

GALILEI OHNE MYTHOS

Posted on 31. Juli 2023 by peterreins

Galileo Galilei (1564-1642) wird extrem zwiespältig bewertet. Manche sehen ihn als Genie, das fast im Alleingang den Aristotelismus widerlegt und dabei die heutige moderne Physik begründet hat, sowie als wissenschaftlicher Märtyrer.

Beispielsweise schreibt Josef Honerkamp in seinem Weblog:

„Heute sehen wir, wie viele Gebiete der empirischen Wissenschaften immer stärker mathematisiert werden. Galileo Galilei war es, der die ersten Schritte dazu in der Naturforschung machte. Er hat als erster ein Ergebnis eines physikalischen Experimentes in der Sprache der Mathematik beschrieben. Dabei erkannte er durchaus die Tragweite dieser Verknüpfung von Mathematik und Experiment, er sah sofort, welch eine Revolution eine Mathematisierung für das damalige Verständnis von Wissenschaft darstellt.“

Gerade unter Physikern findet man oft eine solche Einschätzung von Galilei als eigentlichen Gründungsvater der mathematischen Physik. Irgendwann muss sie ja angefangen haben. Und wer bietet sich da besser an als der schillernde und auch irgendwie tragische Galilei, dem die Kirche verbot, die heute allgemein anerkannte Wahrheit zu verkünden, dass sich die Erde um die Sonne dreht und nicht umgekehrt?

Liest man hingegen Arbeiten von Wissenschaftshistorikern, dann wird Galilei in der Regel ganz anders bewertet. Arthur Koestler schreibt z.B.:

„Entgegen Behauptungen in selbst neueren Lehrbüchern der Naturwissenschaft hat Galilei weder das Teleskop noch das Mikroskop, das Thermometer oder die Pendeluhr erfunden. Er hat weder das Gesetz der Trägheit noch das Parallelogramm der Kräfte oder die Sonnenflecken entdeckt und hat keinen Beitrag zur theoretischen Astronomie entwickelt und keine Gewichte vom schiefen Turm zu Pisa heruntergeworfen.“

Der berühmte Wissenschaftshistoriker André Koyré hat sogar die Vermutung aufgestellt, dass Galilei kein einziges Experiment jemals durchgeführt hat. Und Dijksterhuis schreibt:

„Es gibt in der gesamten Wissenschaftsgeschichte vielleicht keine einzige Gestalt, über welche die Meinungen so auseinandergehen wie über Galilei. Die Sache wird noch dadurch kompliziert, dass dem auf dem Studium seiner Werke beruhenden echten, wenn auch oft einseitigen Galileibildern die unechten Bilder dessen, was man den Galileimythos nennen kann, gegenüberstehen. Dieses Bild wird entworfen und lebendig erhalten durch Schriftsteller über moderne Physik, die das Bedürfnis nach einer historischen Einleitung haben, die sich aber nicht die Mühe genommen haben, die einfache Pflicht der Exaktheit zu erfüllen, die darin besteht, die

gemachten Mitteilungen an der historischen Quelle zu prüfen. Es ist ein durch und durch falsches Bild, aber es erstrahlt in viel hellerem Glanz als eines der echten .“

Ich versuche nachfolgende ein möglichst echtes Bild von Galilei zu entwerfen, frei von Mythen.

Galileo Galilei wurde 1564 in Pisa geboren. 1580 begann er ein Medizinstudium, das er allerdings abbrach, um ab 1584 in Florenz Mathematik zu studieren. Ab 1587 hielt er Vorlesungen, berechnete nach Dantes Vorgaben die Ausmaße der Hölle (was uns heute vielleicht etwas merkwürdig erscheint), und begann, sich mit den Arbeiten des Archimedes zu beschäftigen. Im Jahr 1589 wurde er Professor an der Universität von Pisa. In erster Linie lehrte er euklidische Geometrie, aber auch Astrologie. Ein Kuriosum, das uns heutigen kaum mehr vorstellbar ist, ist, dass Medizinstudenten auch Kurse in Astrologie belegen mussten. Sein ganzes Leben lang übrigens glaubte Galilei an die Astrologie und erstellte für andere aber auch für sich selbst Horoskope. Nachdem er die vier Jupitermonde entdeckt hatte, war einer seiner drängendsten Fragen, wie diese „neuen Planeten“, wie er sie bezeichnete, astrologisch zu verstehen seien.

In dieser Zeit als Professor in Pisa untersuchte er beschleunigte Bewegungen, wie die Pendelbewegung, den Wurf von schweren Gegenständen, den freien Fall und das Rollen von runden Scheiben auf der schiefen Ebene. Entgegen der erwähnten Vermutung von Koyré gibt es stichhaltige Indizien dafür, dass Galilei tatsächlich Experimente mithilfe der sogenannten Fallrinne durchgeführt hat. Jedenfalls wurden in jüngerer Zeit seine ausführlichen Notizen dazu gefunden. Berühmt ist die Beschreibung der Versuchsanordnung im dritten Kapitel der *Discorsi*, weil es entweder die erste oder zumindest einer der ersten detaillierten Versuchsbeschreibungen in der Wissenschaftsgeschichte ist.

