

Galileo Galilei

**Und sie bewegt sich doch!
Auf den Spuren Galileo Galileis**

PROGRAMM
zur
Studienfahrt
der Fachoberschulklassen
12 A1 – 12A2 – 12 B1
in die
Toskana
vom
14. bis 21. März 2011

TOSKANA 2011

Heinrich-Emanuel-Merck-Schule Darmstadt - www.hems.de

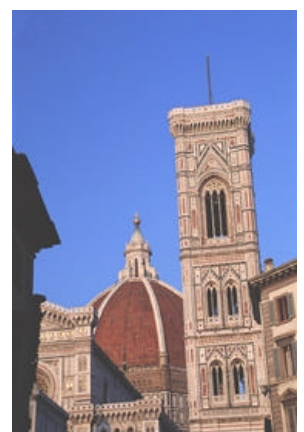
© by Jochen Sicars



PISA



GALILEO GALILEI



FLORENZ

1. Hinweise zum didaktischen Konzept der Studienfahrt

Die Studienfahrt »Auf den Spuren Galileo Galileis« ist seit 1995 fester Bestandteil des Studienfahrtenprogramms der Fachoberschule. Ihre Konzeption versteht sich bezüglich ihrer unterrichtlichen Einbindung als **fächerübergreifendes** Projekt. Die Vor- und Nachbereitung der Fahrt erfolgt in den Fächern Physik, Deutsch und Politik/Wirtschaft (PoWi). Die regelmäßige (der bislang nur sporadisch realisierten) Einbeziehung der in der Fachoberschule überkonfessionell ausgerichteten Religionslehre ist geplant.

Im **Physikunterricht** konzentriert sich die Vorbereitung auf folgende Aspekte:

- Die Bedeutung des Wirkens von Galilei für die Entwicklung der modernen Physik.
- Das Verhältnis von Wahrnehmung und Denken im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess.
- Die Funktion des Experiments in der Physik und im naturwissenschaftlichen Unterricht.

Im Physikunterricht trägt die Studienfahrt darüberhinaus zur Umsetzung eines didaktischen Konzepts bei, das durch die Einbeziehung historisch-genetischer Elemente bei der Erarbeitung physikalischer Grundbegriffe auf eine Optimierung des Verstehens naturwissenschaftlicher Theorien zielt.¹

Im **Deutschunterricht** wird zur Vorbereitung der Fahrt das Theaterstück »Das Leben des Galilei« von Bertolt Brecht gelesen und interpretiert. Falls eine der Theaterbühnen in der Umgebung (Darmstadt, Frankfurt, Wiesbaden, Mainz) während des jeweiligen Schuljahres zur Aufführung bringt, wird ein gemeinsamer Besuch der beteiligten Klassen organisiert. Bisher war dies leider nur dreimal möglich: Zweimal im Schauspielhaus in Frankfurt und eine (hervorragende) Schultheateraufführung an der Landrat-Gruber-Schule in Dieburg.

Im **Politik/Wirtschaft-Unterricht** geht es um eine ideologiekritische Problematisierung der historischen und politischen Dimension des Prozesses gegen Galilei. Dabei stehen Fragen wie die nach der ideologischen Funktion des geozentrischen Weltbildes, der historische Kontext des Wirkens von Galilei im Zusammenhang des Übergangs von der mittelalterlichen zur bürgerlich-kapitalistischen Gesellschaft (Renaissance, Religionskriege, Absolutismus etc.) und die Rolle der Naturwissenschaft in der sich entfaltenden industriellen Produktionsweise im Vordergrund. Schließlich werden über entsprechende Aktualisierungen Fragen wie etwa die nach der Verantwortung der Wissenschaft bei deren destruktiver Instrumentalisierung zur gesellschaftlich-politischen Machtausübung (Nationalsozialismus) oder für die Interessendurchsetzung in internationalen Konflikten (Hiroshima) thematisiert.

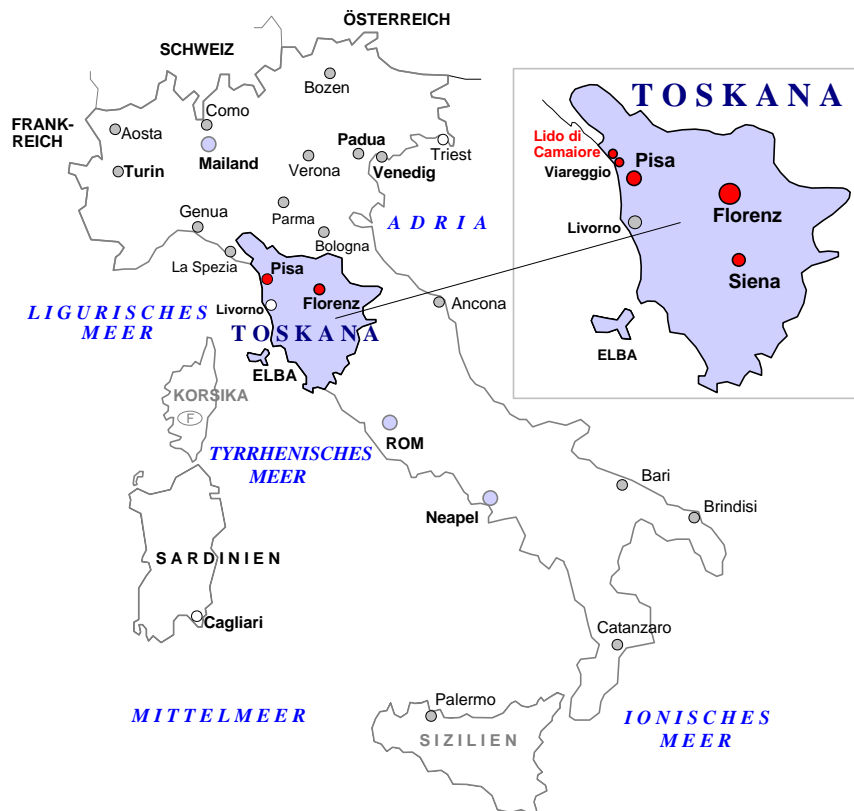
Zudem leistet diese Studienfahrt einen Beitrag zum **Europaschul-Programm** der Heinrich-Emanuel-Merck-Schule. Der **interkulturelle Bezug zu Europa** besteht insbesondere darin, dass das vorgesehene Besichtigungsprogramm »Auf den Spuren Galileo Galileis« in den Kontext der Renaissance und damit einer bedeutsamen Epoche der europäischen Kulturgeschichte eingebunden ist. Die mittelalterlichen Stadtzentren von Florenz, Pisa, Siena und San Gimignano liefern die historische Kulisse unseres Streifzuges durch die von Galilei ganz wesentlich geprägten und als Geburtsstunde der modernen Naturwissenschaft geltenden Epoche der Wissenschaftsgeschichte. Italien war das europäische Zentrum der Renaissance und spiegelt wie kein anderes Land in Europa in seiner historischen Städtearchitektur die vielfältigen, ja widersprüchlichen Entwicklungslinien dieser Zeit des Übergangs von der mittelalterlichen Feudalgesellschaft in die moderne, bürgerlich-kapitalistische Gesellschaft wider. Dies gilt insbesondere auch für die Toskana und das übrigens nicht nur für den Städtebau. Selbst oder gerade in der Biographie von Galilei lassen sich die tiefgreifenden gesellschaftlichen Auseinandersetzungen im Spannungsfeld zwischen Überwindung und Bewahrung mittelalterlicher Herrschaftsverhältnisse in besonderer Weise nachzeichnen. Denn es ging in dem Prozess gegen Galilei nicht nur, wahrscheinlich sogar nur am Rande, um den Aufbau der Welt, sondern in erster Linie und hauptsächlich um die mit dem neuen Weltbild sich auflösende Legitimation feudaler Herrschaft als natur- und gottgegebene Ordnung.

Dank der finanziellen Förderung durch den Europaschulfond ist es uns in diesem Jahr erstmals möglich, die sehr teure Besichtigung (17 €) des »Schiefen Turms« in das obligatorische Besichtigungsprogramm für Pisa aufzunehmen.

¹ Von didaktischer Bedeutung für den Physikunterricht ist freilich auch die von Galilei gewählte Dialogform der Darstellung physikalischer Zusammenhänge. Sie kann als Modell analog zur Unterrichtsform des »Sokratischen Gesprächs« betrachtet werden. Zur physikdidaktischen Relevanz von Galilei vgl. auch: Wagenschein, M., Naturphänomene sehen und verstehen, Stuttgart 1980, S. 196, 195 und 203

2. Geplanter Ablauf der Studienfahrt »Auf den Spuren Galileis«

- **Montag,** 14. März 2011 : **Abfahrt** mit dem Bus um **21.00** Uhr ab **Hauptbahnhof** (Rückseite)
Anreise über Basel – Como – Mailand – Parma – La Spezia – Viareggio
- **Dienstag,** 15. März 2011 : **Ankunft** in Lido di Camaiore : gegen **10.00** Uhr
Zimmerverteilung und erste Ortsbesichtigung
Vorbereitung der Fahrt nach Pisa
Gemeinsames Abendessen im Hotel
- **Mittwoch,** 16. März 2011 : **Halbtagesfahrt** mit dem Bus über Viareggio nach **Pisa**
(Pisa liegt ca. 32 km von unserem Wohnort entfernt.)
Vorbereitung der Fahrt nach Florenz
Gemeinsames Abendessen im Hotel
- **Donnerstag,** 17. März 2011 : **Tagesfahrt** mit dem Bus über Lucca nach **Florenz**
(Florenz liegt ca. 107 km von unserem Wohnort entfernt.)
Gemeinsames Abendessen im Hotel
- **Freitag,** 18. März 2011 : **Tagesfahrt** über Poggibonsi nach San Gimignano und **Siena**
(Siena liegt ca. 133 km von unserem Wohnort entfernt.)
Gemeinsames Abendessen im Hotel
- **Samstag,** 19. März 2011 : vormittags: **zur freien Verfügung** mit der besonderen Empfehlung, die historische Seepromenade, die City und den Hafen von **Viareggio** zu besichtigen
nachmittags: **Gesprächsrunde** über die Florentiner Phase im Leben des Galilei
Gemeinsames Abendessen im Hotel
Abschlußabend
- **Sonntag,** 20. März 2011 : vormittags: zur freien Verfügung
(ab 9.00 Uhr müssen die Zimmer geräumt werden.)
Abfahrt mit dem Bus gegen **11.00** Uhr
Rückreise mit über La Spezia – Parma – Mailand – Como – Basel
- **Montag,** 21. März 2011 : **Ankunft** in Darmstadt : nachts gegen **01.00** Uhr am Hauptbahnhof



3. Unterkunft, Kosten und Leistungen des Reiseveranstalters

Während unseres Aufenthaltes in der Toskana wohnen wir in **Lido di Camaiore**, einem beliebten Badeort an der toskanischen Mittelmeerküste in unmittelbarer Nähe von Viareggio. Lido di Camaiore dient uns gewissermaßen als »Basislager«. Von hier aus begeben wir uns auf die toskanischen »Spuren Galileis«. Dazu starten wir jeweils mit dem Bus von unserem Hotel aus zu Tagesausflügen nach Pisa, Florenz, Siena und San Gimignano. Zunächst aber einige Hinweise zu unserem vorübergehenden »Wohnort«.

Über Lido di Camaiore und seine Nachbarorte (Auszug aus einem Ortsprospekt)

Lido di Camaiore liegt an der Riviera della Versilia (Versiliaküste), einem der reizvollsten Strandabschnitte der toskanischen Küste, umrahmt vom Tyrrhenischen Meer und der mächtigen Bergkette der Apuanischen Alpen (mit Gipfeln bis zu 2000 m). Das Klima ist im Frühjahr relativ mild, die mittleren Lufttemperaturen liegen hier im März zwischen 9° und 16° C. Im Sommer ist Lido di Camaiore ein typischer Badeort der Versiliaküste mit breitem, feinem, sanft ins Meer abfallendem Sandstrand, gepflegten Park- und Grünanlagen und einer schönen Uferpromenade. Vom Meer aus führt eine Allee landeinwärts in den etwa 4 km entfernt gelegenen historischen Stadtkern der Ortschaft Camaiore. Sie besitzt viele interessante Kunstdenkmäler, wie die Kirche Collegiata (13. Jhdt.) mit dem charakteristischen Campanile (14. Jhdt.) und die Benediktinerabtei Badia (7. Jhdt.).



Versiliaküste mit **Lido di Camaiore**

Viareggio – Lido di Camaiore grenzt im Süden unmittelbar an die ca. 60 000 Einwohner zählende Stadt Viareggio. Viareggio ist der größte und bestausgestattete Badeort der Toskana. Die schachbrettartige Stadtanlage und die Hafenanlage "Darsena Europa", die einen Fischereihafen und Werften für große Luxusjachten umfasst, hat Viareggio der Bourbonen-Herzogin Maria Louise zu verdanken. Das vielbesuchte, traditionsreiche Seebad mit seiner sehr bemerkenswerten Seepromenaden-Architektur verfügt über zahlreiche Unterhaltungsmöglichkeiten, ausgezeichnete Hotels aller Preisklassen und größere Sport- und Freizeitanlagen in dem Pinienwald "Pineta die Ponente". Seit mehr als 120 Jahren ist Viareggio Hochburg des italienischen Karnevals. An mehreren Sonntagen in der närrischen Zeit ziehen Umzüge mit prächtigen Wagen über die Uferpromenade.

Marina di Pietrasanta ist der nördliche Nachbarort von Lido di Camaiore. Er bietet seinen Feriengästen vielfältige Möglichkeiten der Unterhaltung und Freizeitgestaltung: exklusive Nachtlokale (darunter die berühmte "Bussola", das Aushängeschild der "Versilia by night"), Pubs und moderne Diskos für jüngeres Publikum. Sport- und Freizeiteinrichtungen jeder Art ergänzen das touristische Angebot: zahlreiche Tennis- und Fußballplätze, Sporthallen, eine Rollschuhbahn und eine Reitschule, Tontaubenschiesstand, Fahrrad- und Motorradverleih. Pietrasanta verfügt auch über eine moderne, achtspurige, Leichtathletik-Anlage und einen internationalen Golfplatz mit 18 Löchern. Ideal sind die Bedingungen für Segeln und Radwandern, für Jogging und Bergsteigen.

