

**OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN
Band 11**



Galileo Galilei
15.2.1564—8.1.1642

**OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN
Band 11**

Reprint der Bände 11, 24 und 25

**Unterredungen und
mathematische Demonstrationen
über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik
und die Fallgesetze betreffend
Erster bis sechster Tag
1638**

**von
Galileo Galilei**

**aus dem Italienischen und Lateinischen
übersetzt und herausgegeben von**

A. van Oettingen

Vorwort von

J. Hamel



Europa-Nr. 57228

6., bearbeitete Auflage 2007

Druck 5 4 3 2

ISBN 978-3-8085-5722-8

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt.

**Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom
Verlag schriftlich genehmigt werden.**

**Der Inhalt des Werkes wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen
Autoren und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Rat-
schlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.**

**© 2014 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG,
42781 Haan-Gruiten
<http://www.europa-lehrmittel.de>**

**Umschlaggestaltung: dreimaster medienwerkstatt, 60388 Frankfurt/Main
Druck: winterwork, 04451 Borsdorf**

Themenverzeichnis

	Seite
Einführung von Jürgen Hamel	VII
Zum dreihundertsten Geburtstag des ersten Lehrbuchs der Physik	XXXIX
Vorwort des Verlegers zu Galileis Discorsi 1638	LV

Erster Tag.

Aehnlich gebaute Maschinen sind ungleich in Hinsicht auf ihre Festigkeit	4
Festigkeit und Tragfähigkeit eines Stabes in der Mauer	5
Thiere und Pflanzen in übermässiger Grösse	6
Merkwürdiger Bruch einer Marmorsäule	6
Ursachen der Cohäsion	7
Zugfestigkeitsgrenze	8
Zugfestigkeit von Seilen	9
Apparat um sich herabgleiten zu lassen	10
Plattenadhäsion und Horror vacui	12
Das Vacuum nicht geeignet, die Cohäsion zu erklären	13
Messung der Kraft des Vacuums	14
Wassersteighöhe in Brunnen	16
Tragfähigkeit eines Kupferdrahtes	17
Versuch, die Cohäsion durch unendlich kleine Hohlräume zu erklären	18
Contraction feuchter Seile	19
Wälzung von Polygonen und Rollen von Kreisen	20
Napf und Kegel	26
Das Endliche und das Unendliche	29
Unmöglichkeit einer Comparation im Gebiete des Unendlichen	30
Beispiel: Quadratzahlen	31
Unmöglichkeit der Theilung in unendlich viele Theile durch successive Theilung	35
Mystische Philosophie des Einheitsbegriffes	35
Hyperbolisches Kreis- und Punktsystem	36
Vergleich des flüssigen mit dem Begriff der Einheit	37
Vergleich zwischen Flüssigkeit und Pulver	38
Brennspiegel	38
Lichtgeschwindigkeit	39
Experimentelle terrestrische Methode	40
»Actuelle« Theilung einer Linie in unendlich viele Theile	43

	Seite
Princip der Verdünnung	44
Feinheit von Golddraht	47
Oberflächen von Cylindern gleichen Rauminhaltes	51
Inhalt von Cylindern gleicher Mantelfläche	52
Der Kreisinhalt übertrifft den isoperimetrischer Polygone	53
Kreisinhalt, umschriebenes und isoperimetrisches Polygon	53
Isoperimetrische Sätze	54
Verdichtung und Verdünnung	55
Aristoteles' Lehre vom freien Fall bekämpft	57
Fall im widerstehenden Mittel	60
Schweben der Körper im Wasser	62
Schweben und Schwimmen der Thiere	63
Cohäsion des Wassers; Wassertropfenbildung	64
Diffusion von Wein und Wasser	64
Fall im Vacuum und im widerstehenden Mittel	65
Absolutes und specifisches Gewicht der Luft bestimmt	70
Pendelschwingung und Isochronismus	75
Töne durch Reibung	78
Widerstand von der Oberfläche abhängig	79
Im widerstehenden Mittel erlangte gleichförmige Bewegung	82
Brachistochrone	84
Gesetz der Pendelschwingung	85
Princip des Mitschwingens	86
Akustische Intervalle	87
Consonanz und Discordanz	90

Zweiter Tag.