War Galilei der erste Experimentalphysiker?

Definitiv falsch hingegen ist die Behauptung, dass Galilei überhaupt der erste gewesen war, der systematisch und messend experimentierte. Stattdessen lag das damals sozusagen im Zeitgeist. Viele Mathematiker und Naturphilosophen ersannen sich Experimente, Messverfahren und realisierten sie. Bereits Giuseppe Moletti (1531-1588) oder der Flame Simon Stevin (1548-1620) haben nachweislich vor Galilei Fallversuche ausgeführt. Der Jesuit und Mathematiker Bonaventura Cavalieri (1598-1647) veröffentlichte seine Erkenntnisse darüber, dass die Flugbahnen von Projektilen Parabeln sind, klar vor Galilei. Auch der Mathematiker Niccolò Tartaglia (1499-1557) experimentierte – fast 100 Jahre vor Galilei – mit Geschossen und stellte aufgrund seiner Versuche fest, dass man die größte Reichweite bei einem Winkel von 45° erzielt. Der Engländer William Gilbert (1544-1603) führte erstaunliche und damals viel beachtete Experimente an Magneten durch. Galileis eigener Vater Vincenzo Galilei (1520-1591) überprüfte die akustischen Aussagen des Pythagoras, indem er an Saiten experimentierte.

Es ist auch kein Merkmal einer neuen, nicht-aristotelischen Wissenschaft, dass man damals begann zu experimentieren. Mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ist es ein Legende, dass Galilei Fallversuche am Turm von Pisa unternahm; stattdessen ist gut dokumentiert, dass zwei Aristoteliker dort Kugeln unterschiedlichen Gewichts hinabwarfen, um zu überprüfen, ob schwere Gegenstände schneller aufschlagen würden als leichte, wie Aristoteles behauptet und Galilei

verneinte. Es waren Giorgio Coresio im Jahre 1612 und Vincenzo Renieri 1641. Paradoxerweise trafen die schweren Kugeln tatsächlich eher auf als die leichteren, was somit eher Aristoteles als Galilei zu bestätigen schien. Koyré beschreibt die Versuche, die Giovanni Riccioli (1598-1671) am Torre degli Asenelli in Bologna ausführte:

„Dieser Turm, schief wie der Pisaner, war für jene Experimente besonders geeignet. Viermal, im Mai 1640, im August 1645, im Oktober 1648, endlich im Januar 1650, ging man ans Werk und traf dabei alle erdenklichen Vorkehrungen. Fand aber heraus, dass zwei Tonkugeln, deren eine hohl war und nur zehn Unzen, deren andere, massive aber zwanzig wog, zu verschiedenen Zeiten zu Boden gingen, obwohl sie gleichzeitig die Turmhöhe verlassen hatten. Und dass, nota bene, die leichtere fünfzehn Fuß zurückblieb.“

Wir wissen heute natürlich, dass Galilei im Prinzip recht hatte. Im Vakuum fallen alle Gegenstände genau gleich schnell. Bei den genannten tatsächlichen Fallversuchen spielt eben auch der Luftwiderstand eine Rolle. Der Luftwiderstand bremst nämlich leichtere Kugeln tatsächlich mehr ab als schwerere (gemäß dem sog. Stokeschen Gesetz).

Als Mathematikprofessor an der Universität von Padua (1592-1610) bezog Galilei ein eher bescheidenes Gehalt. Er besserte es auf, einerseits indem er betuchten Studenten Privatunterricht gab. Dies war auch deswegen für ihn wichtig, weil er auf diese Weise Beziehungen zu wichtigen Persönlichkeiten in der Kirche und im Adel knüpfen konnte. Andererseits entwickelte er bestimmte technische Instrumente weiter und vermarktete sie. Besonders gut verdiente er dabei an dem heute sogenannten Proportionszirkel, der damals „Kompass“ genannt wurde, und eine Art technischer Vorläufer des Rechenschiebers ist.

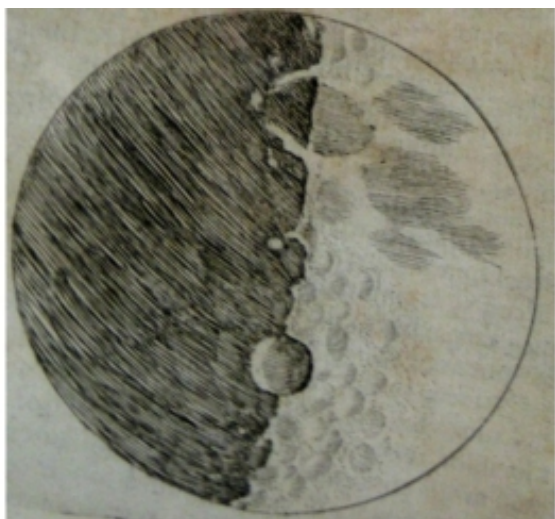
Galilei und das Fernrohr

Zum Galileimythos gehört es, dass er als Erfinder des Teleskops bezeichnet wird. Tatsächlich wurde es von einem in die Niederlande eingewanderten Deutschen, Hans Lipperhey (1570-1619), im Jahre 1608 erfunden. Das Grundprinzip dieses ersten, sogenannten holländischen Fernrohrs ist relativ einfach: man braucht dazu eine konvexe Linse, eine konkave Linse und ein Rohr. Ohne Kenntnisse in theoretischer Optik ist die konkrete technische Umsetzung aber eine ziemlich knifflige Arbeit, ein mühsamer Prozess von Versuch und Irrtum. Sehr schnell meldeten sich noch andere, die für sich beanspruchten, das Teleskop erfunden zu haben, nämlich Jacob Metius und Zacharias Jansen. Ein Jahr später, 1609, erfuhr Galilei von dieser neuen Erfindung und setzte sich sofort daran, sie nachzubauen.