Kosten: Nach dem im Hinblick auf das Preis-Leistungs-Verhältnis günstigsten Angebot sind in dem Preis für die Studienfahrt von etwa **295 €** die **Fahrt** mit Bus, fünf Hotelübernachtungen mit **Halbpension**, die Reiserücktrittskosten-Versicherung sowie die **Fahrtkosten** für die **Tagesausflüge** nach Pisa, Florenz, San Gimignano und Siena enthalten. Zusätzlich zu zahlen sind **Nebenkosten** wie Eintrittsgelder etc. in Höhe von ca. **15 €**, so dass sich pro Teilnehmer ein Gesamtkostenbetrag von ca. **310 €** ergibt. **Unterkunft:** Wir übernachten im Hotel »Laurin«. Laut Hotelprospekt handelt es sich um ein »gepflegtes Hotel der Mittelklasse« in ruhiger Lage ca. 300 Meter vom Meer entfernt. Die Unterbringung erfolgt in Zwei- und Dreibett-Zimmern.

Einige praktische Hinweise:

Weitere Informationen siehe auch: www.hems.de (Schüler-Studienfahrten-Toskana)

Adresse und Telefon (Durchwahl von Deutschland aus) des Hotels:

Das Hotel Laurin ist ein besseres 3 Sterne Hotel mit allem Komfort ausgestattet. Alle Zimmer haben Dusche, WC, Telefon, SAT-Farbfemseher, Radio, Tresor, Haartrockner, Zentralheizung und Klimaanlage. Das Hotel verfügt über Terrasse, Bar, und Aufenthaltsraum. Das von der Direktion selbst geführte Restaurant bietet eine typisch toskanische und italienische Küche. (Quelle: www.laurin-hotel.it)

★★★ **Hotel Laurin**
Via Mazzini 1
Telefon: **0039-0584-66632**
55043 Lido di Camaiore
e-mail: info@laurin-hotel.it

Bitte auch die »wichtigen Adressen« auf der letzten Seite beachten!

Für den Grenzübertritt wird ein **gültiger Reisepass oder Personalausweis und eventuell ein Visum** benötigt. Empfehlenswert ist die Anfertigung einer Kopie der Reisedokumente. Da wir auf der Hin- und Rückreise jeweils fast 14 Stunden unterwegs sind, sollte genügend **Reiseproviant** eingeplant werden. Zwischen der Bundesrepublik Deutschland und Italien besteht ein Abkommen über die Krankenversorgung, das Mitgliedern einer gesetzlichen Krankenversicherung in Krankheitsfällen kostenlose medizinische Behandlung zusichert. Auf jeden Fall ist es ratsam, einen **Krankenschein** und einen **Zahnkrankenschein** für das **Ausland** sowie den **Impfpass** mitzunehmen. Auch Italien ist Euro-Land. Insofern ist ein Geldumtausch vor und während der Studienfahrt **nicht** erforderlich.

4. Besichtigungsprogramm

Ich glaube, daß es in der Welt keinen größeren Haß gibt als den der Unwissenheit gegen das Wissen.²

Galileo Galilei

Die im folgenden dargelegten Schwerpunkte des Besichtigungsprogramms dieser Studienfahrt stehen unter dem Motto »auf den Spuren Galileo Galileis«. Es gibt sicher ein ganzes Bündel guter Gründe in die Toskana zu reisen, auch oder gerade im Rahmen einer Studienfahrt. Jeder nur halbwegs passable Reiseführer oder Schulfahrtenveranstalter liefert sie gleich seitenweise, sie bedürfen hier keiner weiteren Erwähnung. Aus der bornierten Sicht naturwissenschaftlicher Fachgenügsamkeit gibt es allerdings nur einen: **Galileo Galilei**.

Galilei hat wie kein anderer Wissenschaftler der Renaissance die Geburtsstunde der modernen Physik geprägt. »Mit dem Übergang von den Gedankengängen des Aristoteles zu denen Galileis wurde der Naturwissenschaft einer ihrer bedeutendsten Grundpfeiler gesetzt. Als dieser Schritt einmal getan war, konnte es über die weitere Entwicklungslinie keinen Zweifel mehr geben.«³ Die Verdienste Galileis –wie es in den meisten Physikbüchern geschieht– auf die Einführung des Experiments in die Naturwissenschaften zu beschränken, diffamiert geradezu dessen historische Leistung. Er überwand die aristotelische Theorie, indem er deren innere Widersprüchlichkeit aufdeckte. Zugleich konnte er mit seinen spekulativen Überlegungen zum Trägheitsprinzip Wege aufzeigen, wie sich die Urteile über Erfahrungen mit bewegten Körpern widerspruchsfrei und systematisch verknüpfen lassen, um damit alle mechanischen Bewegungen am Himmel und auf der Erde aus einem einheitlichen Prinzip erklären zu können.

»Die Hauptschwäche des Aristoteles« bestand indessen darin, »daß er zu empirisch war. Deshalb brachte er es nicht zu einer mathematischen Theorie der Natur. Galilei tat einen großen Schritt, indem er wagte, die Welt so zu beschreiben, wie wir sie **nicht** erfahren.«⁴ Dem allein durch unmittelbare Wahrnehmungen und Erfahrungen geprägten Bewußtsein bleibt nur die schicksalhafte Unterwerfung unter die historisch jeweils herrschenden Auffassungen über die realen Verhältnisse in der jeweiligen Welt- und Gesellschaftsordnung. Galilei befreite sich gleichsam von dem Diktat alltäglicher Erfahrung, derzufolge sich die Sonne in der Tat um die Erde zu drehen scheint, und gelangte erst unter dieser Voraussetzung zu der Überzeugung, dass das Gegenteil die Wahrheit sei. So gesehen ist der von Galilei mit seinen spekulativen »Gedankenflügen« und »neuentdeckten Wahrheiten«

² Galileo Galilei, zit. aus: J.Hemleben, Galileo Galilei – mit Selbstzeugnissen und Bilddokumenten, Reinbek bei Hamburg 1969, S.97

³ A.Einstein/L.Infeld, Die Evolution der Physik, Reinbek bei Hamburg 1987, S.36

⁴ C.F.v.Weizsäcker, Die Tragweite der Wissenschaft, Stuttgart 1964, zit. nach: Göttinger Quellenhefte, hrsg. v. G.Isermann, Heft 12 : Der Prozeß des Galilei, S. 13. An anderer Stelle heißt es: »Die durch Galilei repräsentierte moderne Wissenschaft meistert die Erfahrung gerade dadurch, daß sie sich **nicht** schlicht an das hält, was die Erfahrung unmittelbar präsentiert.« (C.F.v.Weizsäcker, Die Einheit der Natur, München 1974, S. 112). Vgl. auch: C.F.v.Weizsäcker, Große Physiker, Wiesbaden 2004, S. 110 f.

gegen »die Irrtümer allgemein für wahr gehaltenen Sätze«⁵ maßgeblich mitgestaltete Ablösungsprozess des geozentrischen Weltbildes zugleich auch als ideengeschichtlicher Akt der Befreiung von den gesellschaftlichen und kulturellen Zwängen der mittelalterlichen Lebens- und Herrschaftsformen zu interpretieren.

Wie sich ein solcher Prozess in der Biographie konkreter handelnder Menschen widerspiegeln kann, soll im Rahmen des folgenden Besichtigungsprogramms exemplarisch am Lebensweg Galileis aufgezeigt werden. Dabei wird insbesondere bei den Besuchen in Pisa und Florenz explizit Bezug genommen auf die im Physikunterricht der Klassen 11 und 12 behandelte mechanische Theorie Galileis. Weitere biographische und historische Details sollen in einem speziellen Unterrichtsprojekt unmittelbar vor dieser Studienfahrt (gegebenenfalls im Rahmen einer Projektwoche) erarbeitet werden.

Pisa

Galilei wurde am 15. Februar 1564 in Pisa geboren. Dort verbrachte er auch die ersten 10 Jahre seiner Kindheit. Mit seiner Familie lebte er dann einige Jahre in Florenz und kehrte im September 1580 zurück nach Pisa, um an der dortigen Universität Medizin zu studieren. Nach vierjähriger Studienzeit in Pisa setzt er seine dort begonnenen mathematischen und naturwissenschaftlichen Studien in Florenz fort und bestreitet anschließend hier und in Siena seinen Lebensunterhalt durch Privatunterricht. Im Herbst 1589 wird Galilei zum Professor der Mathematik an die Universität seiner Heimatstadt Pisa berufen. Hier entwickelt er in seiner Schrift »De motu« die ersten theoretischen Entwürfe seiner Fallgesetze. Seine Gegenstände gewinnt er nach einem – historisch übrigens umstrittenen⁶ – Bericht seines Schülers Viviani in den Jahren 1590-91 in seinen berühmt gewordenen Fallexperimenten am Schiefen Turm von Pisa und seinen praktischen Studien über die Kugelbewegungen auf einer schiefen Ebene (der sog. »Fallrinne«). Vor diesem biographischen und historischen Hintergrund werden wir uns bei unserem Besuch in Pisa auf folgende Besichtigungsschwerpunkte konzentrieren:



Universität zu Pisa

(Foto: sic 22.3.95)

- **Geburtshaus** von Galilei in der Via Giuseppe Giusti 24 unweit der Kirche St. Andrea
- **Universität** zu Pisa in der Via Curtatone
- **Schiefer Turm** – 54,5 m hoher Glockenturm mit einer Lotabweichung von etwa 4,30 m. Auf der obersten Brüstung des Schiefen Turms können die beiden Steinkugeln besichtigt werden, mit denen Galilei in seinen Fallexperimenten gezeigt haben soll, dass die große und schwere Kugel nicht schneller fällt als die leichtere kleine.
- **Dom** – Hier befindet sich neben bedeutenden Werken gotischer Bildhauerkunst auch der große Kronleuchter aus dem Jahre 1587, durch dessen Schwingungen Galilei zu Studien über die Pendelbewegung und den Entwurf seines Trägheitsmodells angeregt worden sein soll.⁷

⁵ Galileo Galilei, Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend, Leyden 1638. In deutscher Übersetzung hrsg. von Arthur v. Oettingen, Nachdruck: Darmstadt 1973, S. 154 und S. 240

⁶ Vgl. dazu und zur Funktion des **Experiments** in den Abhandlungen Galileis: Hemleben, a.a.O., S.28; J.Teichmann, Die Rekonstruktion historischer Modelle und Experimente im Unterricht, in: Physik und Didaktik, Heft 4/1979, S.275 ff.; A.Fölsing, Galileo Galilei - Prozeß ohne Ende, München Wien 1989, S.88 f. u. S.170 ff. sowie E.J.Dijksterhuis, Die Mechanisierung des Weltbildes, Berlin Heidelberg New York 1983, S.373, S.379 u. S.384

⁷ Vgl.: Hemleben, a.a.O., S. 22 sowie A.Fölsing, a.a.O., S. 62 f.

- **Dom-Museum** – Dort sind u.a. ein weiteres Paar der von Galilei für seine Fallversuche benutzten Steinkugeln zusammen mit dem Original einer Schrift über die Fallgesetze ausgestellt.

Florenz

Im Herbst 1592 beendet Galilei seine Tätigkeit in Pisa. Bevor er nach Florenz zurückkehrte, wechselte er zunächst als Mathematikprofessor an die Universität in Padua, das damals zur Republik Venedig gehörte. Er selbst bezeichnete die achtzehn Jahre, die er in dieser Stadt verbrachte, als »die glücklichsten meines Lebens«. Hier verliebt er sich 1599 in die Venetianerin Marina Gamba. Aus dieser Beziehung entstammen seine drei Kinder, zwei Mädchen und ein Knabe. In Padua wendet er sich zunächst wieder den Fallgesetzen und anderen mechanischen Studien zu, bis schließlich sein Interesse durch das zwischenzeitlich in Holland erfundene und von ihm 1609 nachgebaute Fernrohr zur Astronomie umgelenkt wurde. Damit entdeckte er u.a. die Monde des Planeten Jupiter. Im März 1610 veröffentlichte Galilei unter dem Titel *Sidereus nuncius* (Der Sternenbote) sein erstes Buch, in dem er seine astronomischen Erkenntnisse zusammenfasste und sich erstmals öffentlich zum heliozentrischen Weltbild des Kopernikus bekannte.⁸

Trotz seiner Erfolge in Padua wollte Galilei zurück in seine toskanische Heimat – ein »unglücklicher Wunsch, denn das Geistesklima in Venedig war liberaler als in der von der Inquisition stark beeinflussten Residenz der Medici«⁹. So kam er im September des Jahres 1610 als »Erster Mathematiker und Philosoph des Großherzogs Cosimo II. von Toscana« wieder nach Florenz. Im Februar 1615 wird Galilei von den Dominikanermönchen Caccini und Lorini bei der römischen Inquisition als Ketzer denunziert. »Als untertänigste Diener« sahen sie sich veranlasst zu der Anzeige, dass Galilei »die ganze Philosophie des Aristoteles ... mit Füßen tritt« und »die folgenden beiden Sätze für wahr hält: die Erde bewegt sich als Ganzes in bezug auf sich selbst, auch in täglicher Bewegung, die Sonne ist unbeweglich.«¹⁰

Es folgt eine Serie von Ermahnungen, Drohungen und Verhören seitens der Inquisition. Gleichwohl gelingt es Galilei, seine Erkenntnisse über das heliozentrische Weltbild im Februar 1632 in seinem astronomischen Hauptwerk »Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, das ptolemäische und das kopernikanische« (*Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico e copernicano*)¹¹ in Florenz zu veröffentlichen. Ein halbes Jahr später wird das Buch verboten, ab April 1633 wird ihm in Rom der Prozess gemacht. Unter Androhung der damals »gegen solche Verbrecher« –wie es in dem Urteil heißt– üblichen Strafen wie Folter oder gar Verbrennung auf dem Scheiterhaufen sieht sich Galilei gezwungen, am 22. Juni 1633 seine Auffassungen zu widerrufen und abzuschwören.¹² Daraufhin wird er »nur« zu einer lebenslänglichen Haftstrafe



Villa Galilei (»Il Gioiello«) in Arcetri

(Foto: sic 23.3.00)

⁸ Aus zeitlichen und finanziellen Erwägungen mußte das ursprüngliche Vorhaben, Padua und damit eine bedeutsame Phase im Leben des Galilei in das Besichtigungsprogramm dieser Studienfahrt einzubeziehen, aufgegeben werden. Zum Wirken von Galilei in Padua und Venedig vgl. Hemleben, a.a.O., S. 31 - 52.

⁹ J.Teichmann, Wandel des Weltbildes, Darmstadt 1983, S. 87

¹⁰ Hemleben, a.a.O., S. 87

¹¹ Galileo Galilei, Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, das ptolemäische und das kopernikanische, Florenz 1632 (Italienische Fassung) und Leyden 1638 (Lateinische Übersetzung). In deutscher Übersetzung hrsg. von R.Sexl/K.v.Meyenn, Nachdruck: Stuttgart 1982

¹² Der Wortlaut des Urteils selbst ist vollständig abgedruckt in: Hemleben, a.a.O., S. 131. Vgl. auch: O.Gingerich, Der Fall Galilei, in: Spektrum der Wissenschaft, Heft 10/1982, S. 108-119. Aufgrund ähnlicher Vorwürfe wurde **Giordano Bruno**,

verurteilt. Ab Dezember 1633 erhält er unter strengen Auflagen (Hausarrest) die Erlaubnis, sich in sein Landhaus »Il Giojello« (*Das Juwel*) in Arcetri, einem kleinen Ort am Stadtrand von Florenz, zurückzuziehen. Auch wenn in manchen historischen Darstellungen der Eindruck erweckt wird, die Umwandlung der Kerkerhaft in Hausarrest sei ein Indiz dafür, dass Galilei von der Inquisition rücksichtsvoll behandelt worden sei, bleibt festzuhalten: »Galilei war nach der Verurteilung ein einsamer, tief unglücklicher Greis, der überdies durch Krankheit ... und zunehmende Erblindung zu leiden hatte.«¹³ Sein Interesse an naturwissenschaftlicher Erkenntnis bleibt indessen ungebrochen: Im »Kerker von Arcetri«, wie er selbst seine Villa fortan sarkastisch nannte und »sogar als Absender in seiner Post angab«¹⁴, entstand sein für die weitere Entwicklung der Physik bedeutsamstes Werk, die »Unterredungen und mathematischen Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend« (*Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno à due nuove scienze attenenti alla mecanica ed ai movimenti locali*).¹⁵ Es wurde 1638 im holländischen Leiden veröffentlicht. Am 8. Januar 1642 stirbt Galilei als schwerkranker Mann in seinem Haus in Arcetri und wird auf Drängen des Papstes an einem »unauffälligen Ort« im Glockenturm der Seitenkapelle der Domkirche Santa Croce in Florenz beigesetzt. Erst fast ein Jahrhundert später, am 13. März 1736, wird sein Leichnam in das Mausoleum im Hauptschiff von Santa Croce überführt.

Aus der Fülle der Spuren, die Galilei in den über dreißig Jahren seines Lebens in der toskanischen Hauptstadt zurückgelassen hat, sollen nur einige wenige in den Mittelpunkt unseres Besuchs in Florenz gerückt werden. Dazu gehören :

- Villa »Il Giojello« (heute: Villa »Galilei«) in **Arcetri** – In diesem bereits seit 1631 gemieteten Landhaus auf den Hügeln in der Umgebung von Florenz verbringt Galilei die letzten acht Lebensjahre bis zu seinem Tod am 8.1.1642. Nach seiner Verurteilung wurde »meine Haft« –so Galilei in einem Brief vom Dezember 1633– »in eine Verbannung nach diesem kleinen Landhause umgewandelt, das eine Meile von Florenz entfernt liegt, mit dem strengen Befehl, nicht nach der Stadt zu gehen und weder den Besuch vieler Freunde zugleich anzunehmen, noch welche zu mir einzuladen.«¹⁶ Von 1635 bis 1638 vollendet er in Arcetri sein physikalisches Hauptwerk, die *Discorsi*.
- Von Arcetri aus gehen wir uns zu Fuß in Richtung Innenstadt und zwar diesmal in der Tat »auf den Spuren Galileis«. Denn als Galilei sich noch frei bewegen durfte, hat er diesen sehr schönen Weg über die Via San Leonardo üblicherweise genommen, wenn er nach Florenz wollte. Wir gehen zunächst vorbei an dem astronomischen Observatorium und dem neugotischen Turm »Torre del Gallo« –der sich übrigens dort erhebt, wo Galilei seine astronomischen Beobachtungen angestellt haben soll– zum Haus Nr. 19 in der **Costa di San Giorgio**. – Hier lebte Galilei ab 1617 während seiner Florentiner Zeit als Hofmathematiker des Großherzogs Cosimo II. bis zu seiner Verurteilung durch die Inquisition im Jahre 1633. Unser weiterer Weg in Richtung Zentrum führt uns über die **Ponte Vecchio** zur
- Galerie der **Uffizien**. – Der als Verwaltungs- und Gerichtsgebäude der Medici erbaute Uffizienpalast beherbergt eine der reichsten und bedeutendsten Gemäldegalerien der Welt. Hier ist u.a. auch das berühmte Galilei-Porträt des holländischen Malers Justus Sustermans aus dem Jahre 1635 ausgestellt.¹⁷ Vorbei an der steinernen Galilei-Statue an der Außengalerie der Uffizien begeben wir uns zu dem direkt dahinter gelegenen wissenschaftshistorischen Museum **Museo Galileo** (Museo di Storia della Scienza).

der ebenfalls sehr vehement das kopernikanische Weltbild propagierte, 33 Jahre zuvor auf dem Scheiterhaufen lebendigen Leibes verbrannt. Er war nicht bereit zu widerrufen.

¹³ Hemleben, a.a.O., S. 140

¹⁴ Fölsing, a.a.O., S. 467

¹⁵ Galileo Galilei, Unterredungen und mathematische Demonstrationen ..., a.a.O.

¹⁶ zitiert aus: Hemleben, a.a.O., S. 135. Vgl. auch: Gebler, Karl von, Galileo Galilei – Leben Werk, Galileo Galilei und die römische Kurie, Stuttgart 1876, Nachdruck: Emil Vollmer Verlag Essen o.J., S.177

¹⁷ Aus zeitlichen Gründen wird eine Besichtigung der Uffizien leider entfallen müssen.

- Das **Museo Galileo** (Museo di Storia della Scienza) ist im Palazzo dei Castellini auf der Piazza dei Giudici untergebracht. – Dieses Museum der Geschichte der Naturwissenschaften beherbergt eine ausgezeichnete Ausstellung speziell über das Wirken Galileis (1.Stock, Raum 4). Darüber hinaus befindet sich dort eine bemerkenswerte Sammlung zur Entwicklung der experimentellen Naturwissenschaft im allgemeinen. Gezeigt werden u.a. Zeitmessgeräte aus der Renaissance und aus anderen Epochen und elektrophysikalische Experimentiergeräte insbesondere aus dem 18. Jahrhundert. Am Arno entlang gehen wir nach dem Museumsbesuch zur
- Domkirche **Santa Croce**. – Hier befindet sich das Grabmal Galileis, u.a. aber auch das von Michelangelo und von Machiavelli.
- **Biblioteca Nazionale** – In der neben Santa Croce gelegenen Nationalbibliothek wird u.a. eine Sammlung von Handschriften Galileis aufbewahrt.



Fernrohre Galileis -
Museo di Storia della
Scienza

Siena , Poggibonsi und San Gimignano

Nachdem Galilei am 22. Juni 1633 feierlich geschworen hatte, »in Zukunft weder in Wort noch in Schrift« zu verkünden, dass er »die Meinung vertreten und geglaubt habe, daß die Sonne Mittelpunkt der Welt und unbeweglich ist, und daß die Erde nicht Mittelpunkt ist und sich bewegt«¹⁸, wird ihm am 30. Juni durch päpstliches Dekret gestattet, Rom zu verlassen und sich nach Siena zu begeben. Dorthin reist er am 6. Juli 1633 und lebt unter strengem Hausarrest für knapp ein halbes Jahr als »Gast« im Palais des ihm wohlgesonnenen Erzbischofs Ascanio Piccolomini.



Siena – Piazza del Campo

Dass Galilei nach dem entwürdigenden Prozess in Rom überhaupt noch einmal den Lebensmut fand, der ihn schließlich in Arcetri zur Vollendung seines physikalischen Lebenswerkes beflügelte, ist vor allen Dingen dem Erzbischof von Siena zu verdanken. »Von der Wissenschaft, die ihn in all dieses Unglück gestürzt hatte, wollte er nichts mehr hören, aber trotzdem gelang es dem Erzbischof nach einigen Wochen, Galilei aus seiner Verzweiflung zu reißen, so daß er sogar wieder die Arbeit an dem Buch über die Bewegung aufnahm, obwohl er kaum hoffen konnte, daß es jemals gedruckt werden würde.«¹⁹ Dieser erzbischöfliche Palast wird neben dem Piazza del Campo und dem Dom einer unserer Besichtigungsschwerpunkte in Siena sein, ohne freilich zu vergessen, dass diese reizvoll im Hügelland des Chianti gelegene Stadt gewissermaßen als Gesamtkunstwerk auch einen hervorragenden Einblick in die Architektur des Mittelalters zu vermitteln vermag. Denn sie hat mit ihren Türmen und zinnengekrönten Mauern zum großen Teil ihr ursprüngliches Bild bewahrt und gilt wegen ihrer zahlreichen mittelalterlichen Gebäude, Renaissance-Bauwerke und Kunstschätze als eine der großartigsten Kunststädte Europas.

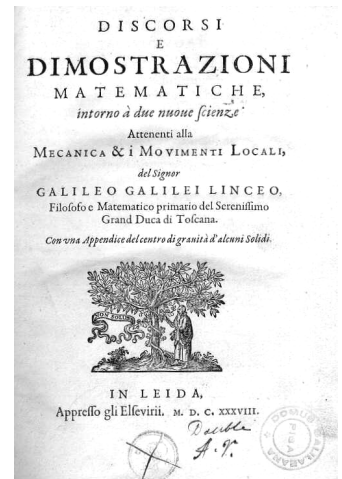
- **Palazzo Piccolomini** – Hier ist heute das Staatsarchiv mit kostbaren alten Büchern aus dem 13. bis 16. Jahrhundert untergebracht. Der Palast wurde 1469 von B. Rossellino für Nanni Piccolomini, dem Vater von Papst Pius III., erbaut.

¹⁸ Der Text der Abschwurformel ist vollständig abgedruckt in: Hemleben, a.a.O., S. 7 f.

¹⁹ Fölsing, a.a.O., S. 469, Zum Aufenthalt in Siena vgl. auch: Gebler, Karl v., a.a.O. S.158 f.

Der Weg von Siena nach San Gimignano führt über die Stadt

- **Poggibonsi** – Trotz seines Hausarrests erwirkt Galilei im Herbst 1636 die Erlaubnis, sich außerhalb von Arcetri in der Stadt Poggibonsi mit dem französischen Gesandten in Rom, dem Grafen von Noailles, treffen zu dürfen. Dieser war in Padua Schüler Galileis gewesen und hatte ihm auch nach der Verurteilung die Treue gehalten. Ihm übergibt Galilei am 16. Oktober 1636 in Poggibonsi die ersten Manuskripte der *Discorsi*. Fortan kümmert sich Noailles um die Herausgabe des Werkes. So ist auch der Druck und die Veröffentlichung der endgültigen Fassung der *Discorsi* im März 1638 in Holland dem Grafen di Noailles zu verdanken. Aus Dankbarkeit dafür und für dessen Engagement zur Verteidigung »meines Ansehens gegen meine Widersacher«, wie es in dem Vorwort Galileis zu den *Discorsi* heißt, widmet Galilei ihm sein physikalisches Hauptwerk.²⁰
- **San Gimignano** – Geschützt durch die Stadtmauer aus dem 12. Jahrhundert, konnte sich das mittelalterliche Zentrum mit seinen weltberühmten Türmen bis heute erhalten. Die mittelalterliche Architektur ermöglicht vielleicht noch eindrucksvoller als Siena gleichsam einen atmosphärischen Einblick in das historische Vorfeld der Renaissance, also jener Epoche des späten Mittelalters, in der sich deutlicher als zuvor die sozialen, ideologischen und politischen Strukturen herausbildeten, mit denen sich Galilei und andere kritische Geister wie etwa Giordano Bruno auseinandersetzen mussten, um ihrem Anspruch auf Wahrheit über das physikalische Weltbild Geltung zu verschaffen.



Titelseite der *Discorsi*

Bleibt noch anzumerken, dass das 1632 verbotene Buch Galileis mit dem »Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme« erst 200 Jahre später vom Index der für Katholiken verbotenen Bücher gestrichen und das kirchenrechtliche Verfahren gegen Galilei sogar erst im Jahre 1980, also 350 Jahre nach seiner Verurteilung, wieder aufgerollt wurde. Nach dreizehnjähriger Beratungszeit wird Galilei offiziell rehabilitiert. Dazu eine Zeitungsmeldung aus dem Jahre **1992** (!) :

Die Erde darf um die Sonne kreisen

Papst Johannes II. rehabilitiert Galilei - Als Ketzer verurteilt

ROM (ap). Fast 360 Jahre nach der Verurteilung durch die Inquisition ist der italienische Physiker und Mathematiker Galileo Galilei von der katholischen Kirche offiziell rehabilitiert worden.

Papst Johannes Paul II. bekannte am Samstag vor Mitgliedern der vatikanischen Akademie der Wissenschaften, daß die Kirche geirrt habe, als sie Galilei am 22. Juni 1633 wegen seiner Lehre verurteilte, wonach die Erde um die Sonne kreise und nicht umgekehrt, wie nach damaliger offizieller Kirchenlehre. Galilei hatte seiner der Lehre des Kopernikus entnommenen These abschwören müssen und war zu lebenslanger Haft verurteilt worden. Sie wurde später in Hausarrest umgewandelt.

Die Erklärung des Papstes ist das Ergebnis dreizehnjähriger Beratungen und Untersuchungen einer von Johannes Paul ernannten Kommission. Die Verurteilung Galileis sei Ergebnis eines „tragischen gegenseitigen Nichtverstehens“ und sei in der Folgezeit zu einem Symbol der unterstellten Ablehnung des wissenschaftlichen Fortschritts durch die Kirche geworden, sagte der Pontifex maximus in seiner Rede in der Sala rega des Apostolischen Palastes.

Die Theologen der damaligen Zeit hätten in ihrer Annahme geirrt, daß der Wortsinn der Heiligen Schrift den physischen Zustand der Welt beschreibe, sagte Johannes Paul weiter. Der Fall Galilei sei sogar ein Beispiel für die Vereinbarkeit von Wissenschaft und Religion. Man habe damals nur nicht erkannt, daß es „zwei Reiche des Wissens gibt: eins, dessen Quelle die Offenbarung ist und eins, welches der Verstand durch eigene Kraft erkennen kann“.

Der Papst mahnte die Wissenschaftler besonders in Hinblick auf Biologie und Biogenetik, bei ihrer Forschung die spirituelle Seite des Menschseins nicht zu vergessen.

DARMSTÄDTER ECHO vom 2.11.1992

²⁰ Galileo Galilei, Unterredungen und ..., a.a.O., S. 129. Vgl. auch: Hemleben, a.a.O., S. 143 u. Fölsing, a.a.O., S. 469

Es kann mit Gewissheit angenommen werden, dass Galilei nach seinem Widerruf vor dem Inquisitionsgericht die Worte »**Und sie (die Erde) bewegt sich doch!**« (*»eppur si muove«*) nur gedacht, aber **nicht** ausgesprochen hat. Denn Galilei war kein Märtyrer, »weil er niemals einer sein wollte. Er war ein Mensch der Spätrenaissance, der das Leben genoß und genießen wollte.«²¹ So gesehen gab es für Galilei vielleicht auch einen sehr sinnlich-materiellen, um nicht zu sagen kulinarischen Grund, seinen Arbeitsort und Wohnsitz im Jahre 1610 gegen den warnenden Ratschlag seines Freundes Giovanni Sagredo von Padua wieder in seine toskanische Heimat zurückzuverlegen. Denn –und auch dies mag für einige Interessenten ein Aspekt dieser Studienfahrt sein– es scheint fast so, dass sich in den Denkformen Galileis gleichsam die Eigenarten der toskanischen Küche widerspiegeln. Sie gilt als »raffiniert einfach, natürlich und unverfälscht« und beschränke »sich aufs Wesentliche«. Den Feinschmeckern und jenen, die sich dafür halten, sollen die weiteren Passagen aus dem bereits zitierten, möglicherweise völlig unbedeutenden Werk italienischer Kochkunst keineswegs vorenthalten werden²²:

- **Toskana kulinarisch: raffiniert einfach** – Die Küche der Toskana ist natürlich, unverfälscht und beschränkt sich aufs Wesentliche. Frische Kräuter und zarte Gemüse bestimmen den Küchenzettel. Aus den Wäldern der Apuanischen Alpen kommen Kastanien, Pilze und Wild. Aus Arezzo stammt Lepre in umido, ein Hasenragout, das mit breiten Bandnudeln serviert wird. In Florenz ißt man zu vielen Fleischgerichten weiße Bohnen aus frischen oder getrockneten Bohnenkernen. Nicht umsonst werden die Toskaner Mangia-fagioli, Bohnenesser, genannt. Fagioli all' uccelletto wird mit Tomaten und Salbei zubereitet. Das ungesalzene Landbrot ißt man zu einem Glas Chianti oder man röstet es zu einer Fettunta, reibt es mit Knoblauch ein und beträufelt es mit Olivenöl. An der Küste macht sich der Einfluß des Meeres bemerkbar. Die besten Fischeintöpfe, Cacciucco, kocht man in Viareggio oder Livorno.

Literaturempfehlung zur Vorbereitung auf die Studienfahrt

- Enrico Bellone (Hrsg.) : Galilei – Leben und Werk eines unruhigen Geistes, Spektrum der Wissenschaft, Biographien, Heft 1/1998 (Preis: 16,80 DM)
- Johannes Hemleben : GALILEO GALILEI – mit Selbstzeugnissen und Bilddokumenten, Reinbek bei Hamburg 1969, Taschenbuchreihe *Rowohlt's Monographien* (rm 156 – Preis: 8,95 €)
- Jean-Pierre Maury : GALILEO GALILEI – Und sie bewegt sich doch!, Ravensburg 1990, Bilddokumentation aus der Taschenbuchreihe *Abenteuer Geschichte* des Ravensburger Buchverlags,
- Hans Lajta : TOSKANA – Polyglott-Reiseführer, München 2008, Polyglott-Verlag (Preis: 9,95 €)
- Physik-Ordner : Mechanik-Kurs, Klasse 11: Arbeitsblätter Nr. 2, Nr. 5, Nr. 6 und Nr. 9 bzw. Klasse 12: Arbeitsblätter Nr. 3, Nr. 6, Nr. 8, Nr. 13, Nr.17, Nr. 18 und Nr. 22
- Internet-Adressen :
 ETH-Zürich: <http://www.ethbib.ethz.ch/exhibit/galilei/>
 MP-Institut für Wissenschaftsgeschichte: www.mpiwg-berlin.mpg.de/Galileo_Prototype/MAIN.HTM
 Museo Galileo (vormals: Museo di Storia della Scienza Florenz): <http://www.museogalileo.it/en/>
 Virtuelles Museum Galileo: <http://catalogue.museogalileo.it/room/RoomVII.html>
 Papst Johannes Paul II. zum Galilei-Urteil von 1992: http://stjosef.at/dokumente/papst_galilei.htm
 Galilei-Projekt der Rice-University in Houston (USA): es.rice.edu/ES/humsoc/Galileo
 HEMS-Homepage: <http://www.hems.de/indextoskana.htm>
 Wikipedia-Artikel: http://de.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei

²¹ Weizsäcker, a.a.O., S.13

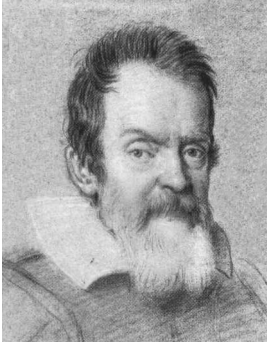
²² M.Alberti, Küchen der Welt: Italien, München 1993, S.15

Inhaltverzeichnis

1. Hinweise zur Konzeption der Studienfahrt.....	2
2. Geplanter Ablauf der Studienfahrt »Auf den Spuren Galileis«	3
3. Unterkunft, Kosten und Leistungen des Reiseveranstalters.....	4
4. Besichtigungsprogramm	5
Pisa.....	6
Florenz.....	7
Siena , Poggibonsi und San Gimignano	9
Literaturempfehlung zur Vorbereitung auf die Studienfahrt	11
Wichtige Adressen.....	12

Wichtige Adressen

- **Hotel Laurin:** Via Mazzini 1, 55043 Lido di Camaiore, Telefon: 0039–0584–66632
Fax: 0039–0584–66784, E-Mail: info@laurin-hotel.it, Internet: www.laurin-hotel.it
- **Omnibusbetrieb »Der Zwingenberger«,** Giesser Weg 41, 64673 Zwingenberg, Telefon: 06251–74264, derzwingenberger@t-online.de, Internet: www-derzwingenberger.de
- **Heinrich-Emanuel-Merck-Schule,** Alsfelder Straße 23, Telefon: 06151–134310,
Fax: 06151–134300, E-Mail: hems@ darmstadt.de, Internet: www.hems.de
- **Jochen Sicars,** Telefon: 06151–41049,
mobil: +49 1746 932 909, E-Mail: sicars@hems.de



Galileo Galilei
1564 – 1642

»Galilei tat einen großen Schritt, indem er wagte, die Welt so zu beschreiben, wie wir sie *nicht* erfahren.«

Carl Friedrich von Weizsäcker

Einige ergänzende Unterrichtsmaterialien zur Vorbereitung der Studienfahrt

Auf den Spuren Galileo Galileis

Im Rahmen einer Unterrichtsreihe speziell zur Vorbereitung auf die Studienfahrt sollen insbesondere folgende Details herausgearbeitet werden:

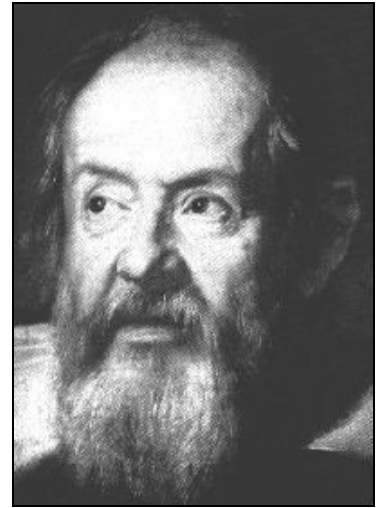
- Die Bedeutung des Wirkens von Galilei für die Entwicklung der modernen Physik,
- das Verhältnis von Wahrnehmung und Denken im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess,
- die Funktion des Experiments in der Physik und im naturwissenschaftlichen Unterricht sowie
- wesentliche Stationen in der Biographie Galileis.

Inhaltsverzeichnis

Leben des Galileo Galilei – Eine Kurzbiographie.....	2
Galileo Galilei – Historischer Kontext: Von der Renaissance zum Absolutismus.....	3
Galileo Galilei: Pendelbewegung und Fallbewegung (Analogie)	5
Galileo Galilei: Das Experiment mit der Fallrinne.....	8
Hinweise zu den Rollen von Salviati, Sagredo und Simplicio in der Darstellung Galileis	9
Der Prozess gegen Galileo Galilei:	
Chronologie der Ereignisse	12
Die umstrittenen Weltbilder	13
Abschwörung und Urteil.....	14
Die Revision des Urteils (1980 bis 1992)	15

Leben des Galileo Galilei – Eine Kurzbiographie

- 1564** Galileo Galilei am 15.2.1564 in **Pisa** geboren
- 1581 – 1585 Studium an der Universität zu **Pisa**
- 1589 – 1592 Professor für Mathematik an der Universität zu **Pisa**
- 1590/91 :
Experimente zu den Fallgesetzen und der Bewegung auf der Fallrinne
Erste theoretische Entwürfe zur Fallbewegung in der Schrift "*De motu*"
-



GALILEO GALILEI

Gemälde des Holländers Justus Sustermans von 1635 (Galerie der Uffizien, Florenz)

- 1592 – 1610 Professor für Mathematik an der Universität zu **Padua**
- 1599 : Verhältnis mit Marina Gamba (1600 - 1606 : Geburt der 3 Kinder)
1609 : Konstruktion des Fernrohres
1610 : Entdeckung der Jupitermonde
Bekanntnis zum Weltbild des Kopernikus
-

- 1610 – 1633 Hofmathematiker und Philosoph des Großherzogs Cosimo II. in **Florenz**
- 1632: Veröffentlichung des "*Dialogs über die Weltsysteme*" in Florenz
1633:
Febr. – Juni : Prozeß vor dem Inquisitionsgericht in **Rom**
Juli : Reise nach **Siena** zum Erzbischof Ascanio Piccolomini
Aufenthalt in Siena: 5 Monate vom 9.7. bis 6.12.1633
Dezember : Abreise nach **Arcetri**
-

- 1633 – 1642 Leben in der Verbannung in der Villa »Il Gioiello« in **Arcetri** bei Florenz
- 1635: Veröffentlichung des "*Dialogs über die Weltsysteme*" in Holland
1638: Veröffentlichung der "*Discorsi*" in Holland
- 1642** Galilei stirbt am 8. Januar in Arcetri und wird in Santa Croce in Florenz beigesetzt
-

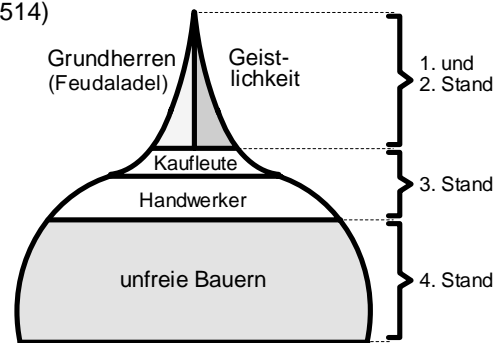
- 1643 Isaac Newton am 5. Januar Woolsthorpe geboren
- 1835 Der "*Dialogs über die Weltsysteme*" wird vom Index gestrichen
- 1980 – 1992 Wiederaufnahme des Prozesses gegen Galilei und Rehabilitierung

Mittelalter : Feudalistische Gesellschaft (ca. 500 n.Chr. bis ca. 1400 n.Chr.)

Übergangsphase vom Mittelalter zur Neuzeit

1. Phase : Renaissance (ca. 1440 – 1540)

- ▶ **Technik:** Erfindung des Buchdrucks (um 1450), Weiterentwicklung des Bergbaus, der Metallgewinnung und der Pumpentechnik
- ▶ **Wirtschaft:** Ausdehnung des Waren- und Geldhandels (Fugger, Welser, Tucher) und Entstehung des Verlagssystems
- ▶ **Gesellschaft:** Bauernkriege gegen die Unterdrückung durch die Feudalherren (um 1525)
- ▶ **Schifffahrt:** große Entdeckungsreisen (Columbus 1492, Magellan 1517, Vasco da Gama 1498)
- ▶ **Astronomie:** Heliozentrisches Weltbild (Kopernikus 1514)
- ▶ **Philosophie:** Humanismus (Erasmus v. Rotterdam)
- ▶ **Kunst:** L. da Vinci, Michelangelo, A.Dürer
- ▶ **Politik:** Spanien wird zur Weltmacht (Karl V./Philipp II.)
- ▶ **Kirche:** Reformation (1517 veröffentlicht Luther seine 95 Thesen)

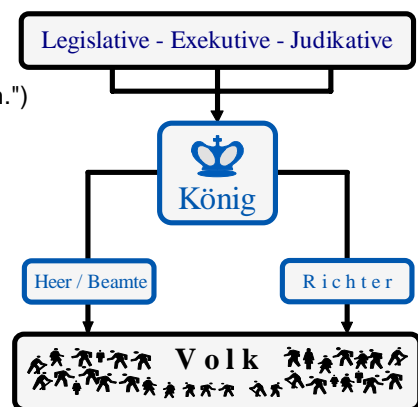


2. Phase : Religionskriege (ca. 1540 – 1650)

- ▶ **Frankreich:** Hugenottenkämpfe (1560 – 1598)
- ▶ **Deutschland:** 30-jähriger Krieg (1618 – 1648)
- ▶ **Wissenschaft:** Entstehung der modernen Naturwissenschaft – Galileo Galilei (1564 – 1642) und Isaac Newton (1643 – 1727)

3. Phase : Absolutismus (ca. 1640 – 1789)

- ▶ **Staat:**
 - Absolutes Königtum (Ludwig XIV. : "Der Staat bin ich.")
 - Entstehung des modernen Zentralstaates
- ▶ **Wirtschaft:**
 - Entstehung des Manufaktursystems
 - Wirtschaftspolitik : Merkantilismus
- ▶ **Gesellschaft:**
 - Aufstieg des Bürgertums
 - Entstehung des Proletariats (Lohnarbeiter)
- ▶ **Philosophie:**
 - Aufklärung (J.Locke, Rousseau, Kant etc.)



Neuzeit : Bürgerlich-kapitalistische Gesellschaft (ca. ab 1789 n.Chr.)

Merkantilismus (in Frankreich) – mercator (lat.): Kaufmann

Als »Merkantilismus« bezeichnet man die durch staatliche Lenkung und Förderung von Handel- und Gewerbe geprägte Wirtschaftspolitik des absoluten Staates.

Begründer des Merkantilismus in Frankreich:

Jean-Baptiste **Colbert** (1619-1683), Finanzminister unter Ludwig XIV.

Ziele des Merkantilismus:

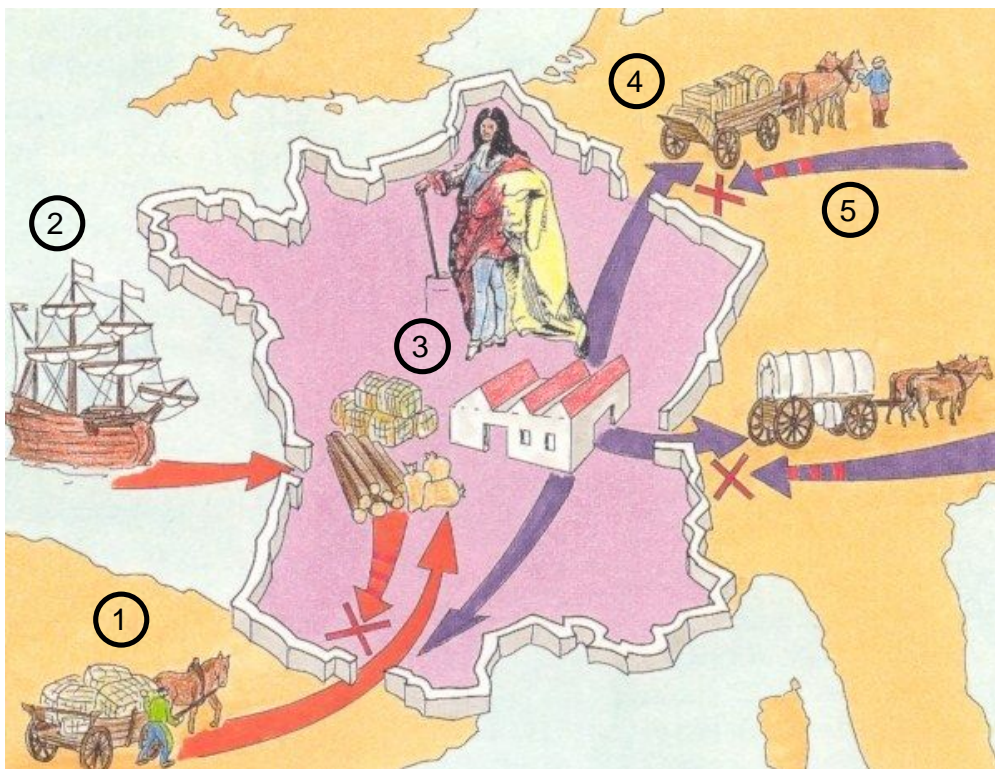
Es sollte möglichst viel Geld nach Frankreich und in die französische Staatskasse fließen, um die steigenden Staatsausgaben für das aufwendige Leben am Hofe des Ludwig XIV., die Rüstungs- und Kriegsausgaben (stehendes Heer) und die Staatsverwaltung zu finanzieren.

Durch gezielte staatliche Eingriffe zur Handels- und Gewerbeförderung auf der Grundlage eines Haushaltsplanes sollte erreicht werden, dass mehr Waren ausgeführt als eingeführt werden. Eine Reihe absolutistischer Herrscher wie z.B. die Medici in der Toskana versprachen sich auch durch die Förderung der Wissenschaft, insbesondere der Naturwissenschaft, positive Impulse für die Wirtschaft.



Jean-Baptiste Colbert
(1619-1683)

Maßnahmen der Handels-, Zoll- und Gewerbepolitik zur Verwirklichung der Ziele:



- ① **Rohstoffe:** Begünstigung der Einfuhr und Beschränkung der Ausfuhr
- ② a) Erwerb von **Kolonien** zur Erweiterung der Rohstoffbasis und Erschließung neuer Absatzmärkte sowie
b) Verbesserung und Sicherung von **Verkehrswegen** (Straßen und Kanäle, Seewege)
- ③ Förderung der Gründung leistungsfähiger **Manufakturen** durch Darlehen, Zuschüsse, Privilegien, Steuervorteile, Befreiung von Zunftzwängen, Anwerbung ausländischer Fachkräfte
- ④ **Exportförderung** durch niedrige oder gar keine Ausfuhrzölle für einheimische Erzeugnisse
- ⑤ **Importbeschränkung** durch hohe Einfuhrzölle auf ausländische Gewerbeerzeugnisse
- ⑥ Beseitigung von Binnezöllen zur Schaffung eines **einheimischen Handelsraumes**



Galilei beobachtet 1583 als 19-jähriger Student die Schwingungen des Kronleuchters im Dom zu Pisa

Gemälde von Luigi Sabatello, Museo Zoologico – La Specola (früher: Museo di Fisica e Scienze Naturali), Florenz (Bild aus: Johannes Hemleben, Galilei, Reinbek bei Hamburg 1969, S.21)

Um so bedeutsamer für die Entwicklung des jungen Physikers wird ein Erlebnis, das er, wahrscheinlich während eines Besuches der Messe, im Dom zu Pisa hat. Sein Blick fällt auf einen sich leise bewegenden Kronleuchter. Was vor ihm Tausende gesehen haben, sieht auch er: die Schwingung des vom Deckengewölbe herabhängenden Leuchters. Er begnügt sich nicht mit dieser Wahrnehmung, seine Gedanken beginnen zu arbeiten und versuchen das Wahrgenommene aufzuhellen. Er bemerkt, daß die Schwingungsausschläge nach und nach geringer werden, die Zeit aber während des Hin- und Herpendelns, gemessen an seinem eigenen Herzschlag, die gleiche bleibt. Auf elementarste Weise hat er so entdeckt, daß ein einfaches Mittel, die Zeit zu messen, durch ein schwingendes Pendel gegeben ist.

Man hat viel Intelligenz darauf verschwendet, zu ergründen, ob Vivianis Bericht über die erste Auffindung der Pendelgesetze auch wirklich der Wahrheit entspricht. Dieses Bemühen, historisch genau zu sein, in allen Ehren - produktiv ist es nicht. Man kann in der Regel nach mehr als dreihundert Jahren nicht den äußeren Verlauf eines geschichtlichen Tatbestandes besser rekonstruieren wollen, als es den Zeitgenossen Galileis gelang. Viviani, dem wir, wie gesagt, die erste Biographie über Galilei verdanken, war sein Schüler und hat seine Aufzeichnungen nach selbstgehörten Erzählungen Galileis vorgenommen. Mag er in seinem Eifer von sich aus manches hinzugefügt haben - der Mythos vom schwingenden Kronleuchter im Dom zu Pisa trifft den Ansatzpunkt der Galileischen Physik besser als alle anderen, «gesicherten» Aussagen. Auch wenn Galilei sich selbst in seinen Werken über diesen Vorgang nicht geäußert hat — Viviani beschreibt mit seinem Bericht treffsicher die Geburtsstunde der modernen Dynamik.

Text und Bild aus: Johannes Hemleben, Galilei, Reinbek bei Hamburg 1969, S.22

● Das Trägheitsmodell von GALILEO GALILEI (etwa 1638)

Siehe dazu auch das **Physik-Arbeitsblatt Nr. 18 / Seite 1 und 1 a)**

Aristoteles' Ansicht, daß schwere Körper schneller fallen als leichte Körper, hatte Galilei mit plausiblen Gedankenexperimenten widerlegt. Wie stand es nun mit der Behauptung, daß zur Aufrechterhaltung einer Bewegung eine ständige Kraft nötig ist?

«Aristoteles schien hier recht zu haben; denn wie die Erfahrung lehrt, kommen tatsächlich alle Körper früher oder später zur Ruhe, wenn sie nicht ständig angetrieben werden. Allerdings ist auch überall die Reibung am Werk. Macht man sie kleiner, so dauert die Bewegung länger an. Eine angestoßene Kugel beispielsweise kommt auf einer waagrechten, rauhen Unterlage rasch zur Ruhe. Auf einer glatten Unterlage rollt sie schon sehr viel weiter. Kein Zweifel also, die Reibung bremst! Was aber macht die Kugel, wenn keine Reibung vorhanden ist? Kommt sie auch zur Ruhe, vielleicht erst nach sehr langem Lauf?

Da wir nicht in der Lage sind, die Reibung völlig zu beseitigen und den Lauf der Kugel beliebig lange zu verfolgen, ist diese Frage durch das Experiment nicht zu beantworten. Dennoch fand Galilei durch eine sehr geistreiche Überlegung die Lösung des Problems.

Galilei bemerkte - man sagt, angeregt durch einen im Dom zu Pisa schaukelnden Kronleuchter -, daß ein Pendel, wenn es nach einer Seite ausgelenkt und losgelassen wird, auf der anderen Seite fast bis zu seiner Anfangshöhe wieder emporsteigt. Daran ändert sich auch nichts, wenn der Pendelfaden beim Hinüberschwingen durch ein Hindernis, etwa durch einen eingeschlagenen Nagel, abgelenkt wird (siehe Bild 1). Offenbar ist es also dem Widerstand der Luft und des Fadens, aber nicht der Bahn des Pendelkörpers zuzuschreiben, daß die Anfangshöhe nicht mehr präzise erreicht wird. Wären diese Widerstände nicht vorhanden, würde das schwingende Pendel seine Anfangshöhe exakt erreichen. Dasselbe wäre auch zu beobachten, wenn der Pendelkörper nicht durch einen Faden, sondern von einer entsprechend gebogenen Rinne reibungsfrei geführt würde (siehe Bild 2).

Da man sich eine derartige Rinne aus sehr vielen schiefen Ebenen zusammengesetzt denken kann, betrachtet Galilei nun einen Körper, welcher auf einer schiefen Ebene herabgleitet und mit der erlangten Endgeschwindigkeit auf einer zweiten schiefen Ebene wieder aufsteigt. Der Körper muß dann, falls von der Reibung abgesehen wird, genau bis zu seiner Anfangshöhe aufsteigen, gleichgültig wie groß die Neigung der schiefen Ebene ist.

Nun denkt sich Galilei die Neigung der zweiten schiefen Ebene kleiner und kleiner gemacht (siehe Bild 3). Stets wird der Körper auf seine alte Höhe hinaufklettern. Die Bahn und die Laufzeit freilich werden dabei länger und länger und die Verzögerung kleiner und kleiner. Hierauf geht Galilei zum Grenzfall über, zur Waagrechten. Wenn sich der Körper konsequent verhält, so muß er jetzt mit konstanter Geschwindigkeit unaufhörlich weiterlaufen, sich also auf geradliniger Bahn gleichförmig dahinbewegen, ganz im Gegensatz zur Behauptung des Aristoteles. Galilei kommt zu der wichtigen Erkenntnis:

Trägheitssatz

Ein Körper, auf den keine Kraft wirkt, verharrt im Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung auf geradliniger Bahn.

Eine schwerelose Flintenkugel würde also im luftleeren Raum geradlinig in Richtung des Flintenlaufes fortfliegen und sich mit konstanter Geschwindigkeit beliebig lange weiterbewegen. Sie benötigt demnach nicht die Luft als antreibendes Mittel, wie Aristoteles glaubte. Ganz im Gegenteil! Die Luft würde die Bewegung allmählich abbremsen.

Aristoteles war bestrebt, die komplizierten Naturerscheinungen, so wie sie vor unseren Sinnen ablaufen, direkt in Gesetze zu fassen. Galilei dagegen untersuchte mit gezielten Experimenten zunächst nur einfache Spezialfälle und tastete sich so allmählich an die niemals beobachtbaren Idealfälle heran. An diesen las er die Gesetze ab und leitete daraus umgekehrt die komplizierten Erscheinungen der beobachtbaren Welt her. Aristoteles' Weg erwies sich als nicht gangbar. Galileis Methode dagegen führte bis zum heutigen Tage zu einer Fülle neuer Erkenntnisse. So wurde er - und nicht Aristoteles - zum Begründer der heutigen Physik.

Die einfachen Spezialfälle sind es also, die untersucht werden müssen. Das ist der tiefere Grund, warum man in der Physik so wirklichkeitsfremde Situationen, wie z. B. das Abgleiten eines Körpers auf der schiefen Ebene unter Vernachlässigung der Reibung oder den freien Fall unter Außerachtlassung des Luftwiderstandes, betrachtet. Es sind dies die einfachsten Elemente, aus denen sich die Erscheinungen der Umwelt zusammensetzen lassen.»

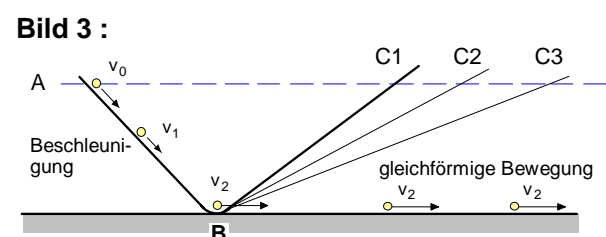
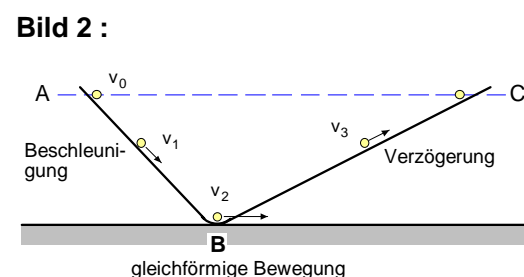
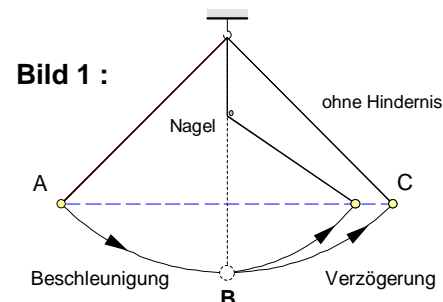
Quelle : R.Sextl u.a., Das mechanische Universum, Frankfurt a.M. 1980, S.17 f.



Galileo Galilei

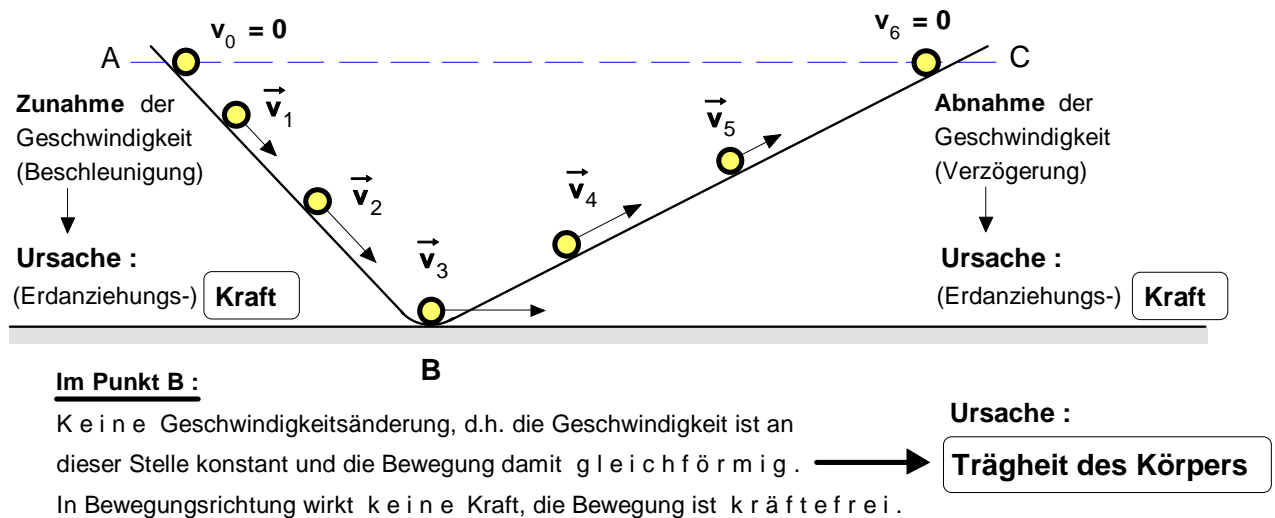
Abb. 1 : Galileo Galilei wurde 1564 in Pisa geboren. Hier studierte Medizin, Mathematik und Physik. Mit 25 Jahren wurde er Mathematikprofessor in Pisa, 1592 ging er an die Universität zu Padua. Dort entwickelte er ein Fernrohr, mit dem er u.a. die Oberflächenstruktur des Mondes und die Monde des Jupiter entdeckte, und bekannte sich erstmals zum Weltbild des Kopernikus, das er fortan vehement verteidigte. Deshalb wurde ihm von der Inquisition der Prozeß gemacht, er mußte abschwören und wurde 1633 zu lebenslanger Haft verurteilt (siehe dazu die Pressemeldung unten). 1642 starb Galilei in seiner Verbannung in Arcetri bei Florenz.

Galilei zur Analogie von Pendelbewegung und Fallbewegung auf einer schiefen Ebene



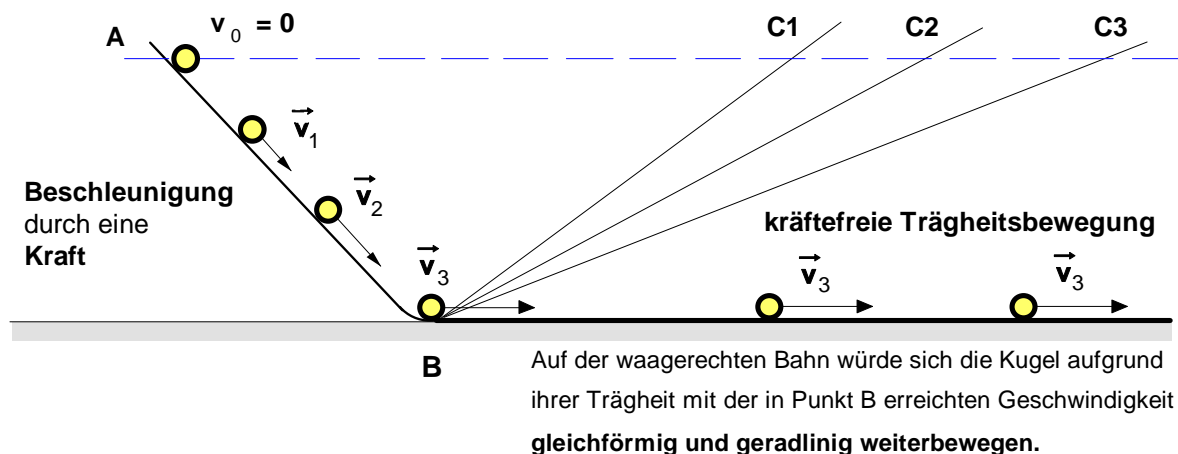
• Einige ergänzende Hinweise zum Trägheitsmodell von Galileo Galilei (etwa 1638)

1. Bewegungsformen einer Kugel auf einer reibungsfreien Kugelrinne (Modell)



2. Reibungsfreie Kugelrinne mit verschiedenen Neigungen der rechten schiefen Ebene

Auch wenn man die Neigung der rechten schiefen Ebene immer kleiner wählt, würde die Kugel stets wieder bis zu ihrer Anfangshöhe aufsteigen, wenn man von der Reibung absieht. Je geringer die rechte Bahn geneigt ist, desto länger werden die Bahn und die Laufzeit der Kugel und desto langsamer nimmt die Geschwindigkeit ab, d.h. die Verzögerung wird kleiner und kleiner. Neigt man die rechte Rinne schließlich so weit, daß sich eine **waagerechte Bahn** ergibt, so wäre die Verzögerung der Kugel unendlich klein, sie würde also keine Geschwindigkeitsänderung mehr erfahren und sich mit der im Punkt B erreichten Geschwindigkeit v_3 **gleichförmig** (d.h. mit konstanter Geschwindigkeit) und **geradlinig** weiterbewegen, ohne je zum Stillstand zu kommen, denn auch in diesem Fall hätte sie das Bestreben, wieder bis zu ihrer Anfangshöhe aufzusteigen. Da sich die Kugel auf der waagerechten Bahn nicht aufgrund einer Kraftwirkung, sondern allein durch ihre Trägheit weiterbewegt, sprechen wir in diesem Fall von einer **kräftefreien Trägheitsbewegung**.



► Aus diesen Überlegungen folgt für den **Begriff der Kraft**:

- Ein Körper, auf den **keine Kraft** wirkt und damit **kräftefrei** ist, verharrt im Zustand der **gleichförmigen geradlinigen Bewegung** oder der **Ruhe**. (Trägheitsprinzip von Newton)
- Wenn sich ein Körper im Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen geradlinigen Bewegung befindet, bedarf es einer **Kraft**, um diesen Zustand zu ändern. Die **Kraft** ist demnach die **Ursache** der **Bewegungsänderung** (Beschleunigung, Verzögerung oder Richtungsänderung) von Körpern.



Zeitgenössische Darstellung des etwa 1591 von Galilei in Pisa vorgeführten Fallrinnen-Experiments

Das Bild ist die Vorlage eines zu Ehren Galileis von G. Bezzuoli (1784 – 1855) gemalten Frescos im Museo Zoologico ("La Specola") von Florenz. aus: R. Sexl u.a., Das mechanische Universum, Frankfurt am Main 1980, S.16. Vgl. auch J.-P. Maury, Galileo Galilei, Ravensburg 1986, S.74

Galileis Beschreibung des Versuchs mit der Fallrinne

Salviati: Ihr stellt in der That, als Mann der Wissenschaft, eine berechtigte Forderung auf, und so muss es geschehen in den Wissensgebieten, in welchen auf natürliche Consequenzen mathematische Beweise angewandt werden; so sieht man es bei Allen, die Perspective, Astronomie, Mechanik, Musik und Anderes betreiben; diese alle erhärten ihre Principien durch Experimente, und diese bilden das Fundament des ganzen späteren Aufbaues: lasst uns es nicht für überflüssig halten, wenn wir mit grosser Ausführlichkeit diesen ersten und fundamentalen Gegenstand behandelt haben, auf welchem das immense Gebiet zahlloser Schlussfolgerungen ruht, von denen ein kleiner Theil von unserem Autor im vorliegenden Buche behandelt wird; genug, dass er den Eingang und die bisher den spekulativen Geistern verschlossene Pforte geöffnet hat. Der Autor hat es nicht unterlassen, Versuche anzustellen, und um mich davon zu überzeugen, dass die gleichförmig beschleunigte Bewegung in oben geschildertem Verhältniss vor sich gehe, bin ich wiederholt in Gemeinschaft mit unserem Autor in folgender Weise vorgegangen:

Auf einem Lineale, oder sagen wir auf einem Holzbrette von 12 Ellen Länge, bei einer halben Elle Breite und drei Zoll Dicke, war auf dieser letzten schmalen Seite eine Rinne von etwas mehr als einem Zoll Breite eingegraben. Dieselbe war sehr gerade gezogen, und um die Fläche recht glatt zu haben, war inwendig ein sehr glattes und reines Pergament aufgeklebt in dieser Rinne liess man eine sehr harte, völlig runde und glattpolirte Messingkugel laufen. Nach Aufstellung des Brettes wurde dasselbe einerseits gehoben, bald eine, bald zwei Ellen hoch; dann liess man die Kugel durch den Kanal fallen und verzeichnete in sogleich zu beschreibender Weise die Fallzeit für die ganze Strecke: häufig wiederholten wir den einzelnen Versuch, zur genaueren Ermittlung der Zeit, und fanden gar keine Unterschiede, auch nicht einmal von einem Zehnthheil eines Pulsschlages. Darauf liessen wir die Kugel nur durch ein Viertel der Strecke laufen, und fanden stets genau die halbe Fallzeit gegen früher. Dann wählten wir andere Strecken, und verglichen die gemessene Fallzeit mit der zuletzt erhaltenen und mit denen von $\frac{2}{3}$ oder $\frac{3}{4}$ oder irgend anderen Bruchtheilen; bei wohl hundertfacher Wiederholung fanden wir stets, dass die Strecken sich verhielten wie die Quadrate der Zeiten: und dieses zwar für jedwede Neigung der Ebene, d.h. des Kanales, in dem die Kugel lief. Hierbei fanden wir ausserdem, dass auch die bei verschiedenen Neigungen beobachteten Fallzeiten sich genau so zu einander verhielten, wie weiter unten unser Autor dasselbe andeutet und beweist. Zur Ausmessung der Zeit stellten wir einen Eimer voll Wasser auf, in dessen Boden ein enger Kanal angebracht war, durch den ein feiner Wasserstrahl sich ergoss, der mit einem kleinen Becher aufgefangen wurde, während einer jeden beobachteten Fallzeit: das dieser Art aufgesammelte Wasser wurde auf einer sehr genauen Waage gewogen; aus den Differenzen der Wägungen erhielten wir die Verhältnisse der Gewichte und die Verhältnisse der Zeiten, und zwar mit solcher Genauigkeit, dass die zahlreichen Beobachtungen niemals merklich (di un notabile momento) von einander abwichen.

Simplicio: Wie gern hätte ich diesen Versuchen beigewohnt; aber da ich von Eurer Sorgfalt und Eurer wahrheitsgetreuen Wiedergabe überzeugt bin, beruhige ich mich und nehme dieselben als völlig sicher und wahr an.

Salviati: Nun, so können wir unsere Lektüre wieder aufnehmen und weiter gehen.

Quelle: Galileo Galilei, Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend, Leyden 1638. In deutscher Übersetzung hrsg. von Arthur v. Oettingen, Nachdruck: Darmstadt 1973, S. 162 f.

Hinweise zu den Rollen von Salviati, Sagredo und Simplicio in der Darstellung Galileis

Salviati, der im Dialog als der überlegene Gesprächsführer in Erscheinung tritt, ist in der Regel auch die Stimme **Galileis** selbst. Er ist der kluge und moderne Wissenschaftler, der unter anderem alle gegen die Erdbe-
wegung geltend gemachten Argumente zu entkräften weiß. Zugleich ist die Wahl des Namens ein Freundesdank
Galileis an seinen intimen **Schüler Filippo Salviati**, geboren am 19. Januar 1582 zu Florenz, der schon in
Padua seine Vorlesungen hörte und wohl durch Galileis Einfluß schon mit 30 Jahren (1612) die ehrenvolle
Ernennung als Mitglied der Accademia dei Lincei in Rom erfuhr. Zum großen Kummer Galileis starb er bereits
1614 auf einer Reise nach Spanien in Barcelona.

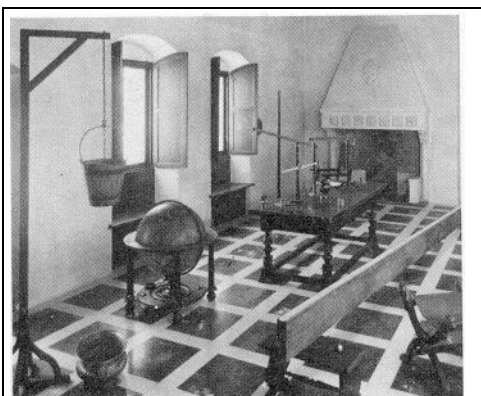
Sagredo nimmt als Dialogpartner die zweite Stelle ein. Durch seine präzisen Fragen und durch gutes Ver-
ständnis der Probleme trägt er wesentlich zum Gelingen der Gespräche bei. Auch er erinnert an einen guten
Freund Galileis, an **Giovanni Francesco Sagredo**, der am 19. Juni 1571 in Venedig geboren wurde und als
Senator in seiner Vaterstadt am 5. März 1620 starb. Mit Sorge hatte er Galilei von Padua scheiden sehen und
ihn frühzeitig vor den Intrigen der Jesuiten gewarnt. Galilei war ihm von Herzen zugetan und hatte durch den
gleichfalls frühen Tod dieses Bundesgenossen im geistigen Kampf einen herben Verlust erlitten.

Simplicio als Vertreter der **Aristoteliker** und Peripatetiker¹⁾ ist eine Symbolfigur, die schon durch den
Namen «der Einfache» oder gar «der Einfältige» ironisch gekennzeichnet ist. Da er der Wortführer für die
Einwendungen gegen die Lehre des Kopernikus ist, sich auch gelegentlich der von den Jesuiten des Collegium
Romanum aufgestellten Thesen bedient und sogar an einer Stelle wörtlich eine Entgegnung von Papst Urban
VIII. vorträgt, ist es nicht verwunderlich, daß Galilei sich durch diesen «Simplicio» zusätzliche Feindschaft
erworben hat. Denn für solche Anspielungen war man in Rom hellhörig, und schließlich sieht sich niemand gerne
selbst in der Rolle einer durch geistige Befangenheit und Dummheit beschränkten, lächerlichen Gestalt.

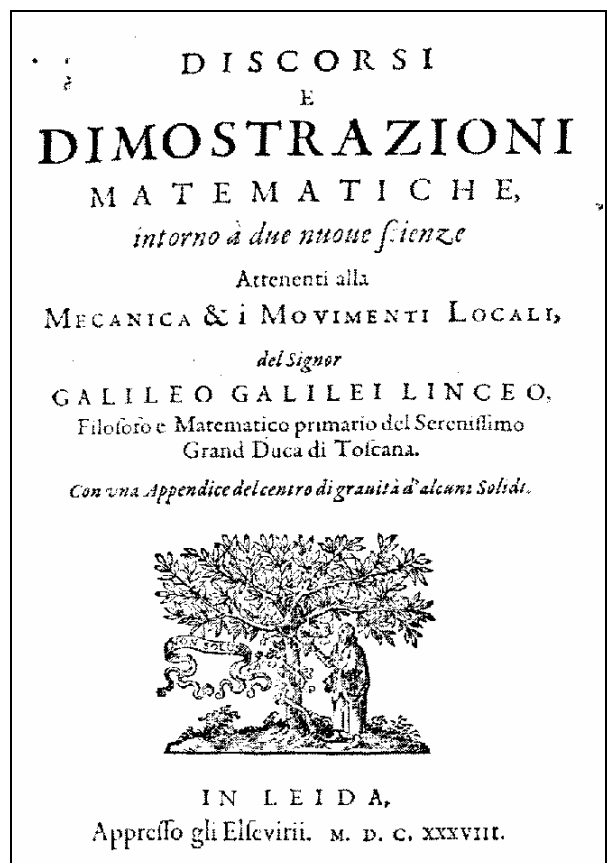
Quelle: J.Hemleben, Galilei, Reinbek bei Hamburg 1981, S. 112

¹⁾ So heißen die Schüler und Anhänger des Aristoteles nach den Wandelgängen [*Peripato*] des Lykeion-Gymnasiums, in denen er zuerst lehrte.

Abb. rechts: Titelblatt des von Galilei während seiner Verbannung
zwischen 1634 bis 1637 in Arcetri verfaßten und 1638 im
holländischen Leyden veröffentlichten Buches "**Unterredungen
und mathematische Demonstrationen über zwei neue
Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend**"
(die sog. "**Discorsi**")



Galileis Arbeitsraum
(Nachbildung im Deutschen Museum in München)



- Nach **Aristoteles** besitzt jeder "schwere Körper", wie beispielsweise ein Stein, den man vom Boden aufhebt und dann wieder losläßt, die Eigenschaft, mit einer **bestimmten**, im gleichsam "von Natur aus" eingepprägten **Geschwindigkeit** zur Erde zu fallen, denn die Erde sei der "natürliche Ort" dieser Körper. Bei Körpern mit größerem Gewicht sei dieses Bestreben von "Natur aus" stärker ausgeprägt als bei leichteren. Daher fallen nach Aristoteles schwerere Körper auch rascher zur Erde als leichtere, denn ihnen sei von "Natur aus" nur eine geringere Fallgeschwindigkeit eingepragt. Diese Auffassung scheint mit unseren Erfahrungen weitgehend übereinzustimmen. So fällt gemäß unseren Alltagswahrnehmungen z.B. eine Bleikugel schneller zur Erde als eine Flaumfeder.

- Zu dieser Frage, **ob schwere Körper schneller zur Erde fallen als leichte**, zunächst **zwei Lehrbuchtexte** :

1. In einem weit verbreiteten Hochschullehrbuch der Experimentalphysik wird dazu festgestellt :

»Zwei gleich große Kugeln aus Aluminium und Blei, die also sehr verschiedenes Gewicht haben, lassen wir gleichzeitig aus derselben Höhe zu Boden fallen. Wir stellen fest, daß sie zur gleichen Zeit am Boden aufschlagen, wie bereits **Galilei** 1590 durch Fallversuche am schiefen Turm von Pisa festgestellt hat.« Nach einer kurzen Beschreibung eines weiteren Versuchs, demzufolge eine Flaumfeder und eine Bleikugel, die man in einem luftleer gepumpten Glasrohr gleichzeitig fallen läßt, »im gleichen Augenblick auf den Boden des Rohres aufschlagen«, kommt der Autor zum Schluß: »Wir dürfen also das **Erfahrungsgesetz** aussprechen: **Im luftleeren Raum fallen alle Körper gleich schnell.**«

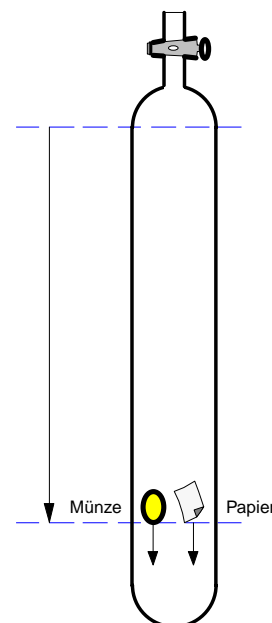
Quelle: L.Bergmann - Cl.Schaefer, Lehrbuch der Experimentalphysik, Band I, Berlin 1961, S. 33 f.

2. In einem Physikbuch für die Oberstufe heißt es dazu:

»Galilei habe - so wird berichtet - den schiefen Turm von Pisa bestiegen und von oben verschieden schwere Körper gleichzeitig hinabgeworfen. Wengleich dies wohl eine Legende sein dürfte, so steht doch fest, daß er Fallversuche tatsächlich durchgeführt hat. Er beobachtete dabei, daß die Körper trotz ihres unterschiedlichen Gewichtes nahezu gleichzeitig den Boden erreichten. ...

Man kann **Galileis Versuch (I)** leicht wiederholen. Man nehme eine Münze und ein kleines Stück Papier und lasse sie gleichzeitig aus der gleichen Höhe zu Boden fallen. Die Münze wird schnell unten sein, während das Stück Papier sich sehr viel länger in der Luft herumtreibt. Zerknüllt man aber das Papier und rollt es zu einem kleinen Kügelchen zusammen, dann wird es fast so schnell fallen wie die Münze. Läßt man die Fallbewegung schließlich in einem **luftleer gepumpten Glasrohr** (siehe Abb. rechts) vor sich gehen, so wird man feststellen, daß die Münze und das Stück Papier mit genau der gleichen Geschwindigkeit zu Boden fallen.«

Quelle: R.Sexl u.a., Das mechanische Universum, Eine Einführung in die Physik, Band 1, Frankfurt am Main 1980, S. 15



- **Zwei kurze historische Zwischenbemerkungen:**

1. **Galilei** ist am 8. Januar **1642** in Arcetri **gestorben**.
2. Die **Vakuumpumpe** wurde **1650** von dem Magdeburger Bürgermeister Otto von Guericke erfunden.

- **Galileis Begründung des "freien Falls" im Vakuum** als allgemeine Form der Fallbewegung

Salviati: ... Nachdem ich mich von der Unwahrheit dessen überzeugt hatte, daß ein und derselbe Körper in verschiedenen widerstehenden Mitteln Geschwindigkeiten erlange, die den Widerständen umgekehrt proportional seien, sowie von der Unwahrheit dessen, daß Körper von verschiedenem Gewicht in ein und demselben Mittel diesen Gewichten proportionale Geschwindigkeiten erlangen ... , kombinierte ich beide Erscheinungen, indem ich Körper verschiedenen Gewichtes in verschieden widerstehende Medien brachte, und fand, daß die erzeugten Geschwindigkeiten um so mehr von einander abwichen, als der Widerstand des Mediums größer war, und zwar in solchem Betrage, daß zwei Körper, die in der Luft nur sehr wenig verschieden fallen, im Wasser um's Zehnfache differieren können; auch kommt es vor, daß ein Körper in der Luft fällt, im Wasser dagegen schwebt, d.h. sich gar nicht bewegt, ja sogar emporsteigt. ... Angesichts dessen glaube ich, daß wenn man den Widerstand der Luft ganz aufhobe, alle Körper ganz gleich schnell fallen würden.

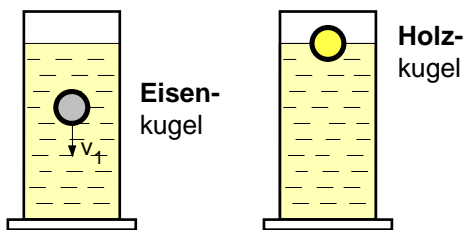
Simplicio: Das ist eine gewagte Behauptung, Herr Salviati. Ich meinerseits werde nie glauben, daß in ein und demselben Vakuum, wenn es in demselben eine Bewegung gibt, eine Wollflocke ebenso schnell wie Blei fallen werde.

Salviati: Nur gemacht, Herr Simplicio, Euer Bedenken ist nicht so begründet, und ich bin nicht um Antwort in Verlegenheit. Zu meiner Rechtfertigung und zu Eurer Belehrung hört mich an : Wir wollen die Bewegung der verschiedensten Körper in einem nicht widerstehenden Mittel untersuchen, **so daß alle Verschiedenheit auf die fallenden Körper zurückzuführen wäre.** Und da nur ein Raum, der völlig luftleer ist und auch keine andere Materie enthält, sei dieselbe noch so fein und nachgiebig, geeignet erscheint das zu zeigen, was wir suchen, und da wir solch einen Raum **nicht** herstellen können, so wollen wir prüfen, was in feineren Medien und weniger widerstehenden geschieht im Gegensatz zu anderen weniger feinen und stärker widerstehenden. Finden wir tatsächlich, daß verschiedene Körper **immer weniger verschieden sich bewegen**, je nachgiebiger die Medien sind, und dass schließlich, trotz sehr großer Verschiedenheit der fallenden Körper im allerfeinsten Medium der allerkleinste Unterschied verbleibt, ja eine kaum noch wahrnehmbare Differenz, dann, scheint mir, dürfen wir mit großer Wahrscheinlichkeit annehmen, daß im Vakuum völlige Gleichheit eintreten werde.

Quelle: Galileo Galilei, Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend, Leyden 1638. In deutscher Übersetzung hrsg. von Arthur v. Oettingen, Nachdruck: Darmstadt 1973, S. 62 und 65 f.

- Relativ willkürlich gewähltes **Zahlenbeispiel** zur **Verdeutlichung des Gedankenganges** von **Galilei**

1. Wasser als Medium

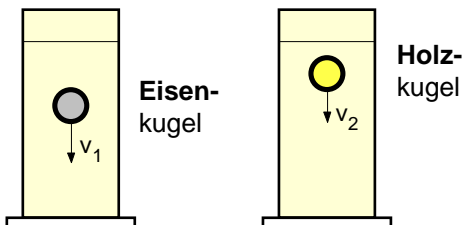


mittlere Fallgeschwindigkeit:

$$v_1 = 2 \text{ m/s} \quad v_2 = 0 \text{ m/s} \quad \Delta v = 2 \text{ m/s}$$

Geschwindigkeitsunterschied :

2. Luft als Medium



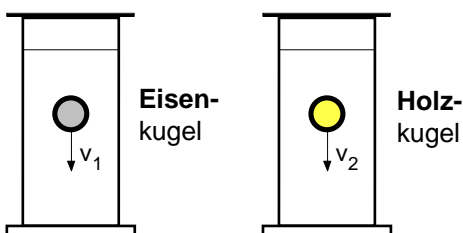
mittlere Fallgeschwindigkeit:

$$v_1 = 8 \text{ m/s} \quad v_2 = 7,5 \text{ m/s} \quad \Delta v = 0,5 \text{ m/s}$$

Geschwindigkeitsunterschied :

Fazit von Galilei:

3. Vakuum



mittlere Fallgeschwindigkeit:

$$v_1 = 8,2 \text{ m/s} \quad v_2 = 8,2 \text{ m/s} \quad \Delta v = 0 \text{ m/s}$$

Geschwindigkeitsunterschied :

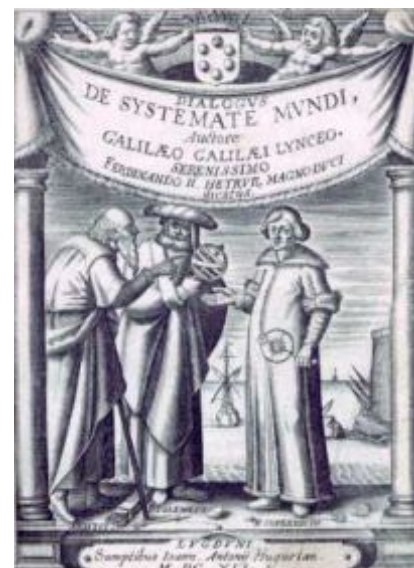
Je dünner der Stoff (das „Medium“) ist, in dem die verschieden schweren Körper fallen, desto geringer sind die Geschwindigkeitsunterschiede.

Im völlig stofflosen, also im **leeren Raum** (Vakuum), gibt es überhaupt **keinen Unterschied** mehr, d.h. dort **fallen alle Körper gleich schnell.**

Anmerkung: Galilei spricht von der „Geschwindigkeit“ der fallenden Körper. Gemeint ist aber deren Beschleunigung. Denn was im stoffgefüllten unterschiedlich ist bzw. im Vakuum gleich ist, ist **nicht** die „Geschwindigkeit“, sondern die **Beschleunigung**, mit der die verschiedenen Körper fallen.

Zur Chronologie der Ereignisse*

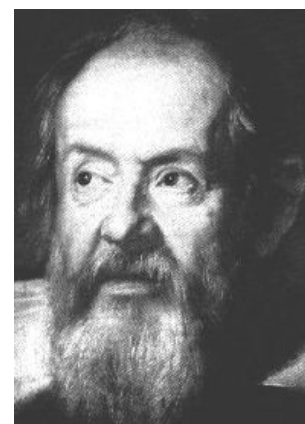
- 21. Februar 1632** Der Druck des Buches »Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, das ptolemäische und das kopernikanische« ist abgeschlossen.
- 25. Juli 1632** Pater Riccardi schreibt dem Inquisitor von Florenz, er solle die Verbreitung des Dialogs verhindern.
- 23. September 1632** Papst Urban VIII. befiehlt Galilei, er solle sich innerhalb des Oktobers in Rom einfinden.
- 17. Dezember 1632** Galilei erhält eine Bescheinigung, unterschrieben von drei Ärzten, daß er sich »wegen offensichtlich drohender Lebensgefahr« nicht auf die Reise begeben könne.
- 30. Dezember 1632** Der Papst droht Galilei, falls er sich nicht unverzüglich nach Rom begeben werde, werde er ihn von einem Kommissar, begleitet von Ärzten, abholen und wenn nötig in Ketten ins Gefängnis der Heiligen Uffizien bringen lassen.
- 20. Januar 1633** Galilei macht sich endlich auf die Reise und kommt am Abend des 13. Februars - nach einer Quarantäne wegen der wütenden Pest - in Rom an. Es wird ihm erlaubt, sich in der Botschaft der Toskana anstatt in den Kerkern der Heiligen Uffizien aufzuhalten.
- 12. April 1633** Er stellt sich den Heiligen Uffizien und wird zum ersten Mal von Kardinal Bellarmin verhört.
- 30. April 1633** Er gesteht die sogenannten »Fehler« und erklärt sich bereit, dem Dialog zwei weitere Tage anzufügen (dazu wird es allerdings nie kommen), in denen er die kopernikanische Lehre widerlegt.
- 21. Juni 1633** Erneut stellt er sich den Behörden der Heiligen Uffizien und wird verhört. Diesmal wird er festgehalten.
- 22. Juni 1633** Er wird in den grossen Saal der Dominikanerkirche Santa Maria sopra Minerva geführt, wo ihm das formelle Urteil (Kerkerhaft und Verbot des Dialogs) vorgetragen wird. Daraufhin schwört Galilei ab. Er bleibt zunächst in Arrest.
- 30. Juni 1633** Der Papst erlaubt Galilei sich in das Erzbistum Siena zu begeben. Dorthin reist er am 6. Juli 1633 und lebt unter strengem Hausarrest für ein halbes Jahr als »Gast« im Palais des ihm wohlgesonnenen Erzbischofs Ascanio Piccolomini.
- 1. Dezember 1633** Der Papst erlaubt Galilei, den lebenslänglichen Hausarrest in seinem eigenem Landhaus in Arcetri bei Florenz zu verbringen.



Titelblatt der Erstausgabe des »Dialogs über die beiden Weltsysteme« von 1632 – Das Titelblatt zeigt links Aristoteles, in der Mitte Ptolemäus und rechts Kopernikus, beide mit den unterschiedlichen Weltmodellen in den Händen.



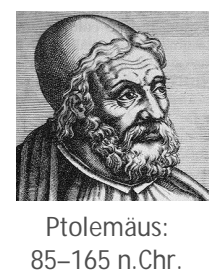
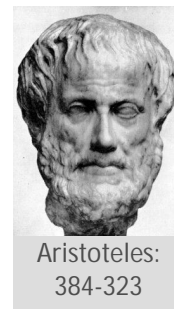
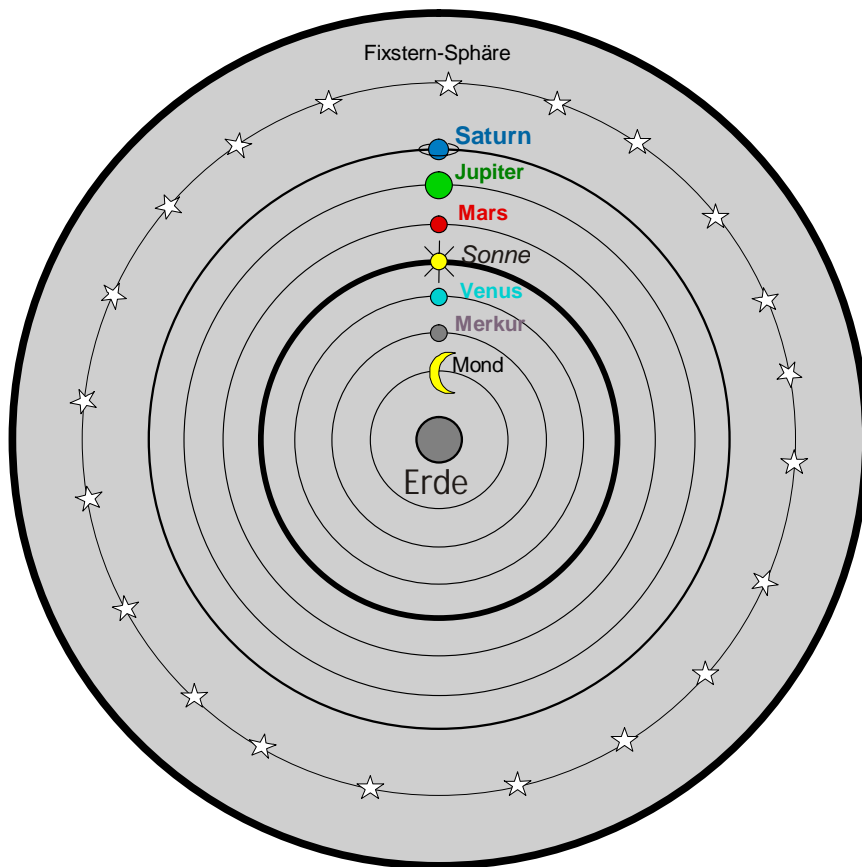
Kardinal Robert Bellarmin, der Gegenspieler von Galilei vor dem Inquisitionsgericht



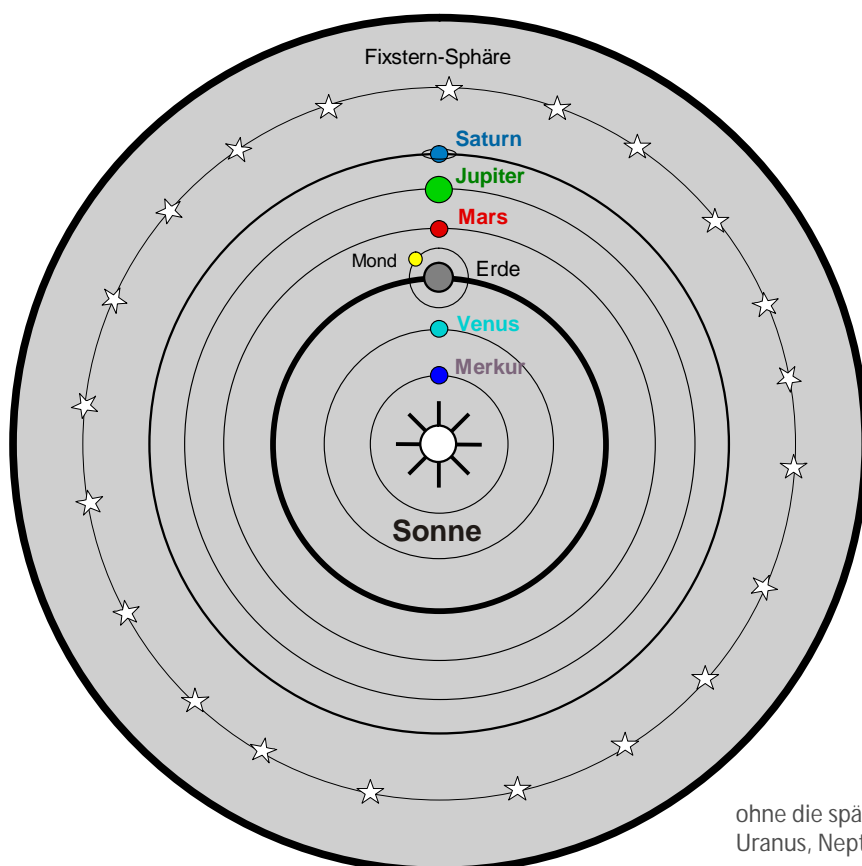
Bildnis des siebzigjährigen Galilei, 1635 gemalt von Justus Sustermans

*Quelle (von einigen wenigen redaktionellen Änderungen abgesehen): <http://www.library.ethz.ch/exhibit/galilei/galileo8.html>

Geozentrisches Weltbild: Die Erde ist der ruhende Mittelpunkt der Welt.

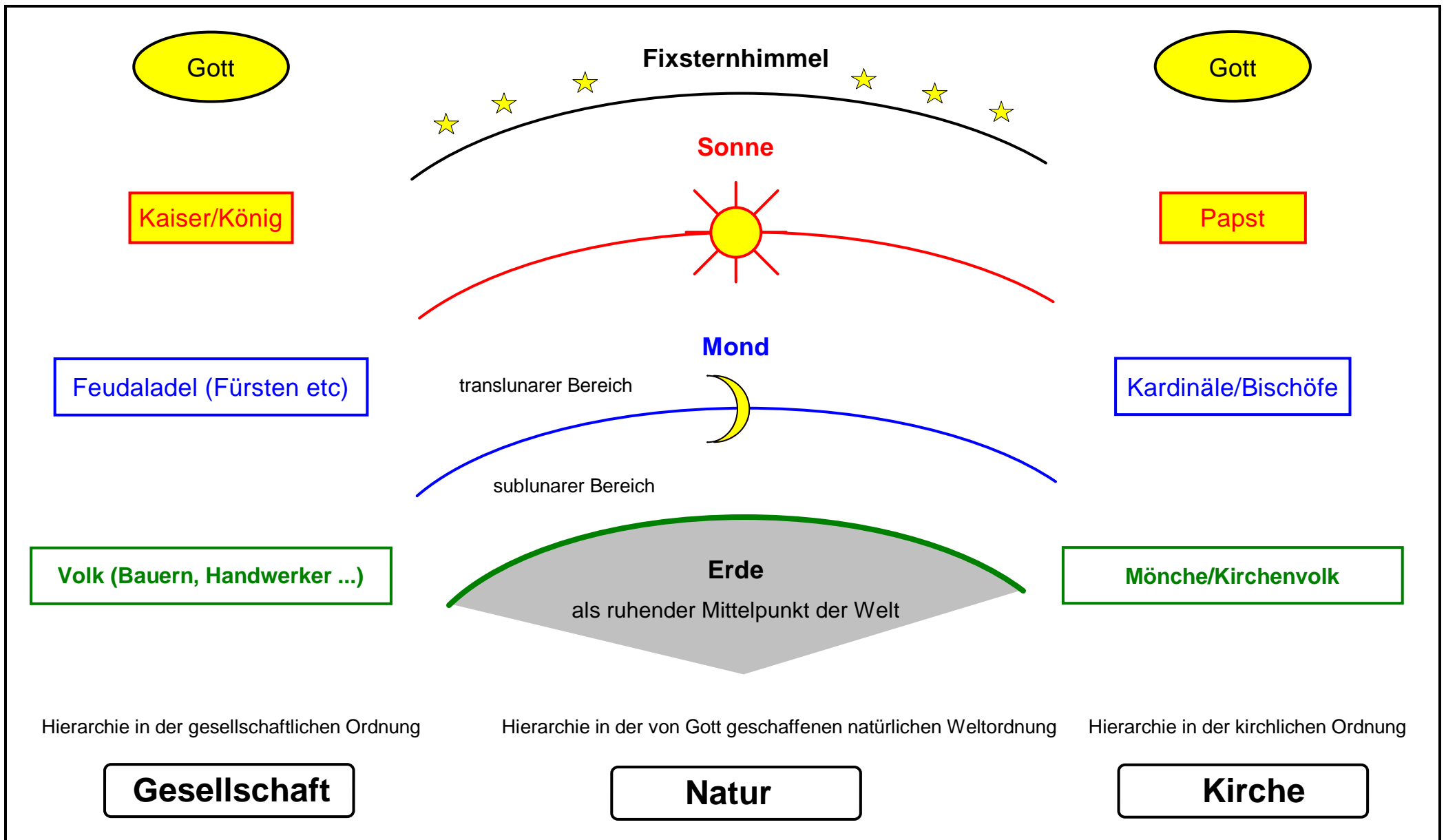


Heliozentrisches Weltbild: Die Sonne ist der ruhende Mittelpunkt der Welt.



ohne die später entdeckten
Uranus, Neptun und Pluto

Zur ideologisch-politischen Funktion des geozentrischen Weltbildes



Zeitgenössische Darstellung zur gesellschaftlichen Hierarchie in der mittelalterlichen Ständegesellschaft



Die Ständeordnung in der 1488 erschienenen *Pronostacio* des Astrologen Johannes Lichtenberger: Jesus Christus weist den drei Ständen ihre Aufgaben zu: *Tu supplex ora* („du bete demütig!“) zum Klerus, *Tu protege* („du beschütze!“) zu Kaiser und Fürsten, *Tuque labora* („und du arbeite!“) zu den Bauern

Quelle (alle Graphiken): Wikipedia: Ständeordnung <http://de.wikipedia.org/wiki/St%C3%A4ndeordnung>



Darstellung der drei Stände in der handschriftlichen Chronik der Herrschaft Grüningen von 1610, verfasst vom Dättliker Pfarrer Caspar Schwerter. Symbolisch sind der «Lehrstand», der «Wehrstand» und der «Nährstand» in den Figuren eines Gelehrten, des Kaisers und eines Bauern dargestellt. Der «Gelehrte» betet für alle, der «Kaiser» streitet für alle, der «Bauer» ernährt alle.

Abschwörungsurkunde von Galilei vom 22.Juni 1633

Ich, Galileo, Sohn des Vincenzo Galilei aus Florenz, siebenzig Jahre alt, stand persönlich vor Gericht und ich knie vor Euch Eminenzen, die Ihr in der ganzen Christenheit die Inquisitoren gegen die ketzerische Verworfenheit seid. Ich habe vor mir die heiligen Evangelien, berühre sie mit der Hand und schwöre, daß ich immer geglaubt habe, auch jetzt glaube und mit Gottes Hilfe auch in Zukunft glauben werde, alles was die heilige katholische und apostolische Kirche für wahr hält, predigt und lehrt. Es war mir von diesem Heiligen Offizium von Rechts wegen die Vorschrift auferlegt worden, daß ich völlig die falsche Meinung aufgeben müsse, daß die Sonne der Mittelpunkt der Welt ist, und daß sie sich nicht bewegt, und daß Erde nicht der Mittelpunkt der Welt ist, und daß sie sich bewegt. Es war mir weiter befohlen worden, daß ich diese falsche Lehre nie vertreten dürfe, sie nicht verteidigen dürfe und daß ich sie in keiner Weise lehren dürfe, weder in Wort noch in Schrift. Es war mir auch erklärt worden, daß jene Lehre der Heiligen Schrift zuwider sei. Trotzdem habe ich ein Buch geschrieben und zum Druck gebracht, in dem ich jene bereits verurteilte Lehre behandle und in dem ich mit viel Geschick Gründe zugunsten derselben beibringe, ohne jedoch irgendeiner Entscheidung zu gelangen. Daher bin ich der Ketzerei hohem Maße verdächtig befunden worden, darin bestehend, daß ich die Meinung vertreten und geglaubt habe, daß die Sonne Mittelpunkt der Welt und unbeweglich ist, und daß die Erde nicht Mittelpunkt ist und sich bewegt. Ich möchte mich nun vor Euren Eminenzen und vor jedem gläubigen Christen von jenem schweren Verdacht, den ich gerade näher bezeichnete, reinigen. Daher schwöre ich mit aufrichtigem Sinn und ohne Heuchelei ab, erwünsche und verfluche jene Irrtümer und Ketