

Hilfsgerüst zum Thema:

Galileo Galilei als Vater moderner Naturwissenschaft

Am 22. April findet die Vorlesung nicht statt.

1. Die Unterscheidung zwischen mathematischer und empirischer Naturwissenschaft

- axiomatische und empirische Physik
- Protophysik und empirische Physik
- Galilei hat als erster im Bereich der Physik zwischen apriorischer (theoretischer) und aposteriorischer (empirischer) Physik unterschieden, was für moderne Naturwissenschaft charakteristisch ist.
 - Carl Friedrich von Weizsäcker: »Das späte Mittelalter war in keiner Weise ein dunkles Zeitalter; es war eine Zeit hoher Kultur, von gedanklicher Energie sprühend. Jene Zeit übernahm die Philosophie des Aristoteles, weil er sich mehr als irgend ein Anderer der sinnlichen Wirklichkeit annahm. Aber die Hauptschwäche des Aristoteles war, daß er zu empirisch war. Deshalb brachte er es nicht zu einer mathematischen Theorie der Natur. Galilei tat seinen großen Schritt, indem er wagte, die Welt so zu beschreiben, wie wir sie nicht erfahren. Er stellte Gesetze auf, die in der Form, in der er sie aussprach, niemals in der wirklichen Erfahrung

gelten und die darum niemals durch irgendeine einzelne Beobachtung bestätigt werden können, die aber dafür mathematisch einfach sind. So öffnete er den Weg für eine mathematische Analyse, die die Komplexität der wirklichen Erscheinungen in einzelne Elemente zerlegt. Das wissenschaftliche Experiment unterscheidet sich von der Alltagserfahrung dadurch, dass es von einer mathematischen Theorie geleitet ist, die eine Frage stellt und fähig ist, die Antwort zu deuten. [...] Galilei zerlegt die Natur, lehrt uns, neue Erscheinungen willentlich hervorzubringen, und den gesunden Menschenverstand durch Mathematik zu widerlegen.«¹

- Jürgen Mittelstraß: »Mit dieser [...] axiomatischen Ordnung, nicht mit einzelnen inhaltlichen Sätzen beginnt die neuzeitliche Physik, und sie beginnt als rationale Mechanik, weil in ihren Begründungsketten erfahrungsabhängige Sätze nicht vorkommen, dem empirischen Teil ein protophysikalischer Teil vorausgeht.«²

- die Mathematisierung der Wissenschaft

2. Galileis Bewegungstheorie ist Proto-physik

- Galilei konnte die Bewegungsgesetze mathematisch deduzieren.
- durch eine rein theoretische Ableitung
- Galileis Betrachtungen über die Ortsbewegung, wie Jürgen Mittelstraß konstatiert, »stellen nichts anderes dar als eine *axiomatische Bewegungstheorie*, ein

¹Carl Friedrich von Weizsäcker, Die Tragweite der Wissenschaft, Bd. I: Schöpfung und Weltentstehung. Die Geschichte zweier Begriffe, 4., unveränderte Aufl. (Stuttgart 1973), 107–108.

²Jürgen Mittelstraß, *Neuzeit und Aufklärung. Studien zur Entstehung der neuzeitlichen Wissenschaft und Philosophie* (Berlin/New York 1970), 235.

Stück Protophysik also, das über Definitionen, Axiome und Theoreme schließlich, nämlich unter der Hinzunahme der Behauptung, dass die zunächst allein logisch aus den Axiomen abgeleiteten Theoreme auch auf empirische Ereignisse zuträfen, empirische Physik begründet«³.

- Mittelstraß: »Ein axiomatischer Aufbau und die logische Herleitung erster Sätze aus terminologischen Bestimmungen«⁴ charakterisiert die wissenschaftliche Methode Galileis.

