

Kopernikus und Galilei, eine Zeitenwende

Gerhard Graw

Fakultät für Physik, Ludwig-Maximilians-Universität München

Contents

I. Einleitung	1
II. Zunächst das Wichtige in Kürze	2
III. Der Sternenhimmel	2
IV. Das Wissen der Alten	3
V. Und Kolumbus?	4
VI. Nun zu Kopernikus	5
VII. Galileo Galilei	6
A. Das Fernrohr	6
B. Hofmathematiker in Florenz, ab 1610	7
C. Weitere astronomische Entdeckungen	7
D. Das Verfahren von 1616	7
E. Zwei Bücher Galilei's	8
F. Der Prozess 1633	9
G. Der Ablauf des Prozess 1633	9
H. Hausarrest 1633-1642 und die Discorsi	9
VIII. Kommentare	10
A. Galilei und die Kirche	10
B. Naturwissenschaftliche Erkenntnis	10
Literatur	11

I. EINLEITUNG

Wir verbinden mit der Vorstellung von einer >Kopernikanischen Wende<, und mit der Erinnerung an den >Prozess Galilei< den Anfang des neuzeitlich naturwissenschaftlichen Denkens. Es ging um Astronomie, um Fortschritte in dieser Wissenschaft, aber auch um die Schwierigkeiten der Gesellschaft neue Erkenntnisse zu akzeptieren.

Es war die Zeit der Renaissance und des frühen Barock, astronomisches Wissen war Teil der Kultur. Die Kunst dieser Zeit zeigt allegorisch personifizierte Darstellungen der Tugenden, der Musen und der Künste, als Bekenntnis zu humanistischen Idealen. Der Topos der sieben freien Künste, der >artes liberales<, zeigt, was man unter Bildung verstand: Grammatik, Rhetorik, Dialektik, Arithmetik, Geometrie, Musik und Astronomie. Deren Studium war Voraussetzung für die >höheren Fakultäten< Theologie, Recht, oder Medizin. Astronomische Kenntnisse können waren Teil der Allgemeinbildung damals. Sie beruhten auf dem, was ohne das Fernrohr beobachtet werden konnte. Dementsprechend lag das astronomische Weltbild seit langem fest, und man bezog sich auf die Beschreibungen des Aristoteles. Die Schriften von Ptolemäus dokumentieren das hohe Niveau in der späten Antike. In diesem >geozentrischen< Weltbild, auch als >ptolemäisch< bezeichnet, stand die Erde im Zentrum des Kosmos, ein Paradigma des Denkens über Jahrtausende. Religiösen Inhalte waren damit verknüpft, und Gestirne waren Gottheiten gleichgesetzt. Ein schönes Beispiel ist das Pantheon, diese Selbstinszenierung des imperialen Roms. Die sieben Konchen zeigten damals Statuen der Götter Sol, Luna, Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn; Sol invictus versinnbildlichte den vergöttlichten Kaiser. Und die christliche Kunst sah den Himmel, eigentlich eine Bezeichnung für Gottesnähe, als >Himmelssphäre< über uns.

Der historische Rang von Kopernikus und Galilei ist verknüpft mit der sich ab dieser Zeit durchsetzenden Einsicht, dass die Erde diese Rolle eines ruhenden Zentrums verliert. Dies neue Denken stellte Kopernikus als Erster so dar, dass es historisch wirksam wurde. Daher auch das beliebte Reden von einer >kopernikanischen Wende<. Giordano Bruno dachte dies weiter und lehrte die Unendlichkeit des Universums, mit der Existenz unendlich vielen Welten. Galilei publizierte als Erster, dass empirisch das überkommene Weltbild nicht mehr zu halten war. Darüber hinaus gilt Galilei auch heute noch als bedeutender Naturwissenschaftler. Er arbeitete als einer der Ersten im neuzeitlichen Sinne, nicht nur

im Bereich der Astronomie. Das neue Denken kollidierte mit etablierten Vorstellungen, Teile der Gesellschaft reagierten schroff, der >Prozess Galilei< ist das paradigmatische Beispiel.

Die >kopernikanische Wende< beinhaltet, dass Wirklichkeit nicht in dem besteht, was man sieht, sondern in dem, was sich dem gedanklichen Prozess erschließt. Das war die Botschaft bereits von Parmenides, und später dann von Immanuel Kant.

Mit Kopernikus und Galilei beginnt die moderne, mathematisch geprägte Naturwissenschaft. Wir können die mit der >kopernikanischen Wende< und dem >Prozess Galilei< verbundenen historischen Vorgänge als Lehrstück sehen, sehen, wie Wissen entsteht und wie es akzeptiert wird. Diese Vorgänge nachzuzeichnen, zumindest in groben Zügen, und anschließend einige der damaligen Fragen aus heutiger Sicht zu kommentieren, ist das Anliegen dieser Schrift.

II. ZUNÄCHST DAS WICHTIGE IN KÜRZE

Aus damaliger Sicht ging es um die Frage, ob sich Sonne, Mond, Planeten und Sterne um die ruhende Erde drehen, oder ob sich vielmehr die Erde einmal am Tag um die eigene Achse dreht, und dabei einmal im Jahr die Sonne umkreist. Die Erde wäre somit nur noch ein Planet wie die anderen auch und nicht mehr in der einzigartigen Rolle einer Mitte des Kosmos. Die Vorstellung eines geozentrischen Weltbilds ist mit den Namen Aristoteles (384-322 v.Chr.) und Ptolemäus (100-175 n.Chr.) verknüpft, als frühe Vertreter des heliozentrischen gelten Aristarch von Samos (310-230 v.Chr.) und Kopernikus (1473-1543). Die ursprünglichen Begründungen für jede dieser Vorstellungen waren Argumente der Plausibilität und/oder der Einfachheit. Die Erfindung des Fernrohrs und seine erstmalige Anwendung auf astronomische Fragen im Jahre 1609 durch Galilei (1564-1642) und andere gab eindeutige experimentelle Information, in Übereinstimmung mit dem kopernikanischen Modell und im Widerspruch zum ptolemäischen. Jedoch gab das kopernikanische Modell, und später die Beschreibung der Planetenbahnen durch Kepler (1571-1630) mit seinen berühmten drei Gesetzen, noch keine Erklärung der beobachteten Vorgänge. Diese gab erst Newton (1643-1727), mit der von ihm mathematisch formulierten Physik der Mechanik von Bewegungsabläufen, und mit dem von ihm postulierten Kraftgesetz der Gravitation.

Kopernikus sah den Himmel als physikalisches Geschehen, und Newton forderte, dass auch im Bereich der Sterne die Physik dieselbe ist wie auf der Erde, im Laboratorium. Ein Ansatz soll Alles umfassen. Seine Erklärung der Planetenbewegungen überzeugte im Sinne einer widerspruchsfreien Beschreibung der Phänomene aus einem theoretischen Ansatz. Experimentell direkt

Nachweise der Rotation der Erde um ihre Achse, der Bewegung der Erde um die Sonne, und des des Gravitationsgesetzes unter Laboratoriumsbedingungen, gelangen erst viel später.

Die von Kopernikus ausgelöste Sicht der Natur war die Geburtsstunde moderner Astronomie und Physik. Für das naturwissenschaftlichen Denken ist Wirklichkeit eine gedankliche, logisch konsistente Vorstellung, die übereinstimmt mit aller experimentellen Erfahrung. Aus diesem Ansatz folgt alle moderne Technik und in Folge davon der historisch unvergleichliche Wohlstand weiter Teile unserer Gesellschaft. Die Verknüpfung dieser so folgenreichen Wende mit nur einem Namen, dem des Kopernikus, ist notwendigerweise plakativ. Das Datum seiner ersten Schrift, 1509, passt natürlich sehr schön zu dem Reden von einem Aufbruch in die Neuzeit.

