahme der „sphaerae solidae“ endgültig aus.

War schon die Behauptung von Venusphasen ein Verstoß gegen den Grundsatz der in nichts („... noch in ihrer Helligkeit noch in...“) veränderlichen Himmelserscheinungen, so galt dies in viel stärkerem Maße für die Bekanntmachung der Sonnenflecken, die fast gleichzeitig und offenbar unabhängig von verschiedenen Astronomen erfolgte. Denn sie widersprachen der absoluten Reinheit, der Makellosigkeit der Sonne, ganz abgesehen davon, daß ihr Erscheinen, ihr Verschwinden und ihre variable Zahl und Form dem Prinzip der himmlischen Konstanz widersprachen. Interessant ist hier eine Bemerkung in Galileis Sonnenflecken-Briefen bei der Abwägung möglicher *natürlicher* Ursachen der Sonnenflecken: „Wer wollte es mir verbieten, das zu sagen...“. Das Prinzip der Konstanz der Fixsterne mußte erst 1663 durch Montenoris Entdeckung der periodisch-„Veränderlichen“ aufgegeben werden; schon früher hatte Fabricius die „res mira sed vera“ beobachtet, daß ein vor längerer Zeit schwacher Fixstern wesentlich heller geworden war: die Entdeckung der „Mira Ceti“.

Es sei hinzugefügt, daß die etwa gleichzeitige Entwicklung des Mikroskops in Holland und die auch in die gleichen Jahre fallende Entdeckung und Analyse des Blutkreislaufs durch Harvey in England als Phänomene neuen Forschungsdenkens zu der „Kopernikanischen Wende“ gehören.

VII.

Wie weit William Gilberts „novum philosophandi genus — non ex libris sed ex rebus ipsis scientiam quaerere“ und Galileis „Nuova Scienza“, das Wechselspiel zwischen Induktion und Deduktion mit der Entscheidung durch ein *experimentum crucis* — von beiden demonstriert und nicht nur philosophisch gefordert! — die Richtung der „Kopernikanischen Wende“ außerhalb der Astronomie bestimmt haben, liegt nicht im Rahmen der von uns gestellten Aufgabe. Wir beschränken uns auf die mit Keplers Arbeit verbundenen Beispiele.

Als wesentliches Ereignis der neuen Naturwissenschaft wird gelegentlich (z. B. H. Reichenbach) der Versuch von Descartes angeführt, mit einer mit Wasser gefüllten Glaskugel die Physik des Regenbogens zu klären, also eine „himmlische“ Erscheinung im Laboratorium ablaufen zu lassen, zu „simulieren“. Abgesehen davon, daß die Bildung des Regenbogens schon lange als ein Vorgang in Wolken, also „sublunarer Art“, angesehen wurde, ist der Wasserkugelversuch vielfach in den vorangehenden Jahrhunderten gemacht worden. Auch Kepler benutzte ihn, kam weiter als die meisten seiner Vorgänger, aber doch nicht ganz zur endgültigen Lösung, weil er eigentlich im Gegensatz zu seinen Prinzipien die quantitativen Fragen nicht ausreichend bearbeitete. Heute ist die Erforschung *kosmischer* Vorgänge mit experimentellen Laboratoriumsmitteln Grundlage der Physik und der Astrophysik.

Wichtiger für die „Kopernikanische Wende“ ist eine andere Untersuchung Keplers. Die physikalische Natur der Luft, ihr schwebender Zustand zwischen Himmel und Erde war ein ungelöstes Problem, mit dem sich Kepler wegen der

für seine Astronomie erforderlichen Kenntnis der atmosphärischen Strahlenbrechung befassen mußte.