Das Hebelgesetz	94
Der Hebebaum	96
Zug- und Bruchfestigkeit unterschieden	98
Flache und steile Prismen	99
Cylinder und Prismen wirken proportional dem Quadrat der Länge	100
Bruchfestigkeit steht im cubischen Verhältniss zur Dicke	100
Bruchfestigkeit gleich langer Cylinder steht im anderthalbfachen Verhältniss zu den Massen	101
Gleiche Zugfestigkeit kurzer und langer Stäbe und Stricke	102
Festigkeit bei ungleicher Dicke, bei Belastung am Prismenende	102
Bruchfestigkeit ähnlicher Körper	103
Gleiche Bruchfestigkeit bei verschiedener Dicke und Länge	106
Bruchfestigkeit grosser und kleiner Gebilde	108
Knochen von Riesen	109

	Seite
Mögliche Grösse von Wasserthieren	109
Bruch durch eigenes Gewicht	111
Festigkeit von Stäben über 1 und 2 Stützen	112
Zerbrechen von Stäben überm Stützpunkt	112
Variation des Unterstützungspunktes	113
Macht der Geometrie und der Logik	113
Bestimmung der nöthigen Kraft um Stäbe zu zerbrechen	114
Balkenbelastung	115
Bruchfestigkeit prismatisch verjüngter Streben	116
Parabolische Streben	118
Quadratur der Parabel	119
Methoden, die Parabel zu zeichnen	122
Bruchfestigkeit von Hohlcylindern	123
Vergleich der Bruchfestigkeit hohler und massiver Cylinder	125
Nachwort	127
Galilei's Widmungsschreiben an den Grafen di Noailles	129
Anmerkungen	131

Dritter Tag.

Ueber die örtliche Bewegung.

Gleichförmige Bewegung	141
Theoreme über dieselbe	142
Natürlich beschleunigte Bewegung	146
Definition	147
Ursache der Beschleunigung	151
Wesen des Gleichgewichtes	152
Gangbare Irrthümer	153
Geschwindigkeit längs verschiedenen Ebenen gleicher Höhe	155
Gehemmtes Pendel und dessen Aufstieg	156
Theor. I. Vergleichen der zu gleichen Strecken bei gleichförmiger und bei beschleunigter Bewegung nöthigen Zeiten	158
Theor. II. Strecken verhalten sich wie die Quadrate der Zeiten	159
Zus. I. Strecken verhalten sich wie die ungeraden Zahlen	160
Experimente hierzu	162
Zus. II. Bei beschleunigter Bewegung verhalten sich die Zeiten, in denen zwei Strecken zurückgelegt werden, wie die eine Strecke zur mittleren Proportionale aus beiden Strecken	163
Dasselbe für geneigte Ebenen	164
Bei gleichen Höhen sind die erlangten Geschwindigkeiten einander gleich	167

Theor. III. Fallzeiten verhalten sich bei geneigten Ebenen gleicher Höhe wie die Strecken	168
Theor. IV. Fallzeiten längs gleich langen, ungleich geneigten Ebenen verhalten sich umgekehrt wie die Wurzeln aus den Höhen	170
Fallzeiten bei verschiedenen Complicationen	170
Theor. VI. Fallzeiten längs Sehnen eines Kreises	171
Aesthetische Betrachtung	174
Theor. VII. Fallzeiten auf Ebenen verschiedener Neigung	176
Theor. VIII. Fallzeiten längs den beliebigen Sehnen eines Kreises	176
Theor. IX–XII. Fallzeiten längs geneigten Ebenen unter verschiedenen Bedingungen	177
Probl. I–III. Constructionen von geneigten Ebenen unter verschiedenen Bedingungen	182
Theor. XIII. Fallzeiten längs geneigten Ebenen nach Durcheilung senkrechter Strecken	185
Probl. IV–VII. Constructionen solcher Strecken unter verschiedenen Bedingungen	186
Theor. XIV. Fallzeiten in geneigten Strecken nach Durcheilung senkrechter Strecken in Grenzen eingeschlossen	189
Probl. VIII und IX. Darauf bezügliche Aufgaben	190
Theor. XV. Aufstieg längs geneigten Ebenen	196
Theor. XVI. Bewegung in der Horizontalen nach dem senkrechten Fall ..	197
Probl. X. Construction der Aufstiegstrecken bei gegebener Fallzeit	197
Theor. XVII. Complicirtere Sätze über Fallzeiten	198
Theor. XVIII. Fall längs 2 Sehnen	199
Probl. XI. Horizontaler Lauf nach Durcheilung verschiedener Strecken. Minimumtheorem	200
Theor. XIX und XX. Kürzeste Fallzeitstrecken	201
Theor. XXI. Kürzeste Fallzeiten von einem Punkte nach irgend einem Punkte einer geneigten Ebene	203
Probl. XII–XIV. Complicirtere Aufgaben über die einer Bewegung längs geneigten Ebenen voangehende Bewegung	204
Theor. XXII. Minimsätze für die Bewegung längs aufeinander folgenden Kreissehnen	212
Zusatz. Bewegung längs der Kreisperipherie	213
Probl. XV. In gleichen Zeiten zurückgelegte Strecken in geneigten Ebenen mitten im Laufe zu bestimmen	214
Probl. XVI. Strecken in Horizontalen zu bestimmen, die nach dem senkrechten Fall zurückgelegt werden	215

Vierter Tag.

Ueber die Wurfbewegung. 217

Einleitende Sätze über die Parabel 219

Discussionen über die zusammengesetzte Bewegung 222

Theor. II. Zusammengesetzte gleichförmige Bewegung 228

Theor. III. Zusammensetzung gleichförmiger und ungleichförmiger Bewegung 229

Definition der »Sublimität« 231

Probl. I. Geschwindigkeit in den Parabelpunkten zu bestimmen 232

Discussionen über zusammengesetzte Bewegungen 234

Probl. II. Sublimitäten zu bestimmen 240

Probl. III. Aus Sublimität und Höhe die Amplitude zu construiren 241

Theor. IV. Minimumsätze 242

Theor. V. Wurfweiten bei verschiedenem Anstieg 244

Theor. VI. Amplituden sind gleich, wenn Höhen und Sublimitäten einander umgekehrt proportional sind 245

Theor. VII. Impuls aus Sublimität und Höhe berechnet 246

Probl. II. Construction der Höhen 247

Probl. III und IV. Berechnung von Tabellen über Amplitude, Höhe und Sublimität 248

Tabellen. I. Parabelhöhen bei gleichem Impulse und verschiedenem Anstieg 252

2. Amplituden bei gleichem Impulse und verschiedenem Anstieg 253

3. Höhen und Amplituden bei verschiedenem Anstieg 253

Probl. V. Dazu gehörige Aufgaben 254

Betrachtungen über den Wurf 255

Anmerkungen zum dritten Tage 260

Anmerkungen zum vierten Tage 273

Anhang zum dritten und vierten Tage.

Hülfsätze 279

Schwerpunkt um gleichviel verschiedener, an einem Hebel angebrachter Gewichte 280

Schwerpunkte der einem Conoïd ein- und umschriebenen Figur aus Cylindern gleicher Höhe 280

Schwerpunkt eines Conoïdes 284

Hülfsatz 287

Schwerpunkt eines abgestumpften Conoïdes 288

Schwerpunkte von Massen an Hebelpunkten 289

Schwerpunkt von Figuren, die einem Kegel um- und eingeschrieben sind	291
Schwerpunkt eines Kegels und einer Pyramide	294
Hilfssätze	295
Schwerpunkt abgestumpfter Kegel und Pyramiden	296

Fünfter Tag.

<i>Euclid's</i> Definition der Proportionalität	299
<i>Salvati's</i> Definition derselben und Discussion	301
Begriff der zusammengesetzten Proportion	308

Sechster Tag.

Ueber den Stoss.

Experiment über den Stoss bei Abfluss aus einem Gefässe in ein zweites, wenn beide an dem Arm einer Waage angebracht werden	314
Unerwarteter Erfolg	315
Discussion, ob Stosswirkungen durch todte Gewichte erzielt werden können	316
Unbegrenztheit des Widerstandes, der durch Stoss überwunden werden kann	319
Versuch, die Stosswirkung zu erklären	320
Stosswirkung gegen ausweichende Körper	322
Stosswirkung eines herabfallenden Körpers	326
Rückwirkung auf den stossenden Körper	331
Die Stosswirkung bedarf einer gewissen Zeit	333
Bewegung der porta S. Giovanni in Florenz	334
Princip des Mitschwingens durch wiederholte Stösse	334
Allmählicher Anwachs der Bewegung grosser Schiffe	334
Beschleunigung ertheilt durch Spannung einer Armbrust	334
Anmerkungen zum Anhang	335
Anmerkungen zum sechsten Tage	338

Einführung

von Jürgen Hamel

Als Galilei 1564 in Pisa geboren wurde, war etwa 20 Jahre zuvor der Grundstein für eine tiefgreifende Umwälzung des ganzen Weltbildes gelegt worden. Noch fast unbemerkt in seinen Konsequenzen hatte Nicolaus Copernicus, „am Rande der zivilisierten Welt“, ein Weltsystem entworfen, das schwere Verstöße sowohl gegen die aristotelische Physik als auch die anerkannte Lesart der Heiligen Schrift und, mindestens ebenso schlimm, gegen jeglichen Augenschein der Naturbeobachtung beinhaltete – hingegen kein durchgreifendes Argument zu seinen Gunsten verbuchen konnte.

Seit fast 2000 Jahren war die Physik des Aristoteles, ein großartiges, in sich geschlossenes, empirisch unzählige Male bestätigtes Lehrgebäude, als Grundlage für alle Bereiche der Naturforschung anerkannt gewesen. Bedeutenden christlichen Denkern war es nach manchen Widersprüchen gelungen, dieses mit der offiziellen Theologie in Einklang zu bringen. Die aristotelische Physik bot einen bewährten Rahmen der Naturerklärung.

Eine wichtige Alltagsbeobachtung war beispielsweise das Fallen eines Steins (oder eines anderen schweren Körpers) senkrecht zum Erdmittelpunkt – vorausgesetzt, man verleiht ihm keine anders gerichtete Anfangsbewegung (in aristotelischer Terminologie: eine erzwungene Bewegung).

Bedeutend war es zu sehen, daß auch Wasser dieser Art der Bewegung folgt, während Luft, also Gase und Feuer offenbar in die entgegengesetzte Richtung strebt, wenn sie keinem äußeren Zwang unterliegen.

Wichtig waren weiterhin ganz andere Erfahrungen: Die Himmelskörper – Sonne, Mond, Planeten und Sterne – verhielten sich vollkommen anders als Körper auf der Erde. Nach scheinbar ehernen Gesetzen ziehen sie ihre Bahnen um die Erde in lautloser, ewiger Bewegung. Sie erschienen unveränderlich, an sich selbst und in ihrer gegenseitigen Stellung, denn nie war an den Sternen eine Veränderung wahrgenommen worden. Und wenn auch Sonne, Mond und Planeten stetig wechselnde Örter am Himmel einnehmen – der Mond als einziger Himmelskörper gar seine Gestalt verwandelt – so geschah dies wieder nach strenger Regelmäßigkeit.

Nur einen Grund konnte all dies haben: Die Erde ist etwas Besonderes in der Welt, und alle Beobachtungen belegten: Die Erde befindet sich im Mittelpunkt der Welt, ihr Zentrum ist gleich dem Weltzentrum und alle Gestirne, der ganze Himmel bewegt sich auf Kreisbahnen um sie herum. Deren Bewegungen verlaufen auf Kreisen, einer ganz besonderen geometrischen Figur, da alle Punkte seiner Peripherie den gleichen Abstand vom Mittelpunkt haben und die Bewegung auf ihm ewig zum Ausgangspunkt zurückkehrt. Die Gestalt der Himmelskörper musste kugelförmig sein, in räumlicher Entsprechung zum Kreis in der Fläche; ihre Bewegung musste unveränderlich sein, wie sie selbst, ewig sich gleichbleibend, geräuschlos, ohne stetigen äußeren Antrieb. Solche Eigenschaften konnte nur göttlichen Wesen zukommen und so wurde im alten Griechenland zur festen Überzeugung, was schon die Menschen steinzeitlicher Kulturen vor Tausenden Jahren glaubten, was sich im alten Babylon genauso wie in Ägypten bildete: Der Himmel ist in tiefem Sinne überirdisch,

er bestimmt das Leben auf der Erde – sei es als magische Gestirngötter, als Planetengötter vom Merkur und Mond bis zum Saturn oder den Gestaden über den Himmeln als Ort Gottes und aller erleuchteten Seelen im christianisierten aristotelischen Weltbild des Spätmittelalters.¹