- Mittelstraß: Das Ergebnis der Überlegungen Galileis »ist die Unterscheidung zwischen einem apriorischen und einem aposteriorischen Teil der Physik oder die Unterscheidung zwischen Protophysik und empirischer Physik, die der Formulierung einzelner physikalischer Sätze methodisch vorausgeht. Während im Rahmen der empirischen Physik Sätze über die (physikalische) Welt formuliert und (mit Hilfe des Experiments) bestätigt (bzw. falsifiziert) werden, ist es Aufgabe der Protophysik, hierzu allererst die begrifflichen Mittel bereitzustellen.«⁵
 - Mittelstraß: »Die Beschränkung auf protophysikalische Sätze ließe überhaupt keine Aussagen über die (physikalische) Welt zu, die Beschränkung auf empirische Sätze dagegen erlaubte es auf dem Boden der vorausgeschickten, von Galilei geteilten Bemerkungen nicht mehr, hier noch von Wissenschaft zu sprechen.«⁶

- I. Kant: »Als Galilei seine Kugeln die schiefe Fläche mit einer von ihm selbst gewählten Schwere herabrollen, oder Torricelli die Luft ein Gewicht, was er sich zum voraus dem einer ihm bekannten Wassersäule gleich gedacht hatte, tragen ließ, [...] so ging allen

³Ebd., 212.

⁴Ebd., 238.

⁵210.

⁶210.

Naturforschern ein Licht auf. Sie begriffen, daß die Vernunft nur das einsieht, was sie selbst nach ihrem Entwurfe hervorbringt, daß sie mit Prinzipien ihrer Urteile nach beständigen Gesetzen vorgehen und die Natur nötigen müsse auf ihre Fragen zu antworten, nicht aber sich von ihr allein gleichsam am Leitbände gängeln lassen müsse; denn sonst hängen zufällige, nach keinem vorher entworfenen Plane gemachte Beobachtungen gar nicht in einem notwendigen Gesetze zusammen, welches doch die Vernunft sucht und bedarf. Die Vernunft muß mit ihren Prinzipien, nach denen allein übereinkommende Erscheinungen für Gesetze gelten können, in einer Hand, und mit dem Experiment, das sie nach jenen ausdachte, in der anderen, an die Natur gehen, zwar um von ihr belehrt zu werden, aber nicht in der Qualität eines Schülers, der sich alles vorsagen läßt, was der Lehrer will, sondern eines bestellten Richters, der die Zeugen nötigt, auf die Fragen zu antworten, die er ihnen vorlegt. Und so hat sogar Physik die so vorteilhafte Revolution ihrer Denkart lediglich dem Einfalle zu verdanken, demjenigen, was die Vernunft selbst in die Natur hineinlegt, gemäß, dasjenige in ihr zu suchen (nicht ihr anzudichten), was sie von dieser lernen muß, und wovon sie für sich selbst nichts wissen würde. Hierdurch ist die Naturwissenschaft allererst in den sicheren Gang einer Wissenschaft gebracht worden, da sie so viel Jahrhunderte durch nichts weiter als ein bloßes Herumtappen gewesen war.«⁷

3. Die axiomatische Ableitung des Fallgesetzes

- Das Fallgesetz: Wenn ein Körper vom Zustand der Ruhe aus in einer gleichförmig beschleunigten Bewegung fällt, so verhalten sich die in bestimmten Zeiten von ihm zurückgelegten Strecken wie die Quadrate der Zeiten.

*D*₁ Ich nenne diejenige Bewegung gleich oder gleichförmig, bei der die in irgendwelchen gleichen Zeit vom bewegten Körper zurückgelegten Strecken untereinander gleich sind.

⁷Vorrede zur 2. Auflage der *Kritik der reinen Vernunft*, B XII f.