Richtungsweisend für die spätere Naturerforschung wurde sein prinzipieller Standpunkt, vor der Behandlung einer speziellen Frage das generelle Problem — hier die Lichtbrechung — zu behandeln. Hierbei traf er auf die Frage des Einflusses der Dichte des brechenden Mediums auf die Größe der Brechung, also der *Ursache* für deren Variabilität. Aus der Tatsache einer atmosphärischen Strahlenbrechung schloß er auf die „körperliche Natur“ der Luft: „aerem gravem seu ponderosum esse“; und er fügte hinzu: „wenn ich mir auch den Tadel der meisten Gelehrten zuziehe: so lehrt es mich die Betrachtung der Natur“.

Das Suchen nach der „Wahrheit in der Natur“ — so formulieren Galilei und Kepler die Aufgabe der neuen Naturwissenschaft; denn, so sagt Kepler, „die Werke Gottes sind erforschbar“. Das ist für uns das Grundgesetz der „Kopernikanischen Wende“.

Auch eine andere Art des Experiments zur Verifizierung einer theoretischen Voraussage sollte der „Kopernikanischen Wende“ zugeordnet werden. Keplers Theorie des Sehvorgangs — die Augenlinse bildet ein verkleinertes umgekehrtes Bild des Gegenstandes auf dem Augenhintergrund, der retina, ab — wurde 1613 von dem Jesuitenpater Christoph Scheiner in Ingolstadt dadurch geprüft, daß er die Rückwand von einem isolierten Ochsenauge so weit entfernte, daß sie durchsichtig wurde. Er stellte dann eine Kerze vor das Auge und sah direkt die verkleinerte umgekehrte Flamme. Es ist wohl das erste biophysikalische Experiment mit dem Beweis der Übertragbarkeit der Physik auf einen physiologischen Vorgang.

VIII.

Mit der neuen Astronomie verlor der Mensch seine Vorzugsstellung in der Mitte der Welt; mit dem Begriff des Naturgesetzes wurde die Stellung des Menschen zum Geschehen in der Welt geändert. Damit erfaßt die „Kopernikanische Wende“ die allgemeine Weltanschauung.

Kepler sieht, daß ihre Erneuerung von einer weiten Verbreitung der neuen naturwissenschaftlichen Erkenntnisse ausgehen muß: er schreibt „für Menschen von Schulbänken minderen Ranges“ seine *Epitomes Astronomiae Copernicanae*, ein großes Lehrbuch der Grundbegriffe und Ergebnisse der neuen Astronomie und Physik.

In seiner „*Harmonice Mundi*“ 1619, dem „Werk seines Lebens“, versucht er — weithinausgehend über die „*harmonia totius mundi*“ des Kopernikus als einer nur formalen „*symmetria mundi*“ in der konzentrischen Anordnung aller Planetenbahnen um die Sonne — frei von einer Philosophie über „seiende und nichtseiende Dinge“ und fern von „Zahlenmystik“ ein geschlossenes Bild der kosmischen Gegebenheiten und der menschlichen Lebensformen. Daß Vieles zeitgebunden, Vieles durch fortschreitende Forschungen heute überholt ist, tritt zurück gegenüber dem lange nicht beachteten Keplerschen Ziel: die Bedeutung rationaler Naturerforschung für die geistige und ethische Haltung des Menschen zu bedenken.

Wie er selbst sein Forschen nach der Wahrheit als „Priesterdienst am Buch der Natur“ auffaßt, so sollen alle Menschen durch Einsicht in die gesetzliche Ordnung

des Kosmos zu einer neuen *rational-gegründeten* Religiosität, zur Ehrfurcht vor einer höheren Macht und zu gleicher Ordnung ihrer eigenen Verhältnisse geführt werden. „Denn wer verstanden hat, was Gott geschaffen, wird auch tun, was Gott geboten hat.“