Schon Aristoteles hatte gesehen, daß die Bewegung von außen, von oben in die Welt eintritt, von einem ersten Bewegten, dem „primum mobile“, ausgehend. Von dort wird die Bewegung durch die Fixsternsphäre und die Planetensphären weitergetragen bis in die Sphäre unter dem Mond, dem sublunaren Weltbereich der vier Elemente, wo die ursprünglich reine Bewegung nun ihre Regelmäßigkeit eingebüßt hat und sich auch nicht mehr auf Kreisen vollzieht. Es gibt in diesem Weltbild ein Oben und ein Unten – und das Oben war gut, weil gottesnah, das Unten befleckt, vergänglich, unrein, gottesfern, nach Aristoteles eine „finstertrübe Stätte“². Die Erde wurde mit dem wertenden Oben und Unten der Ort maximaler Gottesferne. Doch ebenso der Ort, der von allen Weltspähren eingeschachtelt, behütet wurde, von wo aus der Mensch die Welt betrachten konnte, die Gott einst um seinetwillen schuf und ihm zum Nutzen überantwortet hatte; ein widerspruchsvoller Ort der Welt.

Was tat nun der Domherr Copernicus im fernen Ermland in seinem 1543 in Nürnberg gedruckten Werk *De revolutionibus orbium coelestium*?³ Er nahm die Erde aus der Weltmitte, setzte die Sonne dorthin und ließ die Erde um sich selbst und wie alle anderen Planeten um die Sonne kreisen. Was war nun

1 Hamel, Jürgen: Geschichte der Astronomie von den Anfängen bis zur Gegenwart. Basel [u.a.] 1998; Stuttgart 2002, bes. S. 19–32

2 Aristoteles: Meteorologie. Über die Welt. Berlin 1979 (Aristoteles. Werke in deutscher Übersetzung; 12), S. 256

3 vgl. Hamel, Jürgen: Nicolaus Copernicus. Leben, Werk und Wirkung. Heidelberg [u.a.] 1994

mit dem Weltmittelpunkt als dem natürlichen Ort aller schweren Körper; es sollte doch, wie jedermann täglich sehen konnte, die Erde, aus den schweren Elementen bestehend, ruhen, nicht die Sonne; was war mit der Erde als dem alleinigen Zentrum aller Kreisbewegungen, was wiederum täglich am Auf- und Untergang aller Gestirne sichtbar wurde? Was war – mit schon schärferem Tonfall – mit dem nach dem Sündenfall Adams befleckten Menschen, für die Gott die Wunder der Schöpfung hat geschehen lassen; was mit der Erde, wo Gott seinen eingeborenen Sohn den erlösungsverheißenden Opfertod für die Sünden der Menschen hat sterben und auferstehen lassen? Dies alles sollte nicht seiner Bedeutung gemäß in der Weltmitte, sondern auf einem Planeten unter anderen geschehen sein, der, durch nichts ausgezeichnet, zwischen Venus und Mars um die Sonne kreist?

Diesen schweren Verstößen stand entgegen, daß, während Claudius Ptolemäus für sein geozentrisches Weltsystem als physikalische Grundlage auf die aristotelische Physik zurückgreifen konnte, Copernicus keine physikalische Begründung für sein System geben konnte und sich nur auf im Grunde abgewandelte aristotelische Prinzipien berief, die eher halbherzig erschienen.

Zur Zeit der Geburt Galileis bis zu seinem Studium in Pisa waren diese Konsequenzen nur in geringem Maße erkannt. Martin Luther stieß sehr früh auf die Widersprüche mit der Bibel und fand sie vor allem gegeben mit einer in dieser Beziehung geradezu fundamentalen Textstelle bei Josua, in der von der durch ein göttliches Wunder bewirkten Ruhe der Sonne die Rede ist, was nur einen Sinn ergibt, wenn sich diese zuvor bewegte (darüber ausführlich weiter unten). Es war genau dieser Bibeltext, der später Galilei jahrzehntelang verfolgte, mit dem er sich auseinander zu setzen hatte, und zu dem Luther am 4. Juni 1539 anmerkte: „Es wurde ein neuer

Astrologe erwähnt, der verbreiten wolle, die Erde bewege sich und nicht der Himmel, die Sonne und der Mond. Als ob jemand, der sich im Wagen oder Schiff bewege, glauben würde, er bliebe stehen und das Land und die Bäume würden sich bewegen. Aber es gehet itzunder also: Wer do wil klug sein, der sol ihme nichts lassen gefallen, das andere achten; er muss ihme etwas eigen machen, wie jener es macht, der die ganze Astronomie umkehren will. Auch wenn jene in Unordnung ist, glaube ich dennoch der Heiligen Schrift. Denn Josua hieß die Sonne stillstehen, nicht die Erde.“⁴