Schließlich hatte Galilei im August 1609 sein eigenes Teleskop, wahrscheinlich mit einer vierfachen Vergrößerung. Er forschte weiter, so dass er nach und nach eine acht- bis neunfache, später sogar eine 33-fache Vergrößerung erreichte. Bald verkaufte er auch Fernrohre oder verschenkte sie an Freunde bzw. an höher gestellte Personen. Sein erstes Motiv, sich mit dem Fernrohr zu beschäftigen, war mit hoher Wahrscheinlichkeit ein wirtschaftliches. Er sah sofort den Nutzen des Teleskops in der Seefahrt und vor allem im Militär. So versprach er sich, ähnlich wie beim Proportionszirkel, von dem Verkauf von Teleskopen hohe Gewinne. Spätestens ab November 1609

erkannte er auch den großen wissenschaftlichen Nutzen des Fernrohrs und er begann, den Nachthimmel mit seinem neuen Instrument zu beobachten. Er war erpicht auf den Ruhm, möglichst der erste zu sein, der den Sternenhimmel auf diese Weise erkundet. Walter Hehl vergleicht die Beobachtung des Himmels mit Hilfe eines Teleskops mit der Raumfahrt. Beidemal war es ein aufregender Schritt, der der Menschheit das Weltall mit seinen Sternen, Planeten, Sonnen und Milchstraßen näher brachte. Einmal indem wir erstmals die „Grenze des mit dem bloßem Auge Sichtbaren“ überschreiten, andermal indem wir erstmals die Grenze der irdischen Anziehungskraft überwinden.

Ein Objekt, das sich für erste Beobachtungen geradezu anbietet, ist der Mond. Gemäß der aristotelischen Philosophie müssten der Mond, die Sonne und alle Planeten perfekte, völlig glatte Kugeln sein, aller irdischen Unvollkommenheit entrückt. Nun sieht Galilei auf dem Mond Berge und Täler, also geologische Formationen, die denen auf der Erde ähneln. Auch die Venus erscheint, näher betrachtet, nicht mehr perfekt: Durch das Fernrohr sind mondähnliche Phasen erkennbar. Der Saturn hat eine merkwürdige Gestalt, die an eine Schale mit Henkeln erinnert; dass es sich um einen Ring handelte, konnte Galilei noch nicht erkennen. Die Sonne weist Flecken auf, heute als Sonnenflecken bekannt. Und er beobachtet, wie vier kleine „Planeten“ um den Jupiter kreisen. Heute weiß man, dass es sich um die größten vier von insgesamt mindestens 80 Jupitermonden handelte. Hehl schreibt: „Galilei ist zu beneiden für die vielfältige Stunde Null, das Erleben der Sternennächte mit dem Gefühl, etwas Unerhörtes als Erster zu sehen, wie ein Raumfahrer im Weltall.“



Quelle: commons.wikimedia.org. Galilei: Zeichnung des Mondes

Galileis Entdeckungen und Erkenntnisse waren ohne Zweifel grandios. Er war aber mit Sicherheit nicht der erste oder gar der Einzige, der mit einem Teleskop am Himmel bisher nie Gesehenes erkundete. Andere Fernrohr-Pioniere waren unter anderem der englische Universalgelehrte Thomas Harriot (1560-1621), sowie der deutsche Astronom Simon Marius (1573-1625). Harriot richtete ab Juli 1609, also einige Monate vor Galilei, sein Teleskop zum Himmel. Dabei entdeckte er bereits die erdähnliche Oberflächenstruktur des Mondes, wovon er noch vor Galilei erste Skizzen anfertigte. Harriot führte ein zurückgezogenes Leben als Forscher und war nicht an Ruhm interessiert; daher verzichtete er darauf, seine Entdeckungen zu veröffentlichen, und blieb deshalb weitgehend unbekannt.

Auch Simon Marius erwarb sich 1609 ein Teleskop, um damit den Himmel zu beobachten. Es ist nicht ganz klar, wer von beiden, Galilei oder Marius, zuerst die Jupitermonde entdeckt hat. Walter Hehl argumentiert, dass es mit hoher Wahrscheinlichkeit der Deutsche war. Galilei aber beanspruchte für sich die Lorbeeren, leugnete sogar, dass Marius überhaupt etwas beobachtet hatte und bezichtigte ihn des Plagiats.