Kepler läßt keine Gelegenheit vorbeigehen, um seiner Sehnsucht nach Frieden Ausdruck zu verleihen: — in seinen wissenschaftlichen Werken, in den Widmungen an hochgestellte Persönlichkeiten, an Stände, bis an König Jakob von England und den jeweils regierenden Kaiser. Sub specie aeternitatis erscheinen ihm die konfessionellen Kämpfe wie eine „Geisteskrankheit, die ein gütiger Gott heilen möge“. Er ist „begierig“ auf die Fertigstellung seiner Tabulae Rudolphinae „wie die Welt auf Frieden“. Den sachlich unsinnigen Kalenderstreit möchte er beenden, weil die Menschen „der Rue, des Fridens unnd der einigkeit begierig“. Er bedauerte und verurteilt den großen (Dreißigjährigen) Krieg und hofft, daß bald die Zeiten kommen, in denen sich die Menschen wieder der Betrachtung der Werke des Schöpfers widmen, anstatt mehr „Interesse für Flintenkugeln als für die Mondkugel“ zu haben. Kepler geht so weit, daß er als Naturwissenschaftler dem Kaiser Ferdinand II. den politischen Rat gibt, Frieden zu schließen, wenn er auch nicht alle Ziele, Pläne und Wünsche erreiche — auch der Wissenschaftler müsse die Bereinigung mancher Unvollkommenheit der Zukunft überlassen.

Auch solches darf bei der Überlegung der Bedeutung der „Kopernikanischen Wende“ nie übersehen werden. Die erstmalige tiefere Einsicht in den Kosmos zeigte die Macht des Verstandes und die Größe der Natur: die Entschleierung ihrer Wunder — und „nur die Wissenschaft schafft Wunder“ — soll ihn an die Kleinheit und Vergänglichkeit seiner Verhältnisse erinnern. Immer wiederholt Kepler in Briefen und Stammbucheintragungen sein schon früh gewähltes Motto: „O curas hominum, o quantum in rebus inanae“ — ach eure Sorgen, ihr Menschen, wieviel eitles liegt in euren Taten.

IX.

Es gehört zur Vollständigkeit der Betrachtung dieser Zeit, daß mit der Begründung der neuen Naturwissenschaft auch die Anfänge der (wie wir heute sagen) wissenschaftlich geführten Technik zusammenfallen. Hierzu gehört Keplers allgemein ausgesprochene Forderung, „Umschau zu halten, was je dem Menschengeschlecht zu ausgezeichnetem Nutzen gereichen kann“. Wiederholt betont er den praktischen Nutzen des „uralten Mütterleins Geometria“ in allen Hantierungen und Handwerken, und fordert auch deshalb die allgemeine Pflege der Mathematik, in der wohl noch mancher „unerschöpfliche Schatz verborgen liegt, welcher sich durch fleißiges Nachforschen fernerhin noch entdecken lasse“.

Drei klar liegende Beispiele sind in Keplers Werken enthalten:

1. Aus seiner allgemeinen Untersuchung der Linsenabbildung und der Rolle der Augenlinse fordert er, daß die durch die Mitte eines Brillenglases gelegte Fläche, welche die konvexen oder konkaven Krümmungen trägt, nicht eben, sondern als solche gekrümmt sein soll: das periskopische Brillenglas.

2. In seiner „Nova Stereometria doliorum vinariorum“ von 1615 (eine deutsche populäre Ausgabe wird unter dem Titel „Messekunst Archimedis“ ein Jahr später

veröffentlicht) entwickelt er eine neuartige mathematische Methode zur Berechnung des Inhalts von Fässern, allgemein von Gefäßen, deren Querschnitt in etwa einer der Kegelschnitte oder eine Kombination von solchen ist. (Das Wort Kegelschnitt prägt Kepler.) Mit dieser Arbeit und einem „Anhang von Vergleichung deß Landtgebrauchigen Gewichts, Elen, Klaffter TraidMasz“ wendet er sich an „Behörden, Handelsleute, Hauswirte“ usw. usw., um der Ehrlichkeit in Handel und Wandel zu dienen.

