

MPIWG
MAX PLANCK INSTITUTE
FOR THE HISTORY OF SCIENCE

This article was originally published in the journal "Physik-Journal" by "Wiley-VCH" and the attached manuscript version is provided by the Max Planck Institute for the History of Science for non-commercial research.

The final publication is available via

<https://www.pro-physik.de/restricted-files/88831>

Please cite as: Please cite as: Valleriani, Matteo (2014). "Der Weg zu den "neuen Wissenschaften"." *Physik-Journal*, 13 (11): 43-46.

Please note that images included in this publication may be subject to copyright and republication requires the permission of the copyright holder.

Der Weg zu den „neuen Wissenschaften“

Galileo Galilei war kein heldenhafter Einzelgänger, sondern durchaus ein Kind seiner Zeit.

Matteo Valleriani

Vor 450 Jahren, genauer am 15. Februar 1564, erblickte Galileo Galilei in Pisa das Licht der Welt. Seine wissenschaftlichen Arbeiten machten ihn berühmt, heute gilt er geradezu als Idol der Wissenschaft. Galileis Abschwörung der kopernikanischen Lehre am 22. Juni 1633 gilt als Schlüsselmoment in der Auseinandersetzung zwischen Religion und Wissenschaft. Doch um seinen Verdiensten für die Entstehung einer modernen Physik gerecht zu werden, darf man ihn nicht als heroisches Genie verklären.

Im Jahr 1616 hatte die katholische Kirche das Werk *De revolutionibus orbium coelestium* (1543) von Nikolaus Kopernikus auf den Index gesetzt. Als sich Galileo Galilei 1632 in seinem „Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme“ (*Dialogo sopra i due massimi sistemi*) für das kopernikanische heliozentrische System aussprach, verletzte er damit die kirchlichen Verordnungen. Papst Urban VIII. setzte noch im Erscheinungsjahr eine Kommission zur Begutachtung ein, die schließlich zum Prozess gegen Galilei führte, bei dem er öffentlich und feierlich der kopernikanischen Lehre abschwören musste.

Allein durch Galileis Eintreten für Kopernikus lässt sich der Fall seiner Abschwörung jedoch nicht verstehen. Ihre Geschichte verdeutlicht zudem die Besonderheiten von Galileis wissenschaftlicher Praxis, denn seine Gedanken bewegten sich innerhalb von Bereichen, die man zu seiner Zeit üblicherweise scharf voneinander trennte: Mathematik, Naturphilosophie und Theologie. Dass es Galilei nicht erlaubt war, in den Bereich der Theologie einzutreten, ist nicht verwunderlich, bedenkt man, dass die Kirche zu seiner Zeit noch eine säkulare Macht war. Ein tieferer Blick in die Geschichte offenbart, wie ein Konflikt zwischen Mathematik und Naturphilosophie entstehen konnte. Von großer Bedeutung war dabei Galileis Ansatz, das kopernikanische Weltsystem nicht allein als mathematische Hypothese aufzufassen, sondern als reales physikalisches System in der Natur. Gleichzeitig zeigte er in seinem Buch, dass das geozentrische aristotelisch-ptolemäische System insgesamt falsch und somit eine wörtliche Interpretation der Bibelworte „Und die Sonne stand still“ (Josua 10, 13–14) nicht zu halten war. Die aus der kirchlichen Bibelexegese hervorgegangene naturphilosophische Auffassung war im 17. Jahrhundert oft noch das Resultat einer wörtlichen Auslegung des Textes. Dagegen stellte sich nun Galileo mit seiner „physikalischen“ Deutung des kopernikanischen Systems. Der Theologe Hans Bieri erklärte 2007, worin die grundsätzliche Problematik lag: Galilei selbst hatte zuvor versucht, eine eigene Interpretation der relevanten Bibelpassagen zu liefern [1]. Seine Auslegung hätte, wäre sie anerkannt worden, den nötigen Raum für die Befürwortung des kopernikanischen Systems geboten. Bereits 1613 hatte Galilei in einem Brief an seinen Schüler Benedetto Castelli suggeriert, dass die biblischen Beschreibungen und Erklärungen der Naturphänomene nicht wörtlich auszulegen seien.¹ Sie zu erklären sei vielmehr Aufgabe der Wissenschaften und nicht der Theologie. Damit widersprach Galilei dem im Konzil von Trient verabschiedeten Dogma, das der Römischen Kirche das alleinige Recht auf die Auslegung der Bibel zusprach. Grundsätzlich verstand man damals die Ergebnisse der Mathematiker lediglich als reine Hypothesen über die Welt. Dies galt ganz besonders für die Astronomie, die am stärksten mathematisierte Disziplin der Zeit. Aussagen über die tatsächlichen Erscheinungen in der Welt durften hingegen nur Naturphilosophen machen. Das bringt Galilei in der Einleitung zum kleinen Traktat über sphärische geozentrische Kosmologie zum Ausdruck, das er für den Unterricht an der Universität Padua zwischen 1592 und 1609 verwendete: „Wir sagen, dass das Untersuchungsobjekt der Kosmographie die Welt ist [...] und das bedeutet nur die Beschreibung der Welt. In die Untersuchung des Kosmographen gehören alle Aspekte der Welt, die man untersuchen kann, jedoch nur aus einer Perspektive. Diese betrifft die Untersuchung der Zahlen und die Verteilung der Teile dieser Welt, ihre Form, Größe, ihre Abstände