Und noch etwas: Wenig später, 1540, hatte Achilles Gasser, der einen Geleittext zu einem Vorabdruck der Grundsätze des copernicanischen Weltsystems von Georg Joachim Rheticus⁵ verfasste, geschrieben: „Freilich, das Buch stimmt nicht mit der bisherigen Lehrmeinung überein und man möchte meinen, daß es nicht nur mit einem einzigen Satz den gebräuchlichen Schulmeinungen entgegengesetzt und, wie die Mönche sagen, ketzerisch ist.“⁶ Diese theologischen Bedenken erlangten jedoch zunächst keine große praktische Bedeutung. So waren es dann vor allem Wittenberger Gelehrte um Philipp Melanchthon, die, wie im Falle des Rheticus, Pate bei der Geburt des großen Werkes standen bzw., im Falle des Erasmus Reinhold, mit der Berechnung von Planetentafeln nach dem Werk, diesem den Weg in die gelehrte Welt ebneten. Hierin liegt nur äußerlich ein Widerspruch. Zwar lehnte Melanchthon als konsequenter Aristoteliker das

4 Luther, Martin: Werke, Kritische Gesamtausgabe. Tischreden, 4. Bd. Weimar 1916, Nr. 4638

5 Rheticus, Georg Joachim: Erster Bericht über die 6 Bücher des Kopernikus von den Kreisbewegungen der Himmelsbahnen. Übers. u. eingel. von Karl Zeller. München; Berlin 1943

6 Burmeister, Karl Heinz: Georg Joachim Rheticus. Eine Bio-Bibliographie, Wiesbaden 1968, Bd. 3, S. 17

heliocentrische System des Copernicus strikt ab – doch sah er in diesem Werk eine großartige mathematische Leistung und hoffte, die Berechnung der Planetenörter (die man für die Berechnung von Horoskopen benötigte!) auf eine bessere Grundlage stellen zu können, als nach den bisherigen, sich als fehlerhaft erweisenden Tafeln. Nach seiner Wissenschaftsauffassung war die Astronomie eine rein mathematische Disziplin, die sich nur um die Berechnung der Gestirnsbewegung zu kümmern habe und zu diesem Zweck beliebige Hypothesen ersinnen könne – mithin auch die einer Zentralstellung der Sonne. Doch den wahren Weltbau ergründe die Physik, und die war für ihn aristotelisch.

Wegen der Erwartungen auf bessere Berechnung der Planetenörter erlangten Copernicus und sein Werk rasch eine herausragende Berühmtheit. Nach seinen mathematischen Darstellungen und seinen Planetendaten wurden Kalender und astrologische Vorhersagen berechnet, sein System wurde – als mathematische Darstellungsmöglichkeit der Planetenbewegung, nicht als Widerspiegelung des realen Weltbaus! – an vielen Universitäten gelehrt. Wann Galilei erstmals davon hörte, wissen wir nicht – möglich, daß dies während seiner Studienzeit in Pisa geschah. Möglich weiterhin, daß er damals von weiteren Neuigkeiten erfuhr, die das System des Aristoteles in Bedrängnis brachten:

Im Jahre 1572 erschien plötzlich ein Stern am Himmel, der zuvor noch nie gesehen worden war, und fünf Jahre später stand ein Komet am Himmel, zog seine Bahn und verschwand wieder. Beides war an sich nicht so außergewöhnlich. Eigentlich hätten beide die Frage provozieren müssen, ob angesichts dessen Aristoteles Recht hatte mit seiner Feststellung, daß es im Himmel keine Veränderung geben könne. Doch die Frage wurde nicht gestellt, denn Kometen – und neue Sterne, wie der von 1572 in der Cassiopeia (ein ähnliches Objekt erschien