- A_I Die bei ein und derselben gleichförmigen Bewegung in längerer Zeit zurückgelegte Strecke ist größer als die in kürzerer Zeit zurückgelegte Strecke.
- A_{II} Die bei ein und derselben gleichförmigen Bewegung für eine größere Strecke benötigte Zeit ist länger als die für eine kleinere Strecke benötigte Zeit.
- A_{III} Die bei gleicher Zeit in einer größeren Geschwindigkeit zurückgelegte Strecke ist größer als die in einer kleineren Geschwindigkeit zurückgelegte Strecke.
- A_{IV} Bei gleicher Zeit ist die Geschwindigkeit, in der eine größere Strecke zurückgelegt wird, größer als die Geschwindigkeit, in der eine kleinere Strecke zurückgelegt wird.
- Th_{I1} Wenn ein gleichförmig bewegter Körper bei gleicher Geschwindigkeit zwei Strecken zurücklegt, so verhalten sich die Zeit wie die Strecken.
- Th_{II1} Wenn ein bewegter Körper in gleichen Zeiten zwei Strecken zurücklegt, so verhalten sich die Strecken wie die Geschwindigkeiten. Und umgekehrt: wenn die Strecken sich verhalten wie die Geschwindigkeiten, so sind die Zeiten gleich.
- Th_{III1} Bei ungleichen Geschwindigkeiten verhalten sich für gleiche Strecken die Geschwindigkeiten umgekehrt wie die Zeiten.
- Th_{IV1} Bei zwei gleichförmig, jedoch mit ungleichen Geschwindigkeiten bewegten Körpern verhalten sich die in ungleichen Zeiten zurückgelegten Strecken wie das zusammengesetzte Verhältnis aus den Geschwindigkeiten und Zeit.
- Th_{V1} Bei zwei gleichförmig, jedoch mit ungleichen Geschwindigkeiten und auf ungleichen Strecken bewegten Körpern werden sich die Zeiten verhalten wie das Verhältnis der Strecken multipliziert mit dem umgekehrten Verhältnis der Geschwindigkeiten.
- Th_{VI1} Bei zwei gleichförmig bewegten Körpern ist das Verhältnis ihrer Geschwindigkeiten gleich dem Verhältnis der Strecken multipliziert mit dem imgekehrten Verhältnis der Zeiten.
- D_2 Ich nenne diejenige Bewegung gleich oder gleichförmig beschleunigt, die, vom Zustand der Ruhe ausgehend, in gleichen Zeit gleiche Geschwindigkeitszuwächse erwirbt.

Th_{I2} Die Zeit, in der irgendeine Strecke von einem vom Zustand der Ruhe aus gleichförmig beschleunigten Körper zurückgelegt wird, ist gleich der Zeit, in der dieselbe Strecke von demselben Körper in einer gleichförmigen Bewegung zurückgelegt würde, deren Geschwindigkeit gleich wäre dem halben Wert des letzten und höchsten Geschwindigkeitswertes jener ersten gleichförmig beschleunigten Bewegung.

Th_{II2} Wenn ein Körper vom Zustand der Ruhe aus in einer gleichförmig beschleunigten Bewegung fällt, so verhalten sich die in bestimmten Zeiten von ihm zurückgelegten Strecken wie die Quadrate der Zeiten.

- Zu dieser Ableitung schreibt Mittelstraß (231): »In dieser Begründung aber beruht Galileis Entdeckung, die ihn in seiner historischen Leistung zugleich von sogenannten Vorläufern und partiellen, inhaltlichen Vorwegnahmen unabhängig macht. Denn eine axiomatisierte Bewegungstheorie, wie sie mit dem 3. Buch der ›Discorsi‹ vorliegt und die ihrerseits einzelne Sätze wie das ›Fallgesetz‹ auf nunmehr euklidische Weise begründen läßt, hat es zuvor nicht gegeben.«
- Mittelstraß, 236: »Es ist, mit anderen Worten, wieder die Einsicht in die *Autonomie der Vernunft*, die am Anfang der neuzeitlichen Physik steht. Und diese Einsicht ist an dieser Stelle um so höher einzuschätzen, als es in der Physik ja nicht nur wie in Logik und Mathematik um Aussagen über eigene Konstruktionen, sondern um Aussagen über die (physikalische) Welt geht.«