In jedem Fall versuchte Galilei schnellstmöglich, noch im März 1610, seine astronomischen Erkenntnisse und Entdeckungen in dem Büchlein *Siderius Nuncius*, auf Deutsch „Nachrichten von neuen Sternen“, zu veröffentlichen, die eine Reihe von spektakulären Zeichnungen enthält dessen, was er durchs Fernrohr am Himmel erforschen konnte. Offensichtlich ging es Galilei um seinen Ruhm. Das erreichte er auch, denn dieses Büchlein machte ihn mit einem Schlag berühmt. Zeitgenossen verglichen ihn mit Kolumbus, und die neue Welt der Sterne mit Amerika. Galilei zögerte andererseits auch nicht, alle anderen Forscher, wie beispielsweise Simon Marius oder Tycho Brahe, zu diskreditieren. Der dänische Astronom Brahe beobachtete jahrzehntelang, noch ohne Teleskop, den Sternenhimmel und erstellte allein mit dem bloßen Auge astronomische Messungen, die mit diesen Mitteln kaum zu übertreffen sind. Galilei unterstellte ihm einfach, seine Daten erfunden zu haben. So legte er selbst den Grundstein zu dem Mythos, er hätte im Alleingang die beobachtende Astronomie revolutioniert.

Außerdem ist manches Astronomische aus Galileis Feder eher fragwürdig. Beispielsweise erkannte er zwar richtig, dass es auf dem Mond Berge und Täler gibt, aber seine Zeichnung, die er im *Siderius Nuncius* veröffentlichte, weist deutliche Unterschiede zu heutigen Mondfotos auf. 1577 erschien ein spektakulärer Komet am Himmel, der aber, wie Tycho Brahe richtig berechnete, sehr weit von Mond und Erde entfernt war. Dies stand im Widerspruch zur Lehre des Aristoteles, der gemäß alle Kometen sublunare Erscheinungen sein, also zwischen Mond und Erde lokalisierbar sein sollen. Galilei schloss sich der aristotelischen Meinung an und behauptete, dass der beobachtete Komet nur ein irdischer optischer Effekt gewesen sei, ähnlich einem Regenbogen oder den Polarlichtern.

Auch den damals wohl bedeutendsten Astronomen, Johannes Kepler, versuchte Galilei ins Lächerliche zu ziehen, und zwar weil Kepler frei fliegende Planeten für denkbar hielt, die durch fernwirkende Kräfte auf ihrer Bahn gehalten würden. Kepler dachte hier zwar an magnetische Kräfte, war aber nicht so weit von den Newtonschen Idee von Gravitationskräften entfernt. Galilei hingegen war noch dem alten Modell verhaftet, dem gemäß die Planeten durch kristallene Ätherschichten bewegt würden.

Noch ein Wort zur Verwendung des Teleskops. Es gibt Anekdoten derart, dass traditionelle, aristotelisch orientierte Philosophen sich schlicht dagegen gewehrt hätten, durch ein Fernrohr zu blicken, geschweige denn so gewonnene Beobachtungen anzuerkennen. Dergleichen wird von Giulio Libri erzählt, mit dem Galilei verfeindet war; aber auch von Cesare Cremonini, einem Freund Galileis, der meinte, er bekäme Kopfschmerzen, wenn er durchs Fernrohr schaut. Oder anlässlich eines Gastmahls, das Magini 1610 in Bologna für Galilei und einer Reihe von Gelehrten ausgerichtet hat, erlebt Galilei ein Desaster, wie Martin Horky schreibt: „Nichts hat Galilei ausrichten können, denn mehr als zwanzig hochgelehrte Männer waren zugegen, aber keiner hat die neuen Planeten deutlich gesehen; Alle haben erklärt, dass das Instrument täusche“. War das die Bosheit neidischer

Kollegen?

Hierzu sind drei Dinge anzumerken. Zunächst ist es das erste Mal in der Wissenschaftsgeschichte, dass ein Instrument dazu verwendet wurde, um die menschliche Wahrnehmung zu „verbessern“. Die Wahrnehmung durch ein Hilfsmittel ist aber für einen Ungeübten ungewohnt, oft verwirrend und muss immer erst erlernt werden. Biologiestudenten müssen das Sehen durch ein Mikroskop erst lernen; Medizinstudenten müssen erst lernen Röntgenbilder zu lesen.

Dazu kommt noch zweitens, dass es mit den frühen holländischen Fernrohren durchaus schwer ist, überhaupt etwas Vernünftiges zu sehen. Jim und Rhoda Morris haben welche nachgebaut und schreiben über ihre Beobachtungserlebnisse:

„Das erste Bild ist ein winziger, gesprenkelter Lichtfleck am Ende eines Tunnels, umgeben von Dunkelheit. Die wenigen Einzelheiten, die man in diesem Fleck sieht, tanzen bei jeder kleinsten Bewegung des Fernrohrs herum. Dann langsam, wenn man sich konzentriert, scheint der Fleck größer zu werden und man sieht mehr Details.“

Selbst Luftbewegungen können das Bild verzerren.