Die Frage, ob nun die Erde ruht oder die Sonne, ist seit Newton relativiert. Beide rotieren jeweils um ihre Achsen und kreisen um ihren gemeinsamen Schwerpunkt. Dies ist eine - im Grundsatz - symmetrische Situation, und Ausdruck des Prinzips der Wechselwirkung, von >actio< und >reactio<, wie es Newton formulierte. Weiterhin ist unsere Sonne nur eine von vielen Milliarden vergleichbarer Sterne in der Galaxie der Milchstrasse. Auch hier gibt es wieder ein Kreisen, nun aber der Sonne um das Zentrum der Galaxie, mit einer Umlaufzeit von etwa 200 Millionen Jahren. Und die Milchstrasse wiederum bewegt sich relativ zu anderen Galaxien, und alles ist Teil eines expandierenden Weltalls. Die aktuelle Vermessung der kosmischen Hintergrundstrahlung definiert einen expandierenden Raum, relativ zu dem man alle Bewegungsvorgänge beschreiben kann.

Mit der Verurteilung Galileis am 22.Juni 1633, durch ein von Papst Urban VIII. eingesetztes Sondertribunal, hatte sich die katholischen Kirche nachhaltig geschadet. Erst 1822 hob sie das Verbot des >Kopernikanismus< auf, und noch 1992 entschuldigte sich Papst Johannes Paul II. vor Wissenschaftlern für >das schmerzliche Missverständnis< und den >Irrtum der Theologen<. Damals wurde >die Weisheit der Kirchenlehrer verraten: Glauben und Wissen entstammen unterschiedlichen Sphären, und es sei klug, wenn die Kirche dies beachte<. So die Formulierungen einer späten Einsicht.

Im Folgenden möchte ich den historischen Ablauf bis zur Zeit Galileis einschließlich darstellen. Der Weg war keineswegs gerade, aber ähnliches kann man wohl auch sagen über die Akzeptanz der Erkenntnisse etwa von Einstein oder Darwin.

III. DER STERNENHIMMEL

Das geozentrische Weltbild beschreibt, was wir sehen: Die Sonne geht im Osten auf, bewegt sich in Richtung

Süden, erreicht dort den höchsten Stand, und geht im Westen unter. Entsprechendes gilt für den Mond und die Sterne. Als ruhender Pol am nächtlichen Himmel erscheint der Polarstern. Um ihn kreisen Sonne, Mond und alle Sterne, mit einem Umlauf pro Tag. Auf diese ausgezeichnete Rolle des Polarsterns bezog sich Shakespeare, wenn er in seiner Tragödie >Julius Cäsar< den Protagonisten durch Marc-Anton als >standhaft wie der Polar-Stern< beschreibt. Leider war Shakespeare hier unvorsichtig. Bei den antiken Griechen hieß dieser helle Stern am Ende der Deichsel des kleinen Wagens >der Phönizische<, nichts am Namen deutet hin auf die ausgezeichnete Rolle eines Pols, um den sich alles dreht.

Die uns vertraute Beschreibung des Sternenhimmels durch Sternbilder geht zurück auf die Babylonier. Die Benennung von Sternbildern ist eine Konvention, sie ist notwendig, um über Vorgänge am Sternenhimmel zu sprechen. Die Chinesen fassten Sterngruppen in ganz anderer Weise zu Sternbildern zusammen. Man konnte dies in einer Ausstellung zur Kultur der Mongolen im Völkerkunde Museum sehen. Die Sternbilder, zusammen mit fast allen weiteren Sternen, bilden die unveränderliche Himmelsfläche der Fixsterne, ein sich drehendes Bezugssystem. Nur sieben der mit dem Auge sichtbaren Himmelskörper zeigen relativ zu diesem Bewegung: Der Mond durchläuft eine Bahn, die sich in knapp einem Monat wiederholt, für die Sonne dauert der Umlauf ein Jahr. Dabei erschließt man die Position der Sonne aus der Nachbarschaft zu Sternbildern bei Sonnenaufgang bzw. Sonnenuntergang. Die beobachteten Bahnen der 5 Planeten Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn haben zunehmend längere Umlaufzeiten, dementsprechend werden die Planeten in dieser Reihenfolge genannt. Merkur bleibt immer in Sonnennähe, läuft mal schneller, mal langsamer als die Sonne und wiederholt diese Pendelbahn in nur 116 Tagen. Saturn erscheint als der Langsamste von allen, er braucht etwa 30 Jahre für einen Umlauf.

In mesopotamischen Zeiten waren diese Schleifen in den Bahnen der Planeten bereits gut dokumentiert, Sonnen- und Mondfinsternisse wurden vorhergesagt. Die Astronomen benutzten ein 12-er und 60-er Zahlensystem, daher haben wir heute noch eine entsprechende Unterteilung der Zeit, in zwei mal 12 Stunden für einen Tag, und in 60 Minuten für eine Stunde.

Interessant ist, dass Sonne, Mond und die Planeten in etwa alle auf derselben Bahn laufen, durch die gleichen Sternbilder. Diese Bahn bezeichnet man als Ekliptik. Es war die Klugheit der Babylonier/Mesopotamier, diese Bahn in 12 gleich lange Intervalle entsprechend den 12 Monaten eines Jahres zu teilen und in diesen die Sternbilder der 12 Tierkreiszeichen zu definieren. Die Achse dieser Bewegung ist relativ zur Achse Erde-Polarstern um etwa 23 Bogengrade geneigt. Aus dieser >Schiefe der Ekliptik< folgen die Unterschiede der Jahreszeiten

und die wechselnden Hochstände von Sonne, Mond und Planeten im Laufe eines Jahres. Zu Frühlings- und Herbstanfang, d.h. zur Tag- und Nachtgleiche, stehen Sonne und Polarstern im rechten Winkel zueinander, im Sommer hingegen ist die Sonne um 23 Bogengrade näher am Polarstern, und im Winter ist sie um 23 Bogengrade weiter weg.

Dieses Wissen ist beschrieben in den Schriften des Aristoteles und es wurden kunstvolle Methoden erdacht, den Stand dieser Himmelskörper genau zu berechnen. Der Abschluss dieser Entwicklung ist der >Almagest< des Ptolemäus (100-175 n.Chr.) aus Alexandria, ein 13-bändiges Werk, das unserem Kulturkreis im 12. Jahrhundert zugänglich wurde. Hervorzuheben ist die Übersetzung des Humanisten und Kartographen Regiomontanus (1436-1476) aus Königsberg in Unterfranken. Ptolemäus gelang es mit einer sehr komplizierten Epizyklentheorie alle astrologisch relevanten Konstellationen in den vorausgegangenen 900 Jahren beachtlich genau zu berechnen. Die grosse Stärke des Ptolemäischen Systems war die Genauigkeit der Vorhersage. Diese übertraf das Kopernikanische System erst mit Kepler.

Fast alle frühen Astronomen bis einschliesslich Brahe und Kepler verdienten ihr Geld vorzugsweise mit der Berechnung astrologisch relevanter Konstellationen, d.h. dem Stand der Planeten relativ zueinander zu jeweils interessierenden Zeitpunkten. Diese Berechnungen sind zu unterscheiden von deren Deutung. >Aufgeklärte< Persönlichkeiten, wie Cicero oder Augustinus, lehnten den Glauben an astrologische Beeinflussungen strikt ab. Augustinus z.B. argumentierte mit einer Einschränkung der Willensfreiheit.

IV. DAS WISSEN DER ALTEN

Die Vorstellung von der Erde als Kugel geht zurück auf Pythagoras (570-480 v.Chr.). Jedoch wissen wir nichts über seine Gründe, waren es philosophisch mathematische Spekulation oder Beobachtungen? Fast nichts aus seiner legendären Schule in Kroton, Süditalien, ist erhalten.

Zu primären Quellen über das Wissen der >klassischen< Griechen wurden die Schriften des Aristoteles und deren Kommentierung, insbesondere von Averroes (1119-1190?) und Albertus Magnus (1200-1280). Das geozentrische System war für Aristoteles eine Selbstverständlichkeit. Zur Begründung einer Kugelgestalt der Erde nannte er drei Beobachtungen:

- Von einem ankommenden Schiff sieht man zuerst die Masten, erst später den Rumpf;
- bei einer Mondfinsternis, egal zu welchem Zeitpunkt, erscheint der Schatten der Erde auf dem Mond immer als kreisrund;
- fährt man eine grössere Strecke nach Norden, so

erscheint den Polarstern höher am Himmel.