1604) – wurden gar nicht als kosmische Körper aufgefasst, sondern als Erscheinungen in der Erdatmosphäre. Nicht, daß damit nur vordergründig die aristotelische Physik gerettet werden sollte, nein, für die Feststellung des wirklichen Ortes dieser Gestirne reichte die Genauigkeit der verfügbaren astronomischen Beobachtungsinstrumente einfach nicht aus. Erstmals zog Tycho Brahe 1572 den noch vorsichtigen Schluss, der Neue Stern jenes Jahres müsse in den Sphären der Planeten stehen. Für den Kometen von 1577 hatte er schon Mitstreiter, wie den gelehrten Landgrafen Wilhelm IV. von Hessen, und als 1596 und 1604 erneut ein Komet bzw. ein Neuer Stern erschien, war empirisch entschieden, daß die Kometen keine Erscheinungen der Erdatmosphäre sind, sondern der aristotelischen Region der Unveränderlichkeit angehören. Diese Erkenntnis vertraten nicht nur einige wenige der bedeutendsten Gelehrten, sondern sie fand viele Vertreter und drang sogar in die populäre, deutschsprachige Kalender- und Prognostiken-Literatur ein. Zwei Beispiele: Helisäus Röslin schrieb 1597, daß durch die neueren Kometenforschungen „argwöhnlich gemacht ja umgestossen wird, die gantze Aristotelische Lehr von den Cometen, die bißher bey den Gelehrten im Werdt gewesen und gegolten hat“⁷. Und David Fabricius verspottete gar 1605 die Vertreter der aristotelischen Physik, denn daß Kometen und Neue Sterne nicht aus von der Erde in die Atmosphäre aufsteigenden Dämpfen und Dünsten bestehen, sondern in den Planetenregionen sind, sei durch Beobachtungen „genugsam erinnert, und beweiset, und deswegen sehr zu verwundern, daß jhre [der Astronomen] vielen die Aristotelische auffriechede dämpffe, und anklebende fei-

7 Röslin, Helisäus: *Tractatus Meteorastrologiphysicus*. Das ist, Auß richtigem lauff der Cometen ... Natürliche Vermütungen und eine Weissagung. o.O. 1597, Bl. 7

ste dünste, die augen der vernunft also vertunckelt, das gehirn turbiret, und von der rechten strassen sie abgeführt und verleitet haben.“⁸

Um 1600 war die aristotelische Physik bei weitem nicht mehr so unangefochten wie noch ein Vierteljahrhundert zuvor. Durch das copernicanische Weltsystem war sie theoretisch angegriffen hinsichtlich des Zentrums von Kreisbewegungen, damit der gesamten Lehre von den Bewegungen und den Elementen. Durch praktische Himmelsbeobachtungen in einem weiteren wichtigen Punkt, der Unveränderlichkeit der Gestirnssphären.

Auch ohne definitiven Beweis ist es selbstverständlich, daß Galilei in Pisa die Astronomie in traditioneller, geozentrischer Art kennen gelernt hatte. Auch wenn er spätere Fachstudien zum Ziel hatte, lernte er an der Universität zunächst die Sieben Freien Künste kennen, darunter die Astronomie. Mit großer Wahrscheinlichkeit hatte er als Lehrbuch die *Sphaera* des Johannes de Sacrobosco, die damals an wohl allen Universitäten zur Einführung in die Himmelskunde diente; zwar schon 250 Jahre alt, aber in geschickter didaktischer Gestaltung auf die Grundlagen der Astronomie ausgerichtet, die sich seitdem nicht verändert hatten.⁹

Galilei schloss sein Studium nicht ab, verließ zunächst den strengen universitären Bildungskanon, trieb private Studien und scheint sich praktischen Dingen zugewandt zu haben. Als deren Ergebnis entstanden unterschiedliche kleinere Arbeiten: die Konstruktion einer hydrostatischen Waage (La Bilancetta, in italienischer Sprache 1586, Erstveröffentli-

8 Fabricius, David: Kurtzer und Gründtlicher Bericht, Von Erscheinung und Deutung deß grossen neuen Wunder Sterns. Hamburg 1605

9 Hamel, Jürgen: Johannes de Sacroboscus Handbuch der Astronomie (um 1230) – kommentierte Bibliographie eines Erfolgswerkes. In: Acta Historica Astronomiae, Vol. 21., S. 115–170, Frankfurt a. M. 2004

chung 1644), zwei Vorlesungen über Gestalt, Lage und Größe von Dantes Hölle (1588, ebenfalls in italienischer Sprache)¹⁰, eine im wesentlichen aristotelisch geprägte Schrift über die Bewegung (*De motu*, blieb Fragment), Traktate zur Fortifikationslehre und zur Mechanik (1593)¹¹, die Konstruktion des Proportionalzirkels und ein *Traktat über die Himmelskugel oder Kosmographie*. All dies steht noch auf dem Boden der geozentrischen Lehre bzw. der Physik des Aristoteles. Allerdings hatte sich Galilei zu dieser Zeit auch schon mit Copernicus beschäftigt, wie aus einem Brief an Johannes Kepler vom 4. August 1597 hervorgeht. Kepler hatte ihm kurz zuvor sein Buch *Mysterium cosmographicum* geschickt,¹² und Galilei antwortete, er habe bisher nur die Einleitung lesen können, werde jedoch das Studium der ganzen Schrift nachholen: „Dies werde ich um so lieber tun, als ich schon vor vielen Jahren zur Auffassung des Kopernikus gelangte und von diesem Standpunkt aus die Ursachen vieler Wirkungen in der Natur entdeckt habe, die ohne Zweifel nach der allgemein üblichen Hypothese unerklärlich sind. Viele Begründungen und auch Widerlegungen gegenteiliger Gründe verfasste ich, was ich jedoch bisher nicht zu veröffentlichen wagte“, er würde dies erst tun, „wenn es mehrere [Gelehrte] von Eurer Art gäbe. Da dem aber nicht so ist, werde ich ein derartiges Unterfangen

10 beide in: Galileo Galilei. Schriften. Briefe. Dokumente, 2 Bde. Hrsg. von Anna Mudry. Berlin 1987, Bd. 1, S. 45–49 bzw. 50–67

11 daraus die Einführung in *Galilei*, Bd. 1 (wie Anm. 10), S. 68–71

12 Es ist unklar, wie Kepler auf Galilei kam, eine nähere Bekanntschaft ist auszuschließen, denn im Sept. 1597 berichtet Kepler seinem Lehrer Mästlin von Galileis Antwort und schreibt, er schickte zwei Exemplare „nach Italien, die ein Mathematiker in Padua namens Galileo Galilei voller Dankbarkeit und mit Freunden aufgenommen hat“ (*Galilei*, Bd. 2, wie Anm. 10, S. 9–10; Original in: Johannes Kepler. Gesammelte Werke, Bd. 13. Hrsg. von Max Caspar. München 1945, S. 130; Keplers Antwortbrief ebd., S. 144).

unterlassen.“ Die Konsequenz, die Galilei hier offenbart, ist jedoch eine völlige Übertreibung! Weder in seinen Werken noch sonst gibt es Hinweise darauf, daß sich Galilei zu dieser Zeit so tief mit diesen Problemen befasst hatte, und selbst später noch, im *Sidereus Nuncius* und dem *Dialog* zeigt sich die Schwierigkeit Galileis, definitive Beweise für Copernicus zu finden, die es zu seiner Zeit auch gar nicht gab. Zudem stand Galilei der weitverzweigten philosophischen Denkweise Keplers,¹³ die dieser für seine Stellungnahme für Copernicus fruchtbar machte, völlig fern. Den begeisterten Antwortbrief Keplers vom 13. Oktober 1597 hat Galilei nie erwidert, vermutlich, weil er mit Kepler in gar keine Diskussion über das copernicanische System eintreten konnte und im Gegensatz zu seinen Behauptungen im ersten Brief gar nichts zur Veröffentlichung hatte.

Galileis Interesse galt vorrangig der Mechanik, zu der er umfangreiche Studien trieb. Viele der ihn damals beschäftigenden Fragen waren eng mit den Belangen der Praxis des zivilen und militärischen Ingenieurwesens (Festungsbau, Artillerie) verbunden und es dürfte sicher sein, daß Galilei engen Kontakt zu gebildeten Handwerksmeistern und Ingenieuren pflegte. Von ihnen kannte er zahlreiche Probleme und studierte ihre Fachsprache, was ihn dann dazu befähigte, wichtige Arbeiten in italienischer Sprache zu verfassen und sich damit direkt an die Praktiker zu wenden.

Um 1608/09 reiften Galileis Studien zur Ableitung der Fallgesetze, er arbeitete über die Bewegungslehre, die Statik fester Körper und Gesetzmäßigkeiten schwimmender Körper.

13 Dies ist allerdings nur die eine Seite des Forschens bei Kepler, da er andererseits konsequent auf dem Boden der empirischen Forschung stand, z.B. der präzisen Planetenörter Tycho Brahes, und er später die ersten Fernrohrbeobachtungen am Himmel begeistert begrüßte.