4. Die Bedeutung der Experimente

- Das konkrete Experiment dient Galilei lediglich der Bestätigung der Theorie.
- Galilei: »Sollte sich herausstellen, dass sich die später zu beweisenden Eigenschaften (einer gleichförmig beschleunigten Bewegung) in frei fallenden und beschleunigten Körpern wiederfinden, so werden wir

annehmen dürfen, dass die gegebene Definition die Bewegung fallender Körper einschließt und dass deren Beschleunigung proportional zur Zeit und zur Dauer der Bewegung wächst.«⁸

- »Ist dies nicht der Fall, verlieren unsere Beweise dennoch nichts von ihrer Kraft und Schlüssigkeit, da sie ja allein für unsere Annahmen gelten sollten.«⁹

- Im übrigen konnte das Experiment für ihn – ähnlich wie für Descartes – nur bedeuten, dass die bereits in sich bestehende Theorie auch in der Wirklichkeit zutrifft.
 - Mittelstraß: »Das Experiment dient mit anderen Worten in erster Linie gar nicht zur Begründung theoretischer Sätze, sondern als Nachweis dafür, dass gewisse Phänomene, in diesem Falle ›natürliche‹ Bewegungen, unter diese Sätze fallen.«¹⁰

- Das Experiment liefert nur eine Vergewisserung, aber keinen Beweis.

- A. Fölsing: »Während bei den Physikern im allgemeinen das Bild vom experimentierfreudigen Galilei fortlebt, sein Name sogar als Synonym für die experimentelle Haltung gilt, hat sich unter Wissenschaftshistorikern und Philosophen die Vorstellung von dem Platoniker Galilei in einem Maße durchgesetzt, dass schließlich durchweg behauptet wurde, Galilei habe überhaupt nicht experimentiert und seine Beschreibungen seinen als illustrative Ausschmückungen von ›Gedankenexperimenten‹ zu verstehen. So schrieb zum Beispiel der Wissenschaftshistoriker A. Rupert Hall: ›Viele von Galileis Experimenten, oder richtiger Berufungen auf Erfahrungen,

⁸Galilei, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* (Bd. 8, 202-203).

⁹Galilei, Brief vom 5. Juni 1637 an Pietro Carcavy (Bd. 17, 90f.). »Mit Behauptungen über empirische Bewegungen beginnen zu wollen, erweist sich an dieser Stelle (von Galilei deutlich ausgesprochen) als sinnlos.« Mittelstraß, 215.

¹⁰Mittelstraß, 213. »Entgegen den Erwartungen, die Galilei und die Physik der folgenden Jahrhunderte gegenüber der ›experimentellen Methode‹ hegten, lassen sich mit Hilfe des Experiments Behauptungen im Grunde niemals (es sei denn für den singularen Fall) verifizieren.« Ebd., 239.

waren rhetorisch; es waren keine Berichte von Ereignissen, die auf eine genaue Art und Weise in Gang gebracht worden waren. ... das berühmteste und entscheidendste Experiment in seinem Gesamtwerk – das Herabrollenlassen einer Kugel auf einer Ebene von verschiedener Neigung – ist in Ausdrücken beschrieben, die unmöglich zutreffend sein können.¹¹
«¹²

- Fölsing: »Dass die Beschreibungen der Experimente aber ›unmöglich zutreffend sein können‹, gehört zu den kuriosesten Mythen einer Wissenschaftsgeschichtsschreibung, die sich auf Entmythologisierung auch des Galilei-Mythos einiges zugute hält.«¹³
- Naturgesetze müssen also nicht in der empirischen Erfahrung verifizierbar sein.

5. Die Rettung der Erscheinungen

- die Rettung der Phänomene (griech. σώζειν τὰ φαινόμενα; lat. *salvare apparentias*; engl. *save the phenomena*, *saving the appearances*; frz. *sauver les phénomènes* bzw. *les apparences*).
- Die Erklärung der Phänomene der Natur mittels mathematischer Gesetzeshypothesen
- Ursprung in der Antike (Platon u. Aristoteles u. a.)
- zuerst auf die Astronomie eingeschränkt
 - das Verfahren, Hypothesen über die (wahren) Bewegungen der Gestirne aufzustellen, um die (sichtbaren) Himmelserscheinungen aus ihnen abzuleiten.