Der Erdumfang war mit verblüffender Genauigkeit von Eratosthenes (276-194 v.Chr.) in Alexandria bestimmt worden: Ihm wurde berichtet, so heißt es, dass am Tag der Sonnenwende in Assuan mittags sich in einem sehr tiefen Brunnen die Sonne gespiegelt habe. Sie stand also genau senkrecht, und Assuan liegt am Wendekreis des Krebses, wie wir heute sagen. Da es in Alexandria dies Ereignis nicht zu sehen gab, sah Eratosthenes die Kugelgestalt der Erde als Ursache. Nächstes Jahr, am Tag der Sonnenwende mittags, maß er in Alexandria die Abweichung von der Senkrechten. Die beobachtete Differenz von 7 Bogengraden und die Strecke von 780 km zum südlich liegenden Assuan geben für den Erdumfang, d.h. für den Vollkreis von 360 Bogengraden, per Dreisatz 40.100 km. Der aktuelle Wert für den Umfang am Äquator ist 40.075 km. In Anbetracht der Messungenauigkeiten hatte Eratosthenes das Glück eines Tüchtigen. Leider hatte Ptolemäus mit einem Umfang, der 30.000 km entspricht, den falschen Wert eines anderen Autors angegeben.

Den Abstand Erde-Mond hatte Hipparchos von Nicäa (190-125 v.Chr.) sehr genau zu 384.000 km bestimmt. Hipparchos hatte die Methode der Parallaxe erfunden: Man vergleicht zur selben Zeit von zwei voneinander möglichst weit entfernten Orten die Position des Objekts, des Mondes bzw. eines Planeten, relativ zum Fixstern-Himmel. Je kleiner der Abstand zum Beobachter, desto stärker verschoben erscheint die Position des Mondes, bzw. des Planeten. Daraus ergibt sich ein Sehinkel und somit eine Entfernungsbestimmung, wie wir diese auch beim zweiäugigen Sehen nutzen. Diese Methode ist in der modernen Astronomie immer noch aktuell. Die Entfernungseinheit 1 parsec = 3,26 Lichtjahre steht für die Parallaxe von einer Bogensekunde für zwei Messungen aus einem Abstand gleich dem von Erde-Sonne, der sogenannten astronomischen Einheit AE. Hipparchos gilt als der beste Astronom der hellenistischen Welt. Leider sind alle seine Schriften verloren, man weiß von ihm nur indirekt durch Ptolemäus (100 - 175 n.Chr.). Dieser verwendete seine Daten, z.T. ohne ihn zu zitieren. Hipparchos erfand astronomische Messgeräte und bestimmte die Positionen von 850 Fixsternen. Aufgrund seiner und präzisen Messungen entdeckte er die sogenannte Präzession, die sich in der angesprochenen Bewegung des Polarsterns relativ zur Drehachse des Fixsternhimmels äußert. Weiterhin entdeckte er für die jährliche Bewegung der Sonne eine periodische Variation der Geschwindigkeit. Er sprach von exzentrischen Kreisbahnen, und konnte so die etwas unterschiedliche Dauer der verschiedenen Jahreszeiten verstehen. Damit nahm Hipparchos einiges von dem vorweg, was Kepler später exakt erfasste.

Der große Aussenseiter seiner Zeit war Aristarch von Samos (310-230 v.Chr.). Für ihn wurde alles viel einfacher,

wenn der Fixsternhimmel unveränderlich fest steht, die Erde sich am Tag einmal um ihre Achse dreht, und die Erde, und ebenso die anderen Planeten, auf Kreisbahnen um die Sonne. Dabei ist die Ebene dieser Kreisbahn, die Ekliptik, gegen die Äquatorebene der Erde um die berühmten 23 Bogengrade geneigt. Es bleibt also fast alles wie bei Aristoteles, nur das Bezugssystem ist ein anderes.

Dieses Denken jedoch entsprach nicht dem Zeitgeist. Sicher wurden Ruhe und Bewegung als Gegensätze empfunden und diese sollten sich in beobachtbaren Phänomenen zeigen. Ptolemäus nannte einige damals plausibel klingende Effekte, Galilei zerpflückte diese Argumente in einer Schrift, deretwegen er verurteilt wurde.

V. UND KOLUMBUS?

Wie passt dieser beachtliche Wissensstand zu dem Unternehmen des Christoph Kolumbus (1451-1506)? Er suchte den Seeweg nach Indien und entdeckte Amerika, so die Kurzfassung. Er warb, seit 1486, für sein Projekt, westwärts den Seeweg nach Indien und Japan zu finden. Sein Argument war, dass Japan von den Azoren 4.400 km entfernt sei und deshalb auf dem Seeweg gerade noch erreichbar. Tatsächlich trennt die beiden Orte ein halber Erdumfang.

War das Stand der Wissenschaft zu seiner Zeit?

Die Berater des portugiesischen Königs hatten Kolumbus dies offensichtlich nicht geglaubt, und wohl auch nicht der spanische Hof. Es heißt, Kolumbus habe arabische mit römischen Meilen verwechselt, Japan sehr weit nach Osten gelegt, und fehlerhaft gerechnet. Die Frage des Seewegs nach Indien wurde jedoch politisch hoch aktuell, nachdem der Portugiese Bartolomeo Diaz (1450-1500) bereits die Südspitze Afrikas umfahren hatte und Spanien ins Hintertreffen geraten war. Im Frühjahr 1492, nach dem Sieg über die Mauren, dem Fall Granadas, setzten sich wohl die katholischen Könige über Bedenken hinweg und gaben Kolumbus die ersehnten drei Schiffe. Fast alle Dokumente über diese bedeutungsvollen historischen Vorgänge hatte die spanische Krone vernichtet.

Nach 70 Tagen Seereise landete Kolumbus am 12. Oktober 1492 in San Salvador, einer Insel der Bahamasgruppe. Auf dieser und den drei folgenden Reisen 1493-1496, 1498-1500 und 1502-1504 entdeckte er die Inselwelt der Karibik und Teile der Küsten von Venezuela, Nicaragua und Costa Rica. Obwohl der im Auftrag der Medici segelnde Amerigo Vespucci (1451-1512) Mittel- und Südamerika 1503 als zusammenhängenden neuen Kontinent erkannt hatte, glaubte Kolumbus weiterhin, Indien mit vorgelagerten Inseln entdeckt zu haben.

Alle Wissenschaftshistoriker beurteilen Kolumbus als be-

gnadeten und visionären Seefahrer. Und es erscheint als paradox, dass für diese bedeutendste geographische Entdeckung die geographisch-wissenschaftliche Inkompetenz des Entdeckers Voraussetzung war, und darüberhinaus, dass der Entdecker nie verstand, was er eigentlich entdeckt hatte.

VI. NUN ZU KOPERNIKUS

Nikolaus Kopernikus wurde 1473 in der Thorn an der Weichsel geboren. Er verlor, mit zehn Jahren den Vater, einen wohlhabenden Kupferhändler und Regierungsbeamten dieser Hansestadt. Sein Onkel, Fürstbischof von Ermland (Warmia) in Ostpreussen, kümmerte sich um die Ausbildung. Kopernikus begann 1491 das Studium in Krakau, mit Schwerpunkt Theologie, und nebenher von astronomischen Fragen. Seine Ernennung zum Kanoniker in Frauenburg, 1495, sicherte ihn finanziell, er konnte er das Studium fortsetzen an besten Universitäten der Zeit: Ab 1496 Jura in Bologna, und ab 1499 bis 1503 Medizin in Padua, und Promotion zum Juristen in Ferrara.

In Bologna erfuhr er vom heliozentrischen Weltbild des Aristarch von Samos, mit dem sich bereits Nikolaus von Kues (1401-1464) und Regiomontanus (1436-1476) befasst hatten. Bemerkenswert sind astronomische Vorlesungen 1500 in Rom, nach Aufforderung durch Papst Alexander VI, dem Borgia.