3. Zum gleichen Zweck läßt er 1627 den großen „Ulmer Kessel“ aus Erz gießen, in dessen Dimensionen die Ulmer Maßeinheiten für Länge, Volumen und Maße eindeutig und fest miteinander verbunden sind — ein erstes, gegen Verfälschung gesichertes „Etalon für Maß und Gewicht“, quasi das Urbild des Pariser, Länge und Volumen verbindenden Würfels.

Auch Galilei, der für Technik viel Sinn hatte, zieht z. B. aus seinen Betrachtungen über die Elastizität Folgerungen für die Belastbarkeit von Balken für Bauten. Aber auch er betrachtet das Problem der „Technik“ allgemein. Die Untersuchung der „künstlerischen Maschinen im Arsenal zu Venedig“ lehrt den „Kausalzusammenhang wunderbarer, zuvor für unerklärbar und unglaublich gehaltenen Erscheinungen“: es gibt keine „Wunder der Technik“ — alles was je gemacht ist und gemacht werden wird, beruht auf Naturgesetzen; sie setzen menschlichem Denken und Tun eine unüberschreitbare Grenze.

Die Astronomie, Keplers „reinste Wissenschaft“, wurde und wird nach ihrer Erneuerung erst recht für Zwecke des täglichen Lebens gefördert: für die Orientierung auf dem Meer und für die Neuordnung des Kalenders. Der junge Kopernikus wurde zur Mitarbeit aufgefordert, lehnte aber ab; der Kaiser holte Kepler 1613 als Gutachter zum Reichstag. Hierzu gehören auch Keplers umfangreiche chronologische Forschungen zur Datierung geschichtlicher Ereignisse aus überlieferten astronomischen Erscheinungen, deren Zeitpunkt aus den Planetengesetzen rückwärts berechenbar ist.

Wir sollten auch auf Keplers Bemühungen hinweisen, zur Klärung der damals weit verbreiteten, aber auch verbotenen Astrologie und eines Zusammenhangs von planetarischen Konstellationen mit den „meteora“, den Wetterverhältnissen, mit wissenschaftlicher Bearbeitung der „natürlichen Gegebenheiten“ eine rationale Entscheidung zu suchen. Alles das sind Ereignisse der „Kopernikanischen Wende“, fruchtbar für die Zukunft.

Wir fassen zusammen: Nicht das Kopernikanische Planetensystem als solches führte zur „Kopernikanischen Wende“. Entscheidend war der von Kopernikus geführte Beweis, daß auch ein anderes System als das alte, allgemein anerkannte des Ptolemäus aus den Beobachtungen mathematisch abgeleitet werden kann. Hiermit gab er den Anstoß zu neuer unvoreingenommener astronomischer Forschung, mit welcher in kurzer Zeit die Grundlagen der mittelalterlichen Astronomie und Weltanschauung fielen. In diesem Sinn ist Goethes Urteil schon berechtigt, nichts habe auf das Denken der Menschen einen größeren Einfluß ausgeübt als das Werk des Kopernikus.

Kepler war es, der die Erforschung der Natur weit mehr als seine Zeitgenossen aus den überkommenen naturphilosophischen Fesseln löste und mit seiner „irdische

und himmlische Physik“ verbindenden Forschung wesentlich die Richtung der „Kopernikanischen Wende“ bestimmte. Nicht nur „trug er Newton die Fackel voran“; mit der Forderung einer autonomen Naturwissenschaft machte Kepler aller Naturerforschung den Weg frei. Auf die Erfüllung seines Wunsches, mit ihr „nur der Zukunft und dem ganzen Menschengeschlecht zu dienen“ muß die Welt an seinem 400. Geburtstag noch hoffen.