Drittens schließlich ist es eigentlich die Mindestanforderung für den Gebrauch eines Instruments im wissenschaftlichen Bereich, dass man dessen Funktionsweise theoretisch hinreichend gut versteht. Der Physiker und Wissenschaftstheoretiker Pierre Duhem (1861-1916) sagt sinngemäß treffend, dass jedes Messinstrument voller Theorie ist. Beim Fernrohr ist es vor allem die Theorie der Optik. Es ist bekannt, dass Galilei keine Ahnung von Optik hatte. Somit war seine Verwendung des Teleskops aus wissenschaftlicher Sicht eigentlich naiv. Eine solche Naivität führt leicht zu Fehlern. Fixsterne beispielsweise erscheinen im Teleskop als Lichtpunkte, aufgrund des sog. Beugungseffekts erscheinen die Objekte aber größer als sie sind. Das Beugungsphänomen, von dem Galilei nichts wusste, zusammen mit seiner falschen, theoretischen Annahme, dass alle Sterne dieselbe Größe hätten, führte dazu, dass er die Distanzen zu den Sternen vollkommen falsch berechnete.

Aus heutiger Sicht jedenfalls war es naiv von Galilei, das, was er durchs Teleskop sah, unmittelbar für bare Münze zu halten. Auch wenn die aristotelischen Naturphilosophen zur Zeit Galileis nichts von diesen drei Problemen wussten, so ist es durchaus vernünftig, wenn sie gewisse skeptische Bedenken gegenüber den Fernrohr-Beobachtungen hatten. Übrigens verschickte Galilei, um seine Behauptungen bestätigen zu lassen, an einige Gelehrte Fernrohre. Bemerkenswert viele sahen aber nichts, so dass sie offen von einem Täuschungsversuch Galileis sprachen. Aus heutiger Sicht war das natürlich auch übers Ziel hinausgeschossen.

Alles, was Galilei durch sein Teleskop sah, zeigte, dass die antike Annahme perfekter, ideal reiner Himmelskörper falsch ist. Gerade die genauer gesehene Mondoberfläche legte es nahe, dass sich der Mond nicht wesentlich von der Erde unterscheidet. Das passt nicht recht zum aristotelisch-ptolemäischen Modell, wonach die Erde eine ganz andere Stellung im Weltgefüge hat als der Mond, die Sonne und die Planeten. Vielmehr reihte sie sich vielmehr offenbar darin ein, wie es Kopernikus sagt. Aus einem 1597 an Kepler verfassten Brief geht hervor, dass Galilei schon zu dieser Zeit mit einem heliozentrischen Modell sympathisierte. Nach seinen Himmelsbeobachtungen ab dem Jahr

1609 war er davon fest überzeugt.

Galilei und die katholische Kirche

1615 veröffentlichte Paolo A. Foscarini (1565-1616) eine Schrift, in der er das kopernikanische System nicht nur als Hypothese, sondern als wissenschaftliche Wahrheit betrachtete. Außerdem behauptete er, dass es mit der Bibel in Einklang stehen würde. Zeitgleich schrieb Galilei an die Großherzogin Christina einen Brief desselben Inhalts. Unabhängig davon, ob dieser Brief in die Hände der Inquisition kam oder nicht, Galileis Haltung war allgemein bekannt. Was die Kirche, damals unter Papst Paul V., vor allem störte, waren zwei Dinge: 1. dass ein astronomisches System nicht nur als Berechnungshypothese angenommen wurde; 2. dass die Bibel unautorisiert interpretiert wurde. Gerade beim letzten Punkt war die Kirche in Folge von Luther und der Reformation sehr empfindlich. So kam es, dass Foscarinis Werk 1616 verboten wurde, Kopernikus' *De Revolutionibus* wurde suspendiert und Galilei wurde verwahrt. Zu einem Inquisitionsprozess gegen Galilei oder gar einer Verurteilung kam es nicht.

Einige Jahre später, 1624, hatten der neue Papst Urban VIII. und Galilei in Rom mehrere Gespräche miteinander. Darin ging es unter anderem auch um das heliozentrische System des Kopernikus. Der Papst ermutigte Galilei schließlich dazu, ein Werk zu verfassen, in dem das traditionelle ptolemäische System dem heliozentrischen System des Kopernikus gegenübergestellt wird. Allerdings mit der Vorgabe, beide Systeme als bloß hypothetisch zu behandeln.

Manchmal wird es so dargestellt, als wäre das eine Forderung, die man einem aufrichtigen Wissenschaftler nicht zumuten könne: Wenn man die Wahrheit kennt, dann ist es eine wissenschaftlich-moralische Verpflichtung, sich dazu zu bekennen. Das setzt aber voraus, dass es in der Wissenschaft unumschränkt gültiges, absolut wahres Wissen geben könne. Genau das glaubte man in der Antike. Damals meinte man, dass Vernunft Einsicht und rational-logische Beweise einen Zugang zu absolut sicherem Wissen darstellt. Die moderne Wissenschaftsauffassung lehnt dies gerade ab. Demnach ist jede Theorie immer, immer, immer nur hypothetisch. Duhem, Popper und die ganze moderne Wissenschaftstheorie lassen grüßen. In der heutigen Wissenschaft gibt es keine absoluten Gewissheiten mehr. Der Glaube daran ist Schnee von gestern.

Natürlich ist die Wissenschaftsgemeinschaft davon überzeugt, dass sich die Erde bewegt. Als einer der besten und bekanntesten „Beweise“ dafür gilt das sog. Foucaultsche Pendel. Kein einziger, seriöser Wissenschaftler würde das Gegenteil behaupten. Und dennoch, rein logisch betrachtet, handelt es sich nach wie vor „nur“ um eine Hypothese. Oder anders, mit Popper formuliert: Eine naturwissenschaftliche Theorie kann niemals bewiesen, sondern immer nur falsifiziert werden. Es könnte sich ja doch, gegen alle Erwartung und gegen alle Wahrscheinlichkeit, herausstellen, dass es für das Verhalten des Foucaultschen Pendels eine andere Erklärung gibt, als dass die Erde rotiert. Die Wissenschaftsgeschichte ist voll von solchen Überraschungen.

Nun ist es auch klar, dass Urban VIII. keine prophetische Kenntnis von der Wissenschaftstheorie des 20. Jahrhunderts hatte. Mit seiner Forderung, alle astronomischen Modelle hypothetisch zu behandeln, landete er – aus heutiger Sicht – einen Glückstreffer. Und zwar nur aufgrund seiner theologischen Auffassung, dass kein naturwissenschaftlicher Beweis so stark sein kann, dass Gott in seiner Allmacht es nicht doch anders hätte einrichten können. Interessant ist aber, dass einer der

Väter der modernen Wissenschaftstheorie, Pierre Duhem, ein streng gläubiger Katholik war und durch dieselben theologischen Überlegungen auf das heute übliche, hypothetische Wissenschaftsmodell kam.

Nach den Unterredungen mit Papst Urban VIII. arbeitete Galilei sechs Jahre an seinem neuen Werk, bis er es 1630 fertig hatte. Es dauerte noch zwei Jahre, bis er es 1632 unter dem Titel *Dialog über die die zwei wichtigsten Weltsysteme, das ptolemäische und das kopernikanische* veröffentlichte. Darin scheint er sich weitgehend an die päpstliche Weisung zu halten. Der Hauptprotagonist, Salviati, sagt immer wieder, dass es ihm nur um eine Gegenüberstellung der beiden Systeme geht, um die Argumente dafür und dagegen, er aber letztlich kein Urteil fällen will. Das ist aber, recht besehen, bloßes Gerede. Denn eigentlich lässt der *Dialog* keinen Zweifel offen, dass Galilei das eine System für falsch und das andere für wahr hält: 1. Alle Argumente gegen Kopernikus werden widerlegt; 2. alle Argumente für Ptolemäus werden als unhaltbar verworfen; 3. das ptolemäische System könne „notwendigerweise“ nicht stimmen, woraus 4. folgern würde, dass das kopernikanische System „notwendigerweise“ gelten müsse (was übrigens ein krasser logischer Fehlschluss ist); und 5. gebe es einen unumstößlichen Beweis dafür, dass die Erde rotieren würde, nämlich die Tatsache, dass es Ebbe und Flut gibt. Heutzutage ist klar, dass dieser angebliche Beweis Galileis physikalisch falsch, ja geradezu absurd ist. Stattdessen erklärt man sich heute Ebbe und Flut durch die Gravitationswirkung des Mondes. Übrigens hatte Kepler bereits die Vermutung, dass das Phänomen der Gezeiten fernwirkend durch den Mond verursacht wird, eine These, die Galilei für lächerlichen Unsinn hielt.

Als 6. Punkt könnte man noch anführen, dass Galilei die Parteigänger des geozentrischen Weltbildes als dümmliche Idioten darstellt, vorneweg den fiktiven Gesprächspartner Simplicio. Sein Name bedeutet ja bereits so viel wie „der Einfältige“. Im vierten Kapitel lässt Galilei Simplicio das Argument von der Allmacht Gottes vorbringen, das ihm Urban VIII. 1624 nannte. Im *Dialogo* wird es mit einer kurzen oberflächlichen Bemerkung weggefegt. Letztlich ein klarer Affront gegen den Papst.

An Galileis Argumentation für Kopernikus und gegen Ptolemäus kann man hervorragend das sehen, was ich *asymmetrischen Empirismus* genannt habe. Jede beobachtbare Tatsache, die mit dem kopernikanischen Modell in Einklang zu sein scheint, führt Galilei als Beweis an, dazu gehören die Venusphasen, aber auch das Phänomen der Gezeiten. Jede Erfahrung, die gegen das heliozentrische Weltbild sprechen würde, wird als absurd zur Seite geschoben, wie z.B. der bloße Augenschein oder dass man keinerlei Eindruck davon hat, dass sich nach Kopernikus die Erde mit über 100.000 km/h durchs Weltall schießen müsste.

Das wirklich Paradoxe ist somit, dass einerseits die Forderung von Urban VIII., die beiden astronomischen Systeme als bloß hypothetisch zu behandeln, (zufälligerweise) durchaus in Einklang steht mit der heutigen Wissenschaftstheorie, - während Galileis Auffassung in bemerkenswert vielen Punkten heute als wissenschaftlich falsch gilt.