Das berufliche Leben begann 1503, mit dreissig Jahren. Für 40 Jahre, bis zu seinem Tode, war er für das Fürstbistum Ermland tätig, wiederholt als Kanzler des Domkapitels in Frauenburg. Kopernikus war mit administrativen, diplomatischen, juristischen und währungspolitischen Aufgaben betraut. Es war die Zeit der Reformation und der kriegerischen Auseinandersetzungen des Deutschen Ordens mit Polen. Kopernikus wirkte mit, das Bistum aus der Reformation und aus dem protestantisch gewordenen Deutschen Orden herauszuhalten, und gegenüber Polen zumindest eine gewisse Eigenständigkeit zu bewahren. Mit seiner Kompetenz, und seiner Tüchtigkeit als Arzt, erwarb er sich allseitige Achtung.

Kopernikus arbeitete astronomisch, er beobachtete, protokollierte und verglich Daten mit Berechnungen. Die Beschreibung des Ptolemäus, Bahnen der Planeten dargestellt als Überlagerung mehrerer Epizyklen, war ihm zu kompliziert, ganz anders die Eleganz der Beschreibung des Aristarch von Samos. Er verglich seine Daten und die der antiken Literatur, und formulierte als heliozentrisches Modell:

In weitester Ferne ein feststehender Himmel der Fixsterne, eine tägliche Rotation der Erde um ihre Mitte und ein jährlicher Umlauf der Erde um die Sonne. Dabei ist die Achse der Erdrotation gegen die

Achse der Kreisbahn, auf der die Erde um die Sonne läuft, um einen Winkel von etwa 23 Bogengrad, dem berühmten Neigungswinkel der Ekliptik, geneigt. Die Erde ist den Planeten vergleichbar. Von der Sonne aus gerechnet haben Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter und Saturn zunehmend grössere Abstände. Sein System erklärt auf einfache Art, weshalb Merkur und Venus nie weit von der Sonne entfernt zu sehen sind und deren eigenartig verzögerten bzw. beschleunigt erscheinenden Bewegungen.

Kopernikus hatte wohl auch die Präzession erkannt, zumindest im Grundsatz. Jeder genaue Vergleich aktueller und antiker Daten zeigt, dass die uns vertraute Orientierung der Erdachse zum Polarstern hin eine Momentaufnahme darstellt. Tatsächlich bewegt sich die Erdachse langsam auf einem Kreis, wobei der Neigungswinkel der Ekliptik konstant bleibt. Dieser Umlauf, die Präzession, dauert etwa 25.800 Jahre. Deshalb sehen wir heute zum Frühlingsanfang, der Tag und Nachtgleiche, die Sonne nicht mehr im Sternbild des Widlers, wie die alten Babylonier, sondern zwischen den nachfolgenden Sternbildern der Fische und des Wassermanns.

Die Zuordnung von Geburtsdaten und Tierkreiszeichen in den Horoskopen geht zurück auf das, was damals die Babylonier gesehen hatten.

Seine erste Schrift, der *>Commentariolus<*, 1509 in Heilsberg, Ostpreussen formuliert, beschreibt die Grundzüge. Kopernikus zeigte sie nur Vertrauten, er fürchtete den Spott der Fachwelt. Eine mathematische Ausarbeitung war angekündigt. Um die Genauigkeit des Modells zu verbessern, erlaubte er kleine Abweichungen von den gleichförmigen Kreisbewegungen. Diese Korrekturen beschrieb er durch Epizyklen, die er von Ptolemäus her kannte. Epizyklen sind gleichförmige Kreisbewegungen, deren Mittelpunkte gleichförmige Kreisbewegungen ausführen. Er versuchte sich so an einem Problem, das erst Kepler und seinen genialen ersten zwei Gesetzen löste. Gegenüber Ptolemäus konnte er den Genauigkeitsanspruch nicht steigern, geändert war ja nur das Bezugssystem.

Keineswegs wurde seine Schrift als Ketzerei betrachtet, eher als Hirngespinnst. Luther soll, gemäss der Aufzeichnung eines Studenten, gesagt haben: *>Der Narr will die ganze Astronomie umdrehen. Aber, wie die Heilige Schrift zeigt, liess Josua die Sonne still stehen und nicht die Erde<*. Auf den Index der katholischen Kirche kam die Schrift erst 1616, und dies nur für wenige Jahre im Zusammenhang mit dem ersten Prozess Galilei. Mit einem dann hinzugefügtem Vorwort, dass es um eine Vorstellung gehe und nicht etwa um die Aussage, was denn nun Wirklichkeit sei, wurde die Schrift freigegeben.

Kopernikus verzögerte bis 1543 die Veröffentlichung seines Hauptwerks *>Revolutionibus Orbium Coelestium<*,

auch gab es starke Widerstände von Luther und Melanchton. Erst im letzten Jahr seines Lebens wurde sie von Osiander (1498-1552) in Nürnberg herausgegeben. Mit Rücksicht auf protestantische wie katholische Kreise nahm dieser führende lutherische Theologe Änderungen am Text vor, und ignorierte im Vorwort Überzeugungen von Kopernikus, indem er, sinngemäß, von einem interessanten Denkmodell sprach.

VII. GALILEO GALILEI

Galileo Galilei (1564-1642) entstammt einer Familie verarmter Florentiner Patrizier. Sein Vater war Tuchhändler, Musiker und Musiktheoretiker, und hatte entsprechende mathematische Kenntnisse. Ab 1580 studierte Galilei in Pisa Medizin, und wechselte nach vier Jahren zu Mathematik in Florenz. Den Lebensunterhalt sicherte er mit Privatunterricht, in der verbleibenden Zeit befasste er sich mit physikalischen Fragen und Messmethoden. Er veröffentlichte 1585/86 Ergebnisse zur Schwere fester Körper, und zur Konstruktion einer hydrostatischen Waage zur Bestimmung spezifischer Gewichte. Ab 1589 war er Lektor für Mathematik an der Universität Pisa, auf einer schlecht dotierte Stelle. Daneben baute und verkaufte er Instrumente, unter anderem einfache Thermometer. Seine damaligen Untersuchungen zum Pendelgesetz und zu Fallgesetzen, die er erst gegen Ende seines Lebens publizierte, sind von bleibender Bedeutung, ebenso seine Unterscheidung der Begriffe Beschleunigung und Geschwindigkeit. In seinem Manuskript zu diesen Untersuchungen setzte er sich kritisch mit Aristoteles auseinander, mit dessen naturwissenschaftlichen Schriften. Für die Kollegen in Pisa war dies Anlass zur Kritik. In der erstarrten scholastischen Tradition hatte Aristoteles dogmatischen Rang.

Die kritische Auseinandersetzung mit den naturwissenschaftlichen Schriften von Aristoteles wurde für Galilei zum großen Thema. Als er z.B. erstmals das spezifische Gewicht von Luft bestimmte, war ihm vor allem wichtig, Aristoteles eine weitere irriige Aussage nachzuweisen, denn bei Aristoteles hatte Luft kein Gewicht. Galilei forderte zu selbständiger und kritischer Beobachtung der Natur auf. Dies war ganz im Widerspruch zum damaligen wissenschaftlichen Betrieb. Für Galilei war dieser erstarrt in scholastischer Disputation, beschränkt auf die richtige Auslegung vorgegebener Schriften, dies auch im Bereich der Naturwissenschaften. Infragestellung der Aussagen von Aristoteles waren heikel, denn es gehörte zum katholischen Selbstverständnis, sicher auf jüdischem und antikem Fundament zu stehen. Man vermeinte, dass es insbesondere Thomas von Aquin (1225-1274) gelungen sei, christliche und antike, d.h., aristotelische, Philosophie im Zusammenhang zu sehen. Augenfällig wird dies im Arbeitszimmer von Julius II., den heutigen Stanzen im Vatikan: Rafaels grandiose Fresken für

diesen bedeutenden und machtbewussten Papst stellen antike und christliche Themen in gleichberechtigter Weise gegenüber. Man kann hoer eine Parallele sehen zu den Ausmalungen bedeutendster Kirchen, wenn diese Themen des Alten und des Neuen Testaments gegenüberstellen.