Anmerkungen

- 1 Die Zitierung von Aristarch bei Kopernikus Buch I Kap. 11 ist in dem Manuskript gestrichen.
- 2 Es kann m. E. gar nicht bezweifelt werden, daß Oslanders Vorwort das Gegenteil von dem sagt, was Kopernikus wollte: daß die Planeten die Sonne umkreisen und im Raum „inter orbis quoque sive sphaeras“, zwischen Venus und Mars, auch die Erde, soll sein Buch „klarer als die Sonne machen“ (ipso Sole clariora), wenn auch „gegen die Meinung von vielen“ (Kopernikus Buch I, Kap. 10); andernfalls wäre das römische Verbot von 1616 noch schwerer verständlich.
- 3 Mathematisch wesentlich und originell ist der von Kopernikus durchgeführte Beweis, daß die komplizierten Bahnen von Sonne und Planeten einfach werden, wenn eine Eigenbewegung des Beobachters, d. h. der Erde um die Sonne, angenommen wird. Das Kopernikanische Planetensystem erhielt hierdurch den „philosophischen Vorteil“, daß sich die Planetenbahnen als (fast) reine Kreisbahnen um einen gemeinsamen Weltmittelpunkt darstellen lassen, der zwar nicht die Sonne selbst aber mit ihr nahe verbunden ist.
- 4 Man hört gelegentlich die Meinung, daß Galilei Keplers *Astronomia Nova* nicht gekannt habe. Er war sicher kein Mathematiker vom Rang Keplers — von dessen Optik sagt er, sie sei „so dunkel, daß wohl Kepler selbst sie nicht verstanden habe“. So mag er sich auch mit dem Studium der *Astronomia Nova* nicht die erforderliche große Mühe gegeben haben. Es wäre aber schwer zu verstehen, wenn er bei dem lebhaften Austausch von wissenschaftlichen Fragen und seinem lebenswichtigen Interesse an Bestätigungen des Kopernikanischen Systems nichts von den Ellipsen-Gesetzen gehört hätte; auch kannte er Keplers Theorie über Ebbe und Flut, lehnte sie aber scharf ab.
- 5 In Tübingen hörte Kepler als Student bei dem Mathematiker Michael Mästlin auch Kopernikanische Astronomie; aber dessen offizielle Stellung zu ihr war zurückhaltend. In der 1624 erschienenen 7. Auflage seiner „*Epitome Astronomiae*“ trat Mästlin nicht für sie ein. Von der Verbindung von Astronomie und Physik versuchte Mästlin noch 1616 Kepler abzubringen.
- 6 Z. B. zur Erklärung der Entstehung und der von der Sonne abgewendeten Richtung der Kometenschweife.
- 7 Der experimentelle Nachweis der Massenanziehung im Laboratorium erfolgte 1798 durch Henry Cavendish in Cambridge/England. Die erste großartige astronomische Bestätigung des Gravitationsgesetzes erbrachte am 23. 9. 1846 die Entdeckung des Planeten Neptun aus Abweichungen der Uranusbahn von einer Kepler-Ellipse.
- 8 Direkt bewiesen wurde die „bewegte Erde“ erst im letzten Jahrhundert: der Lauf um die Sonne folgt aus der Parallaxe einiger Fixsterne 1838 durch Struve und durch Bessel, ihre Eigenrotation durch Foucaults Pendelversuch 1851.
- 9 Auch Galilei schrieb seine Hauptwerke, nachdem er die Universität Padua verlassen hatte. Kurz nach den Fernrohr-Entdeckungen nahm er gegen den Rat seiner Freunde die Stelle als „*Mathematico e Philosopho Primario*“ am Fürstenhof in Florenz an; auf seinen Wunsch erhielt er eine Honorarprofessur „ohne Verpflichtung“ in Pisa.
- 10 Hiermit beginnen die Übersetzungen wissenschaftlicher Bücher in andere Sprachen. Galileis *Dialogo* von 1632 wurde 1635 von Bernegger ins Lateinische übersetzt. Wenige Jahrzehnte später folgen auf Veranlassung der Royal Society Übersetzungen ins Englische. Newtons optische Schriften 1671, 1705 erschienen englisch.