Dieses Porträt von Galileo Galilei, gemalt von Ottavio Leoni im Jahr 1624 zeigt ihn im Alter von 60 Jahren

¹ Diese Position vertrat er zwei Jahre später noch vehementer mit seinem offenen Brief an Christine von Lothringen.

und vor allem ihre Bewegungen. Diejenige Untersuchung aber, die die Substanz und die Qualitäten derselben Aspekte betrifft, wird dem Naturphilosophen überlassen“ ([2], S. 211). Die Verwendung von Mathematik und ihrer verwandten Bereiche, darunter vor allem der Mechanik, für naturphilosophische Argumente war ein fundamentaler Schritt. Er ebnete den Weg zur Entstehung moderner Wissenschaft in der frühen Neuzeit. Als Galilei durch seine astronomischen Entdeckungen berühmt wurde, verhandelte er um eine bessere Anstellung in Florenz, die er 1610 erhielt. Dabei stellte er dem Großherzog von Florenz jedoch eine zusätzliche Bedingung: Galilei wollte den Titel des Philosophen verliehen bekommen, denn der Titel des Ersten Mathematikers allein genügte ihm nicht. Bei diesem Wunsch ging es nicht nur um mehr Prestige, sondern – und das mag Galilei geahnt haben – darum, dass Mathematik und Naturphilosophie gemeinsam eine Disziplin bilden würden: die Physik.

Auf zu neuen Wissenschaften

Galilei war beileibe kein heldenhafter Einzelgänger, er folgte eher der allgemeinen Tendenz seiner Zeit. Schon 1577 plädierte Guidobaldo del Monte, Patron des jungen Galileis, in seinem *Mechanicorum liber* dafür, die Mechanik zur Untersuchung der Natur zu verwenden ([3], folio 2r). Im Jahr 1588 nahm der Ingenieur Agostino Ramelli im Widmungsbrief seines *Le diverse et artificiose machine* ([5], folio 7v.) Galileis berühmte Aussage von 1623 vorweg, dass die Natur in mathematischen Zeichen geschrieben sei ([4], S. 25). Galilei war in einer Profession ausgebildet, die man heute vielleicht am besten als Künstler-Ingenieur bezeichnen kann, insbesondere im Rahmen der militärischen „Künste“. Seine naturphilosophischen Untersuchungen unternahm er zunächst zwischen 1589 und 1592, als er seine erste Stelle als Lektor für Mathematik an der Universität von Pisa besetzte. Auf der Basis von jesuitischen Kommentaren studierte er in diesen Jahren die aristotelische Physik und verfasste sein erstes unvollständig gebliebenes Werk zur Bewegungslehre [5]. Im Jahr 1592 vereinte Galilei erstmals praktisches und theoretisches Wissen: Zum einen begann er eine neue Tätigkeit als Militäringenieur, und zum anderen unternahm er diejenigen Untersuchungen, die ihm