Was eigentlich schon beim ersten Blick auf den vollen Titel von Galileis Buch verwundert, ist, dass er nur von *zwei* Weltsystemen spricht, denn es gab damals ja vier astronomische Modelle: 1. das geozentrische ptolemäische Modell; 2. das heliozentrische kopernikanische Modell; 3. das Mischmodell von Tycho Brahe, das gut durchdacht geozentrische und heliozentrische Elemente

miteinander verbindet; 4. das heliozentrische System Keplers, bei dem sich die Erde und die Planeten auf elliptischen Bahnen um die Sonne bewegen.

Das ptolemäische System wurde über tausend Jahre lang verwendet und lieferte einigermaßen gute Prognosen. Kopernikus störte sich daran vor allem wegen der sogenannten Ausgleichspunkte, die bei Ptolemäus notwendig waren. Heute weiß man, dass diese Ausgleichspunkte rechnerisch dazu dienten, die Ellipsenbahn der Planeten zu approximieren. Kopernikus verzichtete zwar darauf, allerdings mit dem Resultat, dass sein System mehr sogenannte Epizyklen hatte. Außerdem waren die Prognosen nach dem kopernikanischen Modell sogar schlechter als nach Ptolemäus. Das zur Zeit Galileis genaueste und deswegen auch am meisten genutzte Modell war das von Tycho Brahe. Den größten Schritt nach vorne stellte in jedem Fall Keplers Modell der elliptischen Planetenbahnen dar, das er 1609 in seinem Werk *Astronomia Nova* veröffentlichte.

Die zwei wichtigsten Modelle in der Zeit um 1625 waren somit mit Sicherheit die Modelle Tychos und Keplers. Dass Galilei sich stattdessen auf Ptolemäus und Kopernikus konzentrierte ist etwa so, als hätte jemand um 1940 ein Physikbuch über Gravitation geschrieben, wäre aber mit keinem Wort auf Einsteins Relativitätstheorie eingegangen. Nun hatte Kepler in mehrfacher Hinsicht Pech. Erstens wurde sein bedeutendes theoretisches Werk durch die astronomischen Entdeckungen überschattet, die etwa zeitgleich mithilfe des neuen Fernrohrs gemacht wurden. Und wie beeindruckend sind spektakuläre Zeichnungen von bisher nie gesehenen Details von Himmelskörpern, im Vergleich zu den schwer zugänglichen Rechnungen in der *Astronomia Nova*. Zweitens lebte Kepler damals in Prag und damit im Zentrum von politisch-kriegerischen Turbulenzen, die letztlich zum Dreißigjährigen Krieg führten.

Auf der anderen Seite stand Galilei mit Kepler in jahrelangem Briefkontakt. Kepler suchte die Diskussion mit Galilei und sendete ihm seine astronomischen Arbeiten zu. Bonaventura Cavalieri (1598-1647), dem Galilei dabei half, als Mathematikprofessor an der Universität von Bologna zu kommen, Galilei also offenbar nahestand, erkannte hingegen die Bedeutung von Keplers Werk. Galilei hätte somit durchaus die Gelegenheit gehabt, sich mit Keplers Ellipsen zu beschäftigen. Stattdessen wirft er Kepler hinter seinem Rücken vor, blind seinem Lehrer Tycho Brahe zu folgen und „etwas zu schreiben, was andere nicht verstehen und was vielleicht nicht einmal er selbst verstehen kann“.

Jedem um 1625 an theoretischer Astronomie Interessierten muss klar gewesen sein, dass Kepler Bahnbrechendes geleistet hat. Sein Rechenmodell liefert die besten Prognosen und ist das in sich einfachste und „schönste“ System, zumal nachdem Kepler 1618 auch noch das sog. Dritte Keplersche Gesetz entdeckt hat. Das einzige „Unschöne“ an Keplers System besteht aus Sicht der traditionell-aristotelischen Naturphilosophie darin, dass nicht mehr der „perfekte“ Kreis die geometrische Grundform für Planetenbewegungen ist, sondern die „weniger perfekte“ Ellipse. Warum war es Galilei, der ja der Legende nach der große Widerleger des Aristotelismus war, so wichtig, dass die Planetenbahnen weiterhin kreisförmig sind? De Padovas Begründung dafür: „ ist gefangen im goldenen Käfig seiner Überheblichkeit und seiner Überzeugungen.“ Er glaubte fest, dass er selbst der größte Wissenschaftler seiner Zeit war, würdigte die Leistungen anderer herab, machte sich über sie lustig und arbeitete vor allem an seinem eigenen Ruhm. Das eigentlich Verwunderliche ist, dass er damit bis heute erfolgreich gewesen ist.

Im *Dialog über die Weltsysteme* beanstandet Galilei, dass das ptolemäische System sehr verworren und kompliziert sei, und dass das kopernikanische System dies alles mit einem Schlage beseitigen würde. Die Wahrheit ist, dass das kopernikanische System mindestens so komplex ist wie das ptolemäische – bei fast gleicher Qualität der Prognosen. Man kann sich somit des Eindrucks kaum erwehren, dass Galilei den mathematischen Teil von Kopernikus' *De Revolutionibus* nicht gelesen hat.