¹¹R. Rupert Hall, *From Galileo to Newton* (London 1963, dt.: *Die Geburt der naturwissenschaftlichen Methode* (Gütersloh 1965) 45.

¹²Albrecht Fölsing, *Galileo Galilei. Prozeß ohne Ende. Eine Biographie* (Reinbek 1996), 168.

¹³Fölsing, 169.

- Als ›rettungsbedürftig‹ in diesem Sinne galten aufgrund ihrer Unregelmäßigkeit die Planetenbewegungen.
 - Denn sie galten als göttlich und daher vollendet und mussten daher kreisförmig sein.

- Aristoteles hält an der göttlichen Dignität der supralunaren gegenüber der sublunaren (irdischen) Welt-sphäre und damit an der Rettungsbedürftigkeit der himmlischen Phänomene fest.

- Problematisch für das aristotelische Weltbild wird das alternative heliozentrische Weltmodell, als die astronomischen Hypothesen mit physikalischem Wahrheits- und Erklärungsanspruch auftreten.
 - Bei Kopernikus ist dies noch nicht der Fall, denn für ihn das heliozentrische System noch lediglich eine zweite gleichrangige, eine ›bloße‹ Hypothese zur Rettung der Phänomene.
 - Die sog. ›Kopernikanische Revolution‹ vollzieht sich erst mit Kepler.

 - Mit ihm wird außerdem die ontologische Schranke zwischen einer supralunaren, göttlichen und einer sublunaren, irdischen Weltsphäre aufgehoben.

 - Nunmehr ist nicht nur die supralunare Sphäre, sondern auch die sublunare Sphäre göttlich und vernünftig.
 - Die Lehre von der Rettung der Phänomene ist auch im Mittelalter bekannt.¹⁴

¹⁴Vgl. Thomas von Aquin, *Summa theologiae*, I, q. 32 a. 1 ad 2. und Thomas von Aquin, *In De caelo*, lib. 2 l. 17 n. 2.

- Karl Popper: Mutmassungen
- S. Hawking: »Ich nehme den positivistischen Standpunkt ein, daß eine physikalische Theorie nur ein mathematisches Modell darstellt und daß es nicht sinnvoll ist, zu fragen, ob dieses der Realität entspricht. Man kann nur fragen, ob seine Vorhersagen mit den Beobachtungen in Einklang stehen.«¹⁵

- Wie ist Galilei dazu gekommen?

6. Buch der Natur

- Bei Galileo Galilei (1564-1642) ist die Metapher wichtig sowohl bei seiner revolutionären Auffassung von Naturwissenschaft als auch bei seiner Konfrontation mit der Inquisition.

- die zwei von Gott geschriebenen Bücher

- Galilei (1623): «Das Buch der Natur ist in der Sprache der Mathematik geschrieben und ihre Buchstaben sind Dreiecke, Kreise und andere geometrische Figuren, ohne die es ganz unmöglich ist auch nur einen Satz zu verstehen, ohne die man sich in einem dunklen Labyrinth verliert.»¹⁶

- Wie religiös diese Vorstellung damals war, sieht man daran, dass Galileis Zeitgenosse Johannes Kepler

¹⁵Stephen Hawking und Roger Penrose, *Raum und Zeit*, übers. von C. Kiefer (Reinbek bei Hamburg 1998), 10.

¹⁶G. Galilei, *II Saggiatore* (1623) Edition Nazionale, Bd. 6, Florenz 1896, S. 232.

(1571-1630) Naturwissenschaft geradezu als Gottesdienst verstand. Er bezeichnete sich sogar als »Priester Gottes am Buche der Natur«¹⁷, welches Gott uns, wie er vertraut, immer mehr erschließe.¹⁸

- C. F. von Weizsäcker: »Für Kepler war die Astronomie eine Anbetung des Schöpfers durch das Medium der Mathematik. Im mathematischen Gesetz denkt der Mensch, der nach Gottes Bild geschaffen ist, Gottes Schöpfungsgedanken nach.«¹⁹

- Mit Augustinus beginnt eine lange Tradition.