– allerdings erst später – zur Publikation des Fallgesetzes verhelfen sollten: die *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno à due nuove scienze* von 1638 [7, 8]. Die Verbindung von Praxis und Theorie geschah jedoch nicht allein deshalb, weil Galilei zwei verschiedene Tätigkeiten ausübte. Vielmehr fand diese Verknüpfung auf einer tieferen Ebene statt. Die Untersuchung, die Galilei schließlich zur Formulierung des Fallgesetzes brachte, begann mit der Betrachtung der Flugbahn von Geschossen. Dieses Thema war im 16. Jahrhundert wegen der raschen Verbreitung mobiler Artillerie außerordentlich dringlich. Galileis endgültige Bewegungslehre war die zweite der beiden „neuen Wissenschaften“ (*nuove scienze*) von 1638. Die erste war eine neue Festigkeitslehre, an der er größtenteils während seines Aufenthalts in Padua gearbeitet hatte. Ursprünglich basierte diese Theorie auf dem praktischen Wissen der Maschinen- und Schiffbauer. Die Fähigkeit, große Hebe­maschinen zu entwerfen und zu berechnen, war ein notwendiges Wissen für Militäringenieure. Im Rahmen der Militärarchitektur und bei der Vorbereitung von Festungen für den Kriegsfall gab es einen großen Bedarf an solchen Maschinen. Vor diesem Hintergrund ist Galileis erste Fassung (1593) seines ersten Traktats zur Mechanik (1599) entstanden, in dem er das Theorem der schiefen Ebene formulierte. Dank seiner Ausbildung kam Galilei auch in Kontakt mit den Koordinatoren des Venezianischen Arsenal, das Schiffswerft, Zeughaus und Flottenbasis der ehemaligen Republik Venedig umfasste. Durch den Wissensaustausch mit den Schiffsbauern entwickelte Galilei die Einsicht, dass die Festigkeit

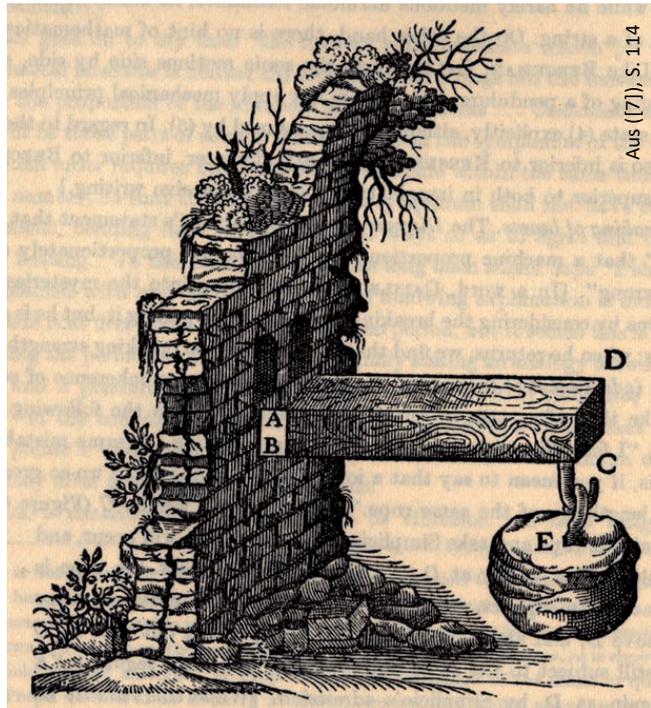
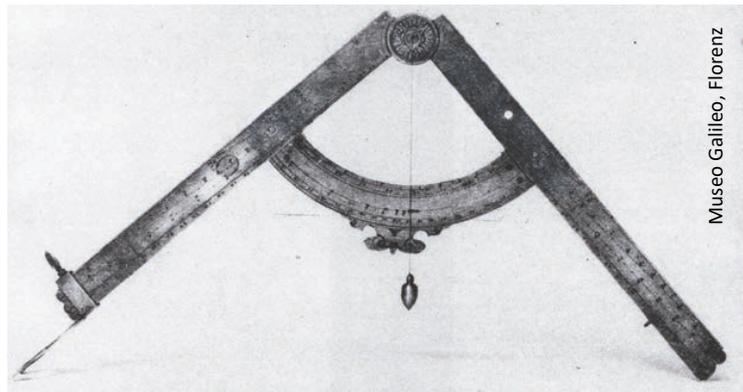