In Padua, der Universität Venedigs, gewann Galilei 1592 den Lehrstuhl für Mathematik, in Konkurrenz mit Giordano Bruno. Dort blieb er 18 Jahre, und bezeichnete diese später als die glücklichsten seines Lebens. Ausgewählten Schülern, darunter zwei späteren Kardinälen, erteilte er Privatunterricht. Er beschäftigte einen Mechaniker und vertrieb wissenschaftliche Geräte, z.B. den Proportionszirkel, einen Vorläufer des Rechenschiebers. Aus dieser Zeit gibt es einen Brief an Johannes Kepler, in dem er von von >unserem Lehrer Kopernikus, der verlacht wurde<, schreibt.

Aktuelle Historiker wie Valeriani [7] bezeichnen Galilei zunächst einmal als einen der für die Renaissance typischen Künstler-Ingenieur, denen es um Militärtechnik ging. Seine wissenschaftlichen Arbeiten stellen eine Verbindung dar von Mathematik und Naturphilosophie, heute nennen wir das Physik. Damals jedoch waren diese strikt getrennt, Mathematik galt als abstrakte Überlegung, Naturphilosophie beinhaltete den Anspruch auf Wahrheit.

Die 1604 aufleuchtende Supernova (im Sternbild des Schlangenträgers), heute nach Kepler benannt, nahm Galilei zum Anlass für öffentliche Vorträge, gespickt mit Angriffen auf die aristotelische Astronomie und Naturphilosophie. Der neue Stern zeigte keine Parallaxe, also ordnete ihn Galilei - zu Recht - den Fixsternen zu. Da diese jedoch als unveränderlich gelten, sah Galilei im Auftreten des neuen Sterns einen Widerspruch zur Ordnung des Aristotelischen Weltbilds, und betonte dies. Man sollte anmerken, dass Tycho Brahe (1546-1601) mit der Supernova von 1572 im Sternbild der Kassiopeia eine entsprechende Beobachtung gelungen war.

A. Das Fernrohr

Von dem Fernrohr, von Jan Lippershey in Holland erfundenen, erfuhr Galilei 1609. Rasch baute er aus käuflichen Linsen ein Gerät mit ungefähr vierfacher Vergrößerung. Dann lernte er Linsen zu schleifen, und erreichte bald eine achtfache, und in späteren Jahren eine bis zu 33-fache Vergrößerung. Es gelang Galilei, die venezianischen Regierung vom militärischen Nutzen dieser Fernrohre in der Seefahrt zu überzeugen, so verbesserte sich sein Gehalt erheblich.

Als einer der Ersten nutzte Galilei das das Fernrohr zur Himmelsbeobachtung. Er sah die rauhe Oberfläche des Mondes und erkannte, dass die von der Sonne beleuchtete

Erde die im Dunklen liegenden Teile der Mondoberfläche etwas aufhellt. Er stellte weiter fest, dass die Planeten - im Gegensatz zu den Fixsternen - als Scheiben zu sehen sind und entdeckte die vier größten Monde des Jupiters. Er benannte sie als >Mediceische Gestirne<. Heute spricht man von den >Galileischen Monden<. Und er sah, dass die bis dahin als Nebel angesehene Milchstrasse aus einer Fülle einzelner Sterne besteht. Alle diese Entdeckungen veröffentlichte im 1610 im >Sidereus Nuncius< (Sternenbote), und wurde sofort zur Berühmtheit. Heute weiß man, dass der Engländer Thomas Harriot zeitgleich die gleichen Entdeckungen machte.

B. Hofmathematiker in Florenz, ab 1610

Sein ehemaligen Schüler Cosimo II de Medici (1590 - 1621), nun Großherzog der Toskana, war begeistert und ernannte ihn umgehend, im Herbst 1610, zum Hofmathematiker und -philosophen, und in Pisa zum Ersten Professor für Mathematik, ohne Lehrverpflichtung. Besser ging es nicht. Erstmals war er frei von finanzieller Enge, er konnte unbehindert forschen. Allerdings gehörte zu diesem Umzug auch, dass er sich von seiner Haushälterin trennte, mit der er immerhin drei Kinder hatte. Seine beiden Töchter brachte er im Kloster unter, seinen Sohn legitimiert er erst im Alter.

C. Weitere astronomische Entdeckungen

Galilei fand, dass der Planet Venus Phasen zeigt wie der Mond, und dass er sich dabei in der beobachteten Größe ändert, denn er steht abwechselnd jenseits der Sonne und dann wieder zwischen Erde und Sonne. Diese Beobachtungen bewiesen eindeutig das Kreisen des Planeten um die Sonne. Er korrespondierte darüber mit römischen Jesuiten, welche diese >Phasen der Venus< unabhängig von ihm entdeckt hatten. Nun war eindeutig: Das Ptolemäische Weltbild war nicht mehr zu halten.

Im Jahr 1611 war Galilei in Rom ein Star. Seine Entdeckungen zeigte er mit seinem Teleskop, er wurde dort zum sechsten Mitglied der päpstlichen >Accademia dei Lincei< ernannt. Fortan nannte er sich Galileo Galilei Linceo. Er hatte eine Audienz bei Papst Paul V. und war hofierter Gast bei Kardinal Maffeo Barberini (1568-1644), einem Florentiner, dem späteren Papst Urban VIII. Diese einflussreiche Persönlichkeit umgab sich glanzvoll und verschwenderisch mit Kunst und Künstlern. In sein langes Pontifikat fielen die ersten Aufträge an Bernini und 1626 die Weihe der Peterskirche.

Galilei's Entdeckung der Sonnenflecken verwickelte ihn in eine Auseinandersetzung mit Christoph Scheiner (1575-1650), dem Jesuiten, Astronom und Mathematiker der Universität Ingolstadt, der Vorläuferin der

heutigen Ludwig-Maximilians-Universität in München (LMU). Es ging darum, wer von ihnen zuerst die Sonnenflecken entdeckt hätte, und was sie darstellen. Zur tradierten Vorstellung, dass die Sonne ein ideales, in alten Religionen als göttlich angesehenes Objekt sei, passte Entstehen und Vergehen von Sonnenflecken überhaupt nicht. Scheiner war ein bedeutender Wissenschaftler, ihm gelang unter anderem die Rotationszeit der Sonne um ihre eigene Achse zu bestimmen, sie liegt bei knapp einem Monat. Auch gehen wichtige Kenntnisse zur Physiologie des Auges auf ihn zurück. An ihn erinnert die Scheinerstrasse in München-Bogenhausen, an der sich heute das LMU Institut für Astronomie befindet, im Gelände der historischen Münchener Sternwarte in Bogenhausen.

Galilei war bewusst, dass zwar alle aktuellen astronomischen Beobachtungen konsistent waren mit dem heliozentrischen Weltbild des Kopernikus sind, dass sie jedoch das Modell des Tycho Brahe nicht ausschließen konnten. In diesem drehten sich Sonne und Mond um die Erde, die übrigen Planeten aber um die Sonne. Tatsächlich wurde die Kreisbewegung der Erde um die Sonne (mit immerhin 30 km/sec, d.h. mit einem zehntausendstel der Lichtgeschwindigkeit) erst 1729 von James Bradley über die stellare Aberration bewiesen, und die Erdrotation erstmals 1851 von Leon Foucault mit seinem berühmten Pendel im Pantheon. Einen Demonstrationsversuch dazu findet sich im Deutschen Museum. Galilei versuchte vergeblich, die Drehungen von Erde und Sonne mit den Gezeiten, d.h. mit Ebbe und Flut der Meere, zu begründen. Erst Isaac Newton hatte die physikalischen Grundlagen, diesen Zusammenhang richtig darzustellen.

D. Das Verfahren von 1616

Der >Fall Galilei< begann 1613 mit einem Brief Galilei's an Benedetto Castelli, seinen Schüler und Nachfolger in Pisa, und einem späteren Brief 1615 an die Großherzogin-Mutter Christine von Lothringen. Darin legte Galilei seine Ansicht dar, wie Aussagen der Bibel mit dem Kopernikanischen System verträglich seien. Der Brief an Castelli wurde der Inquisition in fehlerhafter Abschrift zugespielt. Galilei reiste deswegen nach Rom. Ebenfalls 1615 publizierte der Kleriker Paolo Antonio Foscarini ein Buch mit ähnlichen Aussagen. Dies waren krasse Grenzüberschreitungen, denn das Konzil von Trient hatte bestimmt, dass für die Auslegung der Bibel allein die katholische Kirche zuständig ist. Gegen Foscarini eröffnete die Römische Inquisition ein Untersuchungsverfahren, und sein Buch wurde 1616 gebannt. Weitere nichttheologische Schriften über Kopernikanische Astronomie, darunter ein Werk von Johannes Kepler, wurden auf den Index gesetzt. Nicht betroffen blieb das Hauptwerk des Kopernikus, >De Revolutionibus Orbium Coelestium<, erschienen in dessen Todesjahr 1543, es hatte ja das richtige Vorwort.