- der Ausdruck ›Buch der Natur‹²⁰

- Die früheste dichterische Verwendung kommt wohl bei Alanus ab Insulis (Alain de Lille) (ca. 1114/20–1202) in seiner *Sequenz der Rose* vor.

»Die Geschöpfe dieser Erde
sind ein Buch und ein Gemälde.«²¹

- Goethe kennt diese Metapher ebenfalls. »Sieh, so ist Natur ein Buch lebendig, unverstanden, doch nicht unverständlich.«²²

¹⁷Johannes Kepler, Brief an Herwart von Hohenburg vom 26. März 1598 in: *Gesammelte Werke*, Bd. 13: Briefe I: 1590–1599, hrsg. von M. Caspar (München 1945), Nr. 91, 193.

¹⁸Kepler, *Epitome Astronomiae Copernicanae*, *Gesammelte Werke*, Bd. 7, hrsg. von M. Caspar (München 1953), 574.

¹⁹Carl Friedrich von Weizsäcker, *Die Tragweite der Wissenschaft*, Bd. I: Schöpfung und Weltentstehung. Die Geschichte zweier Begriffe, 4., unveränderte Aufl. (Stuttgart 1973), 106.

²⁰Augustinus, *De Gen. ad litt.*, 219ff.

²¹Omnis mundi creatura / quasi liber et pictura / nobis est, et speculum. Alanus ab Insulis. Vgl. Eco 1982, 34, 138, 356.

²²»Sendschreiben« von 1774.

- Hugo von S. Viktor (um 1097–1141) beschrieb die empirische Welt als ein Buch, das mit Gottes Finger geschrieben wurde.
 - Das heißt für ihn, daß »die Welt aus der Kraft Gottes erschaffen worden ist und daß somit die einzelnen Geschöpfe wie Figuren sind, die nicht aufgrund menschlichen Gefallens erfunden worden sind, sondern durch den göttlichen freien Willen«²³.

- Der katalanische Humanist Raymund von Sabunde (gest. 1437) hat die Metapher dahingehend erweitert, daß im Buch des Alls der Geschöpfe jedes Geschöpf gleichsam ein Buchstabe sei.²⁴
 - »So wie ein des Lesens Unkundiger lediglich Figuren sieht, wenn er ein offenes Buch betrachtet, aber die Buchstaben nicht versteht«, fährt er fort, »so ist ein Mensch, der das nicht wahrnimmt, was Gottes ist, dumm und tierisch«²⁵
Ähnlich hatte Nikolaus von Kues das Buch der Welt mit einem Text Platons in griechischer Sprache verglichen, der einem Deutschen, der das Griechische nicht versteht, vorgelegt wird.²⁶

- Bonaventura (1221–1274) lehrte ebenfalls, daß es zwei Bücher gibt, von denen eines innen und das andere außen in der sinnlichen Welt vorkommt.²⁷
 - »Das aber ist das Buch der Schrift, das die Ähnlichkeiten, die Besonderheiten und den Sinn der Dinge, die im Buch der Welt geschrieben sind, darstellt.«²⁸

²³Hugo von St. Viktor, *Eruditiio didascalica*, 814.

²⁴Quaelibet creatura non est nisi quaedam littera digito Dei scripta. Zit. bei Blumenberg 1996, 59.

²⁵Ebd.

²⁶Vgl. Nicolaus Cusanus, *Dialogus de genesi*, n. 171.

²⁷Vgl. Bonaventura, *Breviloquium* II, 11.

²⁸Bonaventura, *Collationes in Hexaemeron*, 13, 12. Bonaventura ist im übrigen der Überzeugung, daß die Trinität in diesem Buch in Erscheinung tritt. Vgl. Bonaventura, *Breviloquium*, II, 12: creatura mundi est quasi quidam liber in quo relucet — Trinitas fabricatrix.