Abb. 1. Anhand dieses Balkenmodells entwickelte Galileo das zweite Erklärungsmodell seiner Festigkeitslehre.

einer funktionierenden Maschine und ihrer Komponenten bei gedachter linear Vergrößerung kleiner wird, weil Volumen und Masse kubisch wachsen, die Querschnitte dagegen nur quadratisch (Abb. 1). In deduktiver Form wurde dieses Wissen zum wichtigsten Bestandteil seiner neuen Festigkeitslehre, mit der eine seit der Antike bestehende theoretische Überzeugung ihr Ende fand, dass die Festigkeit eines Körpers erhalten bleibt, wenn all seine Maße linear vergrößert werden. ([9], S. 117–153). Galileis Manuskripte aus dieser Zeit belegen eine intensive theoretische Forschung, die in einem kleinen Kreis von Freunden und Wissenschaftlern stattfand. Die Öffentlichkeit nahm ihn dagegen vor allem als Lehrer wahr. Galileis Unterricht, sowohl an der Universität zu Padua als auch von Privatschülern, hatte zum Ziel, künftige Militäroffiziere auszubilden. Die propädeutischen Kurse behandelten Optik zur Vermessung von Abständen, Grundlagen des perspektivischen Zeichnens, angewandte Arithmetik und Mechanik. Der Hauptkurs unterrichtete die Schüler in der Benutzung des „militärischen und geometrischen Zirkels“ (Abb. 2). Galilei hatte dieses analoge Recheninstrument selbst entwickelt, ließ es bei sich zu Hause bauen und verkaufte es an seine Studenten, die daran alle Operationen erlernten, welche die zunehmend mathematisierte Kriegskunst damals auf dem Schlachtfeld erforderte ([9], S. 21–113).



Museo Galileo, Florenz

Abb. 2 Galileis *compasso geometrico e militare* war ein Analogrecheninstrument für Offiziere, dessen Benutzung er in Padua zwischen 1592 und 1609 unterrichtete. Mit dem Instrument ließen sich zahlreiche Operationen durchführen, etwa um die Elevation einer Kanone, das Kaliber der Kanonenkugel (abhängig vom Kugelmaterial) oder horizontale und vertikale Abstände zu messen. Damit konnte man die Positionierung der Artillerie in Bezug auf die Festung bestimmen sowie geometrische Zeichnungen der anzugreifenden Festungen fertigen.

Die Zerlegung des Teleskops

Als 1609 das erste Fernrohr die Republik Venedig erreichte und in die Hand Galileis gelangte, untersuchte er es sogleich. Nachdem er das Instrument in seine Einzelteile zerlegt hatte, unternahm er den Versuch, die Vergrößerung zu erhöhen. Als ihm dies gelang, verkaufte er die verbesserte Version des Fernrohrs dem Senat als militärisches Instrument zur Verwendung auf Schiffen. Dank der erzielten technischen Optimierung durch bessere plankonkave Objektive und plankonvexe Okulare kamen Galilei und auch andere in den Genuss, das Fernrohr gegen den Nachthimmel zu richten und beispielsweise den Mond zu betrachten. So kam es, dass Galilei die Monde des Jupiters beobachtete und bereits im Jahr 1610, nur ein knappes Jahr nach seiner technischen Verbesserung, sein Werk *Sidereus nuncius* (Sternenbote) herausgab. Es sollte ihn zum berühmtesten Wissenschaftler seiner Zeit machen. In *Sidereus* schlugen sich astronomische Beobachtungen nieder, die nicht nur unter Astronomen, sondern vor allem unter Naturphilosophen ernste Debatten