Formal war Galilei an diesem Verfahren nicht beteiligt. Er wurde wenige Tage nach der Index-Beschlussfassung von Bellarmin empfangen. Der Kardinal händigte ihm ein Schreiben aus, in dem zwei Punkte wichtig waren: einmal die Versicherung, dass Galilei keiner Lehre habe abschwören müssen, und dann die nachdrückliche Ermahnung, das Kopernikanische System in keiner Weise als Tatsache zu verteidigen, sondern allenfalls als Hypothese zu diskutieren. Dieses Schreiben spielte im Prozess von 1632/33 die formal entscheidende Rolle.

Kardinal Bellarmin (1542-1621) als Jesuit war ein bedeutender Theologe der Erneuerung der Kirche, entsprechend den Vorgaben des Konzils von Trient (Trentinum, 1545-47, 1551-52, und 1562-63), die sich in Süddeutschland als Gegenreformation darstellte. Er formulierte sowohl den großen wie den kleinen Katechismus. Das sind Schriften, die bis weit ins 20. Jahrhundert hinein im katholischen Bereich bestimmend waren. 1930 wurde er heilig gesprochen und 1931 in den Rang eines Kirchenlehrers erhoben. Seine Büste ist in Rom im Altarraum von Il Gesu zu sehen, links aussen. Als Vorsitzender der römischen Inquisition hatte er unter anderem die Verbrennung von Giordano Bruno 1600, auf dem Piazza Savona in Rom, zu verantworten. Giordano Bruno hatte sich standhaft geweigert, seinen Auffassungen, die mit kirchlichem Denken unvereinbar waren, abzuschwören. Von Bellarmin ist ein interessanter Brief an Foscarini, vom 12. April 1615, erhalten, in dem es sinn-gemäss heißt: >Läge ein wirklicher Beweis für das kopernikanische System vor, so müsse man bei der Auslegung der heiligen Schrift mit großem Bedacht vorgehen, und bei den entsprechenden Stellen der Bibel eher sagen, dass man sie nicht verstehe als zu sagen, diese seien falsch<. Offensichtlich war Bellarmin sich der Problematik voll bewusst.

E. Zwei Bücher Galilei's

Aus Anlass seiner Wahl zum Papst (als Urban VIII.) widmete Galilei Kardinal Maffeo Barberini im Jahre 1623, die Schrift >Saggiatore< (Goldwaage). In dieser äußert er pointiert seine Überzeugung, >dass die Naturwissenschaft in dem Buch der Natur steht, und dass dieses Buch in mathematischer Sprache geschrieben ist: Ohne Geometrie zu beherrschen verstehe man kein einziges Wort<. Dies wird gerne zitiert, wenn man Galilei als Begründer der modernen, mathematisch orientierten Naturwissenschaften bezeichnet. Diese Schrift enthielt weiterhin eine Reihe schlecht begründeter und zum Teil polemischer Äußerungen und provozierte insbesondere die Jesuiten. Es gelang Gönnern Galileis, unter Zuhilfenahme eines Gefälligkeitsgutachtens, eine Anzeige niederzuschlagen, in der es unter anderem um häretische Ansichten bezüglich des Abendmahls ging. Es war eine Zeit, in der die Lehren des tridentini-

schen Konzils keinesfalls in Frage gestellt werden durften.

Galilei wurde 1624 in Rom wiederholt vom Papst Urban VIII. empfangen. Dieser ermutigte ihn, über das Kopernikanische System zu publizieren, solange er dieses als Hypothese behandle. Damals wusste Papst Urban VIII. nichts von dem Schreiben Bellarmins an Galilei. Den >Dialog über die zwei wichtigsten Weltsysteme, das Ptolemäische und das Kopernikanische<, vollendete Galilei 1630. In diesem beeindruckenden Buch erklärt Galilei, didaktisch bewundernswert, ohne Formeln, und heute noch gut lesbar, sein Verständnis von Physik und Astronomie, und insbesondere sein noch heute nach ihm benanntes Relativitätsprinzip. Galilei schrieb dieses Buch in italienischer Sprache, offensichtlich um ein breiteres Publikum zu erreichen. Da es um eine wissenschaftliche Schrift ging, war die Vermeidung des Lateins ein bewusster Bruch mit der Tradition. An dieser Schrift ist auch bemerkenswert, wie Galilei wissenschaftliche Erkenntnisse anderer völlig ausblendet. Er ignoriert das System von Tycho Brahe (1546-1601) und in nicht nachvollziehbarer Weise die Entdeckungen von Johannes Kepler (1571-1630).

Aus den eigenen Beobachtungen und denen von Brahe, den genauesten der Zeit, erkannte Kepler, dass Erde und Planeten nicht auf idealen Kreisen, sondern auf elliptischen Bahnen umlaufen. Bereits 1605 stellte er dies für den Planeten Mars fest. Die Abweichungen von der Kreisform, die Exzentrizität, ist für Merkur und Mars mit 20 bzw. 10 Prozent am größten, Jupiter und Saturn folgen mit 5 Prozent, für die Erde liegt sie bei 2 und für die Venus bei 1 Prozent.

In seinem zweiten Gesetz formuliert Kepler 1609 mathematisch exakt, wie sich längs der Umlaufbahn die Geschwindigkeit der Planeten ändert. Kepler baute wie Galilei exzellente Fernrohre, führte den Strahlengang jedoch so, dass sich innerhalb des Fernrohrs ein reelles Zwischenbild ergibt. Dies ermöglicht, in der Ebene des Zwischenbilds ein Fadenkreuz und Maßeinteilungen anzubringen, Messungen von Sternpositionen viel genauer wurden.

In seinem dritten Gesetz von 1618 verknüpfte Kepler mathematisch exakt die Umlaufzeiten der Planeten um die Sonne mit den Abständen der Planeten zur Sonne. Diese hatte er über die Methode der Parallaxe gemessen. Die Ergebnisse wurden Galilei vorab mitgeteilt und waren 1619 von Kepler in seinem Buch >Harmonice Mundi< publiziert. Es gibt höfliche Briefe von Galilei an Kepler, in denen von vielem die Rede ist, nur nicht von Keplers Entdeckungen.

Zurück zu Galileis Buch. Das Werk ist, wohl in Anlehnung an die Dialoge Platons, geschrieben in Form einer Diskussion zwischen drei Personen. Damit, so meinte Galilei etwas schlau, würde er der Forderung, das

Kopernikanische System nicht zu lehren, Genüge leisten. Die Fragen nach Physik, Astronomie und deren Umfeld sind einem dümmlichen Simplicio in den Mund gelegt. Das Fatale dabei war, dass Insider in Redewendungen des Simplicio Zitate grundlegender Überzeugungen Papstes Urbans sehen mussten.

Die Druckerlaubnis der Inquisition war Voraussetzung. Vom verantwortlichen Inquisitor in Rom hatte er nur eine vorläufige bekommen. Wegen der Eile berief Galilei sich jedoch auf eine Druckerlaubnis des Florentiner Inquisitors, so dass der Dialog im Februar 1632 erschien.

F. Der Prozess 1633

Der Anlass des berühmten >Prozess Galilei< ist umstritten. Nach gängiger Version hatte Galilei Papst Urban mit der Figur des Simplicio provoziert, den Bogen überspannt, und dieser hätte mit Macht zurückgeschlagen.

Eine andere Version geht davon aus, dass inzwischen Papst Urban VIII. extrem unter politischem Druck stand. Ihm wurden ruinöse Finanzpolitik, hemmungsloser Nepotismus und falsche Außenpolitik vorgeworfen. In der Zeit des Dreißigjährigen Krieges hatte sich Papst Urban auf die Unterstützung Frankreichs festgelegt, aus Sorge vor einem zu starkem Habsburg in Italien. Da Frankreich jedoch den Kriegseintritt Schwedens 1630 unter Gustaf II. Adolf finanziert hatte, war Papst Urban mitschuldig an den Kriegsgräueln der Schweden in katholischen Gebieten, wie z.B. in Bayern. Um seinen Gegnern zumindest einen kleinen Erfolg zu gönnen, bzw. um sie abzulenken, habe er seinen Protegè Galilei geopfert.

Auch gibt es die Ansicht, dass Papst Urban VIII. habe vermeiden wollen, dass seine Gegner frühere Äußerungen Galileis als häretisch hochspielen, Galilei ein Inquisitionsverfahren anhängen, und so Papst Urban als Freund eines Häretikers bloß stellen. In dieser Situation hätte der Papst ein Verfahren zur kopernikanischen Lehre vor einem päpstlichen Sondertribunal, also außerhalb der Kompetenz der Inquisition, als das kleinere Übel angesehen.

G. Der Ablauf des Prozess 1633

In Rom wohnte Galilei zunächst in der Residenz des toskanischen Botschafters. Nach einer offiziellen Vorladung Anfang April 1633 verbrachte er 22 Tage in den Räumen der Inquisition. Am 30. April bekannte er, in einer zweiten Anhörung, im >Dialogo< Dinge irrig dargestellt zu haben, und durfte wieder in die toskanische Botschaft zurück. Am 10. Mai reichte er seine schriftliche Verteidigung ein, mit einer Bitte um Gnade. Am 22. Juni 1633

fand der Prozess in der Basilika Santa Maria sopra Minerva statt. Auf die Dialogform seines Werkes verweisend bestritt Galilei, das kopernikanische System gelehrt zu haben. Er wurde mit dem Schreiben von Bellarmin konfrontiert und des Ungehorsams beschuldigt. Er wurde gezwungen, seinen Fehlern abzuschwören, sie zu verfluchen und zu verabscheuen. Danach wurde eine Verurteilung zu lebenslanger Kerkerhaft ausgesprochen. Das Urteil war unter den zuständigen zehn Kardinälen strittig; drei von ihnen (darunter Francesco Barberini, der Neffe des Papstes) hatten es nicht unterschrieben. Dass Galilei gemurmelt habe, >und sie (die Erde) bewegt sich doch<, ist Legende.

H. Hausarrest 1633-1642 und die Discorsi

Nach dem Urteil stand Galilei in Rom unter Arrest, in der Botschaft des Herzogtums Toscana. Nach wenigen Wochen wurde er der Aufsicht des ihm wohlgesonnenen Erzbischofs von Siena unterstellt, dort ging es ihm dort deutlich besser. Nach fünf Monaten, im Dezember 1633, durfte Galilei in seine Villa in Arcetri bei Florenz zurück, unter der Auflage strengen Hausarrests. Nicht-astronomische Forschungen waren ihm gestattet, auch durfte er seine Töchter im Kloster San Matteo besuchen. Veröffentlichungen waren verboten, jedoch führte er einen ausgedehnten Briefwechsel mit Freunden und Gelehrten des In- und Auslands und empfing später auch Besucher. Er erblindete 1638 vollständig. Als Assistenten und Privatsekretär hatte er bis Ende 1641 Vincenzo Viviani (1622-1703) um sich, danach Evangelista Torricelli (1608-1647). Torricelli erfand unter anderem das Quecksilberbarometer und wurde Galileis Nachfolger als Hofmathematiker in Florenz. Viviani folgte diesem als Mathematiker und Physiker, ihm verdanken wir unter anderem die erste Biographie Galileis.

Ab Juli 1633 - noch in Siena - hatte Galilei an seinem physikalischen Hauptwerk >Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno a due nuove scienze< gearbeitet. Galilei griff in den >Discorsi< Arbeiten seiner frühen Jahren wieder auf, mit Fragen zur Elastizitätstheorie und Kinematik. Er bewies z.B., dass die Bewegung eines Geschosses aus zwei Komponenten besteht: die horizontale wird von der Trägheit bestimmt, die vertikale dagegen von konstanter Beschleunigung, beide zusammen führen zu einer parabolischen Flugbahn. Jedoch gab es damals auch andere Wissenschaftler, die zu entsprechenden Einsichten gelangten. Der Druck der Schrift war im Bereich der katholischen Kirche nicht möglich, die Discorsi erschienen 1636 bei Elsevier in Leiden.

Galilei starb am 8. Januar 1642 in Arcetri. Er ist bestattet in Santa Croce in Florenz, wie auch Michelangelo. Eine vom Herzog geplante feierliche Begräbniszereemonie

verhinderte die Kirche .

VIII. KOMMENTARE

Als der zentrale Punkt bei den mit dem >Prozess Galilei< verbundenen Vorgängen r scheint mir die Machtfrage: Zu der Autorität der Kirche, der Bibel, oder welcher politischer Führung auch immer kam erstmals als neue und unabhängige Autorität die der Naturwissenschaften dazu. Diese sprach aus eigenem Recht und stellte auch Aussagen etablierter Autoritäten in Frage. Dies war ein dramatischer Vorgang und zeigt die Bedeutung der kopernikanischen Wende. Sie bezeichnet den Beginn der Moderne.

Im folgenden möchte ich einige der damals angesprochenen Gesichtspunkte, das Verhältnis von Wissenschaft und Glaubensgemeinschaften, das Selbstverständnis und der Wahrheitsanspruch der Naturwissenschaften, aus heutiger Sicht diskutieren:

A. Galilei und die Kirche

Galilei war einer der Großen der Wissenschaft, und wurde zu seiner Zeit auch in dieser Weise wahrgenommen. Seine Versuche, die Kirche vor einer allzu wörtlichen Auslegung der Heiligen Schrift zu bewahren, führten zum Konflikt. Er unterschied den Bereich des Glaubens von dem der Wissenschaft (so wie später Immanuel Kant), und belehrte die Kirche, wie sie die Dinge der Wissenschaft zu sehen habe. Dies geschah auf wenig diplomatische Art, verbunden mit einigen unhaltbaren Behauptungen. Die vom Konzil von Trient geprägte, machtbewusst und politisch denkende Kirche sah dies als Affront. Intellektuell gelang es der Kirche nicht, auf Galileis Argumente einzugehen. Sie sah das Problem politisch, als Machtfrage, und reagierte mit Verordnung und Strafe. Dabei meinte Papst Urban VIII. sich über den Streit zu stellen, wenn er auf der strikt theologischen Auffassung bestand, dass >die vielfältigen Naturerscheinungen, welche der Allmächtige bewirkt, sich dem beschränkten Verstand der Menschen für immer entziehen<. Deutlich anders setzte Papst Johannes Paul II. die Akzente mit dem bereits zitierten Satz, dass >Glauben und Wissen unterschiedlichen Sphären entstammen<.

Sind damit alle Probleme zwischen Kirche und Wissenschaft aufgehoben? Für reine wissenschaftliche Erkenntnis mag dies gelten. Als Problematik jedoch bleibt, dass religiöse Überzeugungen ethische und moralische Konsequenzen haben und dass andererseits aus reiner wissenschaftlicher Erkenntnis Anwendungen folgen. Die Freisetzung der Kernenergie oder die gentechnische Verfahren sind Anwendungen, die moralische und ethische Bedenken bei vielen hervorrufen. Natürlich sehen sich religiöse

Gemeinschaften hier gefordert. Deshalb ist eine Trennung der Welten von Glauben und Wissen wohl nur für den Bereich der >reinen< Wissenschaft realistisch. Das Potential der Anwendungen hingegen macht auch die reine Erkenntnis zu einem heiklen Thema.

B. Naturwissenschaftliche Erkenntnis

Und nun zu den Naturwissenschaften. Am Beispiel der Physik möchte ich zeigen wie Physiker heute ihre Wissenschaft sehen.

a. Regularität und Chaos.

Keplers Beschreibung der Bahnen von Planeten als Ellipsen ist mathematisch eindeutig. Sie entspricht dem Ideal der Griechen, dass Gesetze der Natur einfach sein sollten. Diesem Ideal folgte Kepler, und so fand er, durch Versuch und Irrtum, in mühevoller Suche, allein aus den Daten seiner Beobachtungen, seine drei Gesetze in mathematisch formulierter Form. Sie beschreiben den Ablauf in Raum und Zeit. Ist das nun die ganze Wahrheit? Leider nein, falls Sie über die Bahn eines Planeten sehr genaue Information benötigen oder an einer Prognose für eine sehr ferne Zukunft interessiert sind. Ideal einfache Beschreibungen wie die von Kepler gelten immer nur für ideal einfache Systeme. Kommt nur ein weiterer Partner, z.B. ein benachbarter Planet, mit ins Spiel, so ist es fast immer vorbei mit der >Regularität< der Bewegung. Es hängt von der jeweiligen Konstellation ab, wie stark die Abweichungen vom idealen Verhalten sind, grundsätzlich aber sind sie da.

Die Keplerschen Gesetze stellen die Beschreibung eines besonders einfachen Systems dar: Ein Planet in Wechselwirkung nur mit der Sonne. Sie folgen aus den Newtonschen Gesetzen, die als universell gültig angesehen werden. Die Physik heute besteht aus wenigen, grundlegenden Gesetzen, und aus den Techniken, wie sich aus diesen das Verhalten von Systemen ableitet. Für einfache, und somit idealisierte Systeme, können sich einfache Beziehungen ergeben, die Keplerschen Gesetze sind ein Beispiel dafür. Die tradierte Bezeichnung Gesetz ist zu sehen in Bezug auf das idealisierte, einfache System.

Für Systeme von wenigen Körpern kann man Bahnen, das raum-zeitliche Verhalten, numerisch rechnen. Ein Beispiel dafür war 1846 die Vorhersage der Existenz des >Planeten< Neptun von Bessel aus beobachteten Abweichungen in der Bahn des Planeten Uranus. Für zeitlich weitreichende Prognosen hängt das Ergebnis ab von der Leistungsfähigkeit der benutzten Computer. Falls man in solchen Berechnungen die Startbedingungen geringfügig ändert, und nach entsprechend langer Zeit ein völlig anders Ergebnis erhält, spricht man von >chaotischem< Verhalten. Man sollte sich darüber im

Klaren sein, dass >Chaotizität< den Normalfall darstellt, und dass wir >Regularität< als eine Idealisierung zu sehen haben. Diese Idealisierung der >Regularität< kann sehr gut sein, falls kurze Zeitspannen betrachtet werden oder Störung durch äußere Faktoren schwach sind. Es ist die Aufgabe des Physikers, in den fast immer sehr komplexen Gegebenheiten ideales Verhalten zu erkennen, und zu beweisen, oder in einer technischen Apparatur dies anzunähern.

b. Ist Wissenschaft verlässlich?

Ist ein aktueller Erkenntnisstand der Wissenschaft für alle Zeiten unumstößliche Wahrheit? Die kopernikanische Wende müssen wir als vorwissenschaftlich einordnen, die Vorstellungen davor waren wissenschaftlich nicht bewiesen. Die Naturwissenschaften heute sind durch einen dramatischen Zuwachs an Wissen gekennzeichnet, und man tut gut daran, zunächst nur neue Lehrbücher zu lesen. Ist das alte Wissen deshalb falsch? Ein eindeutiges Nein! Das Vertrauen der Naturwissenschaftler, und insbesondere der Physiker, in ihre Wissenschaft beruht gerade darin, dass einmal bewiesenes Wissen in dem Bereich, für den die Aussagen gemacht wurden, bleibt. Diese Einschränkung ist wichtig! Das neue Wissen betrifft stets zusätzliche Bereiche der Beobachtung, in immer kleineren oder auch in immer grösseren Skalen, sei es im Raum, in der Energie, oder in der Zeit. Das neue Wissen entsteht aus der Anwendungen neuartiger experimenteller Methoden. Beispiele sind das biochemische Verständnis der Funktionen unseres Körpers, neue Elementarteilchen und Quantenphänomene in der Physik, dunkle Materie in der Astronomie, und vieles andere mehr. Jede Form von zusätzlichem Wissen führte zu neuen, zusammenfassenden Vorstellungen und Begriffsbildungen, die man auch gerne als Vereinheitlichungen bezeichnet. Diese sind für den Fortschritt der Wissenschaften entscheidend. Nur im Rahmen vereinheitlichter Darstellungen lässt sich die Vielfalt der Phänomene intellektuell bewältigen. Die vereinheitlichten Darstellungen führten zu neuen Vorstellungen, z.B. in der allgemeine Relativitätstheorie zu der Vorstellung, dass der Raum nicht absolut vorgegeben ist, sondern sich definiert durch die Existenz von Objekten. In philosophischer Hinsicht kann man hierin eine Wende

sehen, denn der Raum ist nicht mehr etwas á priori Vorhandenes. In physikalischer Hinsicht jedoch bleibt die konventionelle Beschreibung in ihrem etablierten Bereich gültig. Jedoch ist sie zu einem Teil einer umfassenderen Beschreibung geworden und folgt aus dieser von selbst, auf Grund der in sie eingehenden Größen.

c. Ist Physik Realität?

Zum Schluss vielleicht noch eine Bemerkung zu der Frage, ob physikalische Vorstellungen eine Realität darstellen. Die Existenz von Dingen und ihre Wahrnehmung, das Subjekt-Objekt-Problem, ist ein altes Themen der Philosophie. Physik und Astronomie handeln nicht nur von Dingen die man anfassen kann, und deren Existenz somit für einen praktisch denkenden Menschen ausser Zweifel steht. Insbesondere die aktuellen Erkenntnisse folgen aus einem Konstrukt von Argumenten, die meist nur der Fachmann durchschaut. Sind Sterne und Galaxien, Quarks, Neutrinos, schwarze Löcher und die Gesetze ihrer Wechselwirkungen Realität? Diese Frage hat Physiker immer bewegt. Diejenigen, die in der Physik nicht mehr sehen wollten als ein System von Beziehungen, welches die Beobachtungen beschreibt, werden als Positivisten bezeichnet. In einem Anfangsstadium der Wissenschaft ist der Standpunkt des Positivisten sicher vernünftig. Wir erinnern uns, dass Galilei von Belarmin ermahnt wurde, sich auf genau diesen Standpunkt zu beschränken. Max Planck jedoch, und viele nach ihm, vertraten mit Vehemenz die Überzeugung, dass die gesicherten physikalischen Erkenntnisse eine Wirklichkeit beschreiben, die unabhängig vom Beobachter wahr ist. Begründet wird dieser Standpunkt damit, dass die anerkannte Physik heute sehr viele und ganz unterschiedliche Beobachtungen in Raum und Zeit in einheitlicher und logisch konsistenter Weise beschreibt, und dass trotz raffinierten Suchens keine Widersprüche zur Erwartung beobachtet worden sind. Ein weiteres wichtiges Argument ist, dass dieses erdachte und mathematisch formulierte System von Aussagen sich als unabhängig von den Personen erweist, die sich damit befasst haben. Nur die Bezeichnungen und Namen mögen mit den Entdeckern zusammenhängen, nicht aber die Inhalte. Dementsprechend sehen heute fast alle Physiker die Physik und ihre Objekte als etwas an, das unabhängig von den Physikern existiert.

[1] Galileo Galilei,
Schriften, Briefe, Dokumente,
Hsg. Anna Mudry, Rütten und Loenig, Berlin, (1987).

[2] E.Segre,
Die grossen Physiker und ihre Entdeckungen
Piper, (1990).

[3] H.Lesch und J.Müller,
Kosmologie für Fussgänger,

Goldmann, (2001).

[4] F. de Troccio,
Newtons Koffer,
Campus, Frankfurt/N.Y., (1998).

[5] E.Scheibe,
Die Philosophie der Physiker,
C.H.Beck, München, (2006).

[6] Jürgen Renn,
Max Planck Director,
<https://www.mpg.de/.../Galileo-interview-Renn>.

[7] Matteo Valeriani,

Physik Journal 13 Nr.11, 43, (2014)

[8] Lexika.