Natürlich macht Galilei im *Dialog über die Weltsysteme* auch Aussagen, die auch heute noch als richtig anerkannt werden. Wegweisend sind seine Arbeiten über beschleunigte Bewegungen; er formulierte Vorformen des Trägheitsprinzips und des Energieerhaltungssatzes. Ferner behauptete er richtig, dass sich die Erde um die Sonne dreht und dabei um die eigene Achse rotiert. Allerdings konnte er es nicht beweisen. Er erkannte auch, dass das sekundäre Licht des Mondes von Sonnenlicht verursacht wird, das die Erde reflektiert. Nachfolgend noch ein paar Bemerkungen dazu:

(1) Beschleunigte Bewegungen: Die aristotelische Naturphilosophie nahm an, dass ein schwerer Gegenstand, den man aus dem Ruhezustand fallen lässt, unmittelbar nach dem Loslassen eine konstante Fallgeschwindigkeit erreicht. Galilei hingegen erkannte richtig, dass der Gegenstand vom Ruhezustand aus infinitesimal kleine Anfangsgeschwindigkeiten durchläuft und immer weiter beschleunigt wird.

(2) Eine Vorform des Energieerhaltungssatzes: Er stellt fest, dass Gewicht an einem Pendel auf der Gegenseite wieder (fast) dieselbe Höhe erreicht, von der aus es gestartet hat.

(3) Eine Vorform des Trägheitsprinzips: Die aristotelische Naturphilosophie tat sich schwer damit zu erklären, warum ein Wurfgeschoss unmittelbar nach dem Loslassen nicht einfach direkt nach unten fällt, sondern ein Stück horizontal weiterfliegt. Auch war es ein Rätsel, warum man sich auf einem fahrenden Schiff Bälle so gegenseitig zuwerfen kann, als würde man auf ruhigem, festem Grund stehen. In der Antike und im Mittelalter kannte man noch nicht das Trägheitsprinzip. Galilei formulierte Ideen, die zwar noch nicht exakt Newton vorwegnehmen, aber zumindest in diese Richtung weisen. Allerdings spricht Galilei noch von einer „eingepprägten Bewegung“ oder einer „eingepprägten Kraft“, die das Wurfgeschoss weiter in horizontale Richtung bewegt, was die heutige Physik anders ausdrücken würde.

(4) Die Behauptung, dass sich die Erde um die Sonne dreht: Allerdings ist Galilei davon überzeugt, dass sie das auf einer Kreisbahn tut in einer gleichförmigen, d.h. nicht-beschleunigten Bewegung. Heute hingegen gilt Keplers Theorie als korrekt, wonach die Erde eine elliptische Bahn beschreibt in einer sich beschleunigenden und dann wieder langsamer werdenden Bewegung. Und Keplers Theorie war zu Galileis Zeiten bereits veröffentlicht.

(5) Die Behauptung, dass die Erde rotiert um eine Achse, die schräg zur jährlichen Umlaufbahn der Erde um die Sonne steht: Die Behauptung, dass das sekundäre Licht des Mondes von Sonnenlicht verursacht wird, das die Erde reflektiert.

1633 kam es zu einem Inquisitionsprozess. Galilei gab sich als reuiger Sünder, schwor seinen angeblichen Irrtümern ab und wurde zu einem lebenslangen Hausarrest und einem lebenslangen Lehrverbot verurteilt.

Während seines Hausarrests bis 1638 arbeitete Galilei an seinem letzten Hauptwerk, den *Discorsi*. Darin schildert er seine Festigkeitslehre, und seine Erkenntnis zu beschleunigten Bewegungen wie den freien Fall und Würfeln.

<https://scilogs.spektrum.de/die-natur-der-naturwissenschaft/galilei-und-die-neue-wissenschaft/> vom 12.5.2019.

Koestler: *The sleepwalkers*, 1959. Zitiert aus Hehl, W.: *Galileo Galilei kontrovers*, S. 277.

Dijksterhuis: *Die Mechanisierung des Weltbildes*, S. 372.

Koyré: *Galilei, Das Experiment von Pisa*, S. 66.

S. 91, S. 106.

Hehl: *Galileo Galilei kontrovers*, S. 106.

Siehe Hehl: *Galileo Galilei kontrovers*, S. 156.

Siehe auch De Padova *Das Weltgeheimnis*, S. 90 ff.

Zitiert nach De Padova *Das Weltgeheimnis*, S. 99.

Zitiert nach Hehl: *Galilei kontrovers*, S. 100, scitechantiques.com.

Galilei: *Dialog über die Weltsysteme*, S. 482. Sowie Hehl: *Galilei kontrovers*, S. 187.

Brief Galileis an Cesare Marsilie vom 17.1.1626, zitiert nach De Padova *Das Weltgeheimnis*, S. 300.

De Padova: *Das Weltgeheimnis*, S. 309.

Galilei: *Dialog über die Weltsysteme*, S. 156 f.

Galilei: *Dialog über die Weltsysteme*, S. 31.

Galilei: *Dialog über die Weltsysteme*, S. 75.

Galilei: *Dialog über die Weltsysteme*, S. 21 ff.

Galilei: *Dialog über die Weltsysteme*, S. 156 f.

Galilei: *Dialog über die Weltsysteme*, S. 31.

Galilei: *Dialog über die Weltsysteme*, S. 75.

There are no comments yet.