auslösten, besonders in Bezug auf die Gültigkeit des aristotelisch-ptolemäischen Weltbildes (Abb. 3). Ab diesem Zeitpunkt führte Galilei sein neues astronomisch-naturphilosophisches Programm konsequent durch – bis hin zur Publikation des erwähnten Dialogo, welche die berühmte Abschwörung zur Folge hatte. Erst danach setzte er seine ursprüngliche Forschung fort, die zum Werk Discorsi führte, das die wichtigste Publikation Galileis für die nachfolgende Zeit und seinen wichtigsten Beitrag zur (präklassischen) Mechanik darstellt.

Genie oder Teil eines Systems?

Vor Kurzem wurde die mittlerweile wohl berühmteste Fälschung eines wissenschaftlichen Buches aufgedeckt. Es handelte sich um eine Ausgabe von Galileos Sidereus nuncius die aufgrund ihrer Bebilderung für eines seiner persönlichen Exemplare gehalten wurde. Eine ganze Gruppe herausragender Wissenschaftler musste den langen Weg von der Entdeckerfreude bis zum schwer ernüchternden Eingeständnis des eigenen Fehlers gehen – und das in aller Öffentlichkeit [11]. Wäre das geschehen, wenn es sich nicht um das „Idol der Wissenschaft“ gedreht hätte, zu dem Galilei vor allem vor dem Hintergrund seiner astronomischen und kosmologischen Betrachtungen geworden war? Wohl kaum. Die historische Rekonstruktion der wissenschaftlichen Praxis Galileis ist nicht nur dadurch verzerrt, dass man aus ihm ein Idol gemacht hat: Im Rahmen seiner Forschungen zur Mechanik erhob man Galilei nach dem Zweiten Weltkrieg sogar zu einem Genie, dessen Forschungsergebnisse historisch fast irrational erschienen. Zugegebenermaßen war Galilei als ausgebildeter Mathematiker in einem der wichtigsten Bereiche des praktischen Wissens tätig: in der Kriegskunst. Er besaß zudem die Fähigkeit, an vielen heterogenen Projekten gleichzeitig zu arbeiten, und hatte ein ausgeprägtes Interesse für die aristotelische Physik. Mit diesen Eigenschaften gelang es Galilei, das praktische Wissen und die Mathematik in der Naturphilosophie zu vereinen. Dennoch handelt es sich bei Galileo Galilei nicht etwa um ein Genie oder einen Einzelkämpfer. Im Gegenteil: Er war Teil eines Systems, ein typischer Künstler-Ingenieur der Renaissance. Seine Ideen und Beobachtungen gehen auf ein vielseitiges Wechselspiel zurück, das in einem großen europäischen wissenschaftlichen Netzwerk stattfand. Die Arbeitsagenda dieses Netzwerks wiederum wurde diktiert von Problemen praktischer Natur, d. h. vom erstaunlichen technologischen Boom der frühen Neuzeit. Hierin also begründete sich die Gemeinschaft der europäischen Wissenschaftler des 16. und 17. Jahrhunderts, an dessen wissenschaftlichem Austausch Galileo Galilei ein Leben lang teilnahm.

Der Autor

Matteo Valleriani ist Forschungsgruppenleiter in Abt. 1 am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte und Koordinator des Projekts „Globalisierungsprozesse des Wissens“. Er untersucht den Zusammenhang zwischen Entstehungsprozessen von wissenschaftlichem, praktischem und technologischem Wissen sowie ihre wirtschaftlichen und politischen Bedingungen. Seine Forschung konzentriert sich vor allem auf die Hellenistische Zeit, das Spätmittelalter und die Frühe Neuzeit. 2010 erschien sein Buch „Galileo Engineer“ [8].



Literatur

- [1] H. Bieri, Der Streit um das kopernikanische Weltsystem im 17. Jahrhundert, Peter Lang, Bern (2007)
- [2] G. Galilei, La Sfera ovvero Cosmografia, in: A. Favaro (Hrsg.), Le Opere di Galileo Galilei, Bd. 2, Giunti Barbèra, Firenze (1968), S. 203
- [3] G. del Monte, Guidiubaldo e Marchionibus Montis Mechanicorum Liber. Pisauri: Apud Hieronymum Concordiam (1577)
- [4] G. Galilei, Il Saggiatore, Appresso Giacomo Mascardi, Roma (1623)
- [5] A. Ramelli, Le diverse et artificiose machine [...], In casa dell'autore, Parigi (1588)
- [6] Ms. De motu antiquiora, ca. 1590, in: A. Favaro (Hrsg.), Le Opere di Galileo Galilei, Bd. 1, Giunti Barbèra, Firenze (1968), S. 243
- [7] G. Galilei, Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno à due nuove scienze, Leida: Appresso gli Elsevirii (1638)
- [8] J. Renn, P. Damerow und S. Rieger, Hunting the White Elephant, in: J. Renn (Hrsg.), Galileo in Context, Cambridge University Press, Cambridge (2001), S. 29
- [9] M. Valleriani, Galileo Engineer, Springer, Dordrecht (2010)
- [10] P. Gassendi, Petri Gassendi Institutio Astronomica, juxta hypotheses tam veterum quam recentiorum: cui accesserunt Galilei Galilei Nuntius Sidereus; et Johannis Kepleri Dioptrice (1682), S. 37
- [11] H. Bredekamp, I. Brückle und P. Needham, A Galileo Forgery: Unmasking the New York Sidereus Nuncius, in: H. Bredekamp (Hrsg.), Galileo's O, Bd. 3, De Gruyter, Berlin (2014)

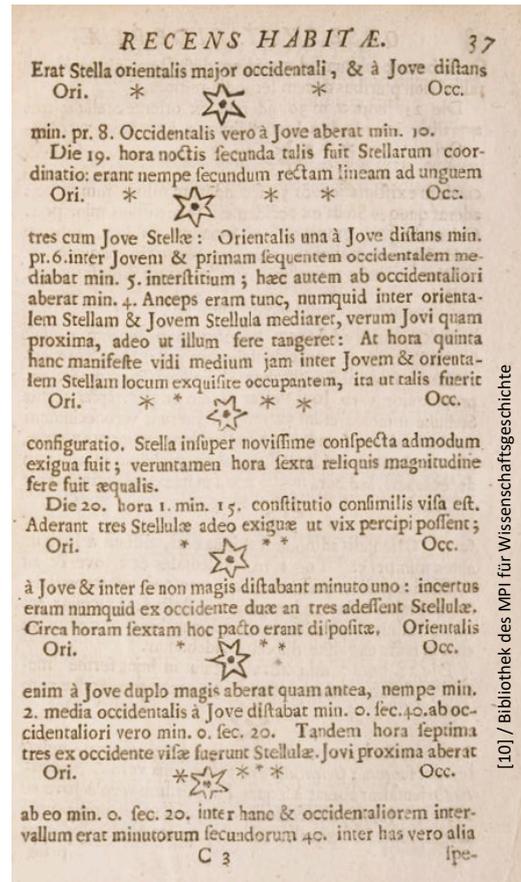


Abb. 3. Galileis Beschreibung seiner astronomischen Beobachtungen der Jupiter-Monde ist stunden- und tagesweise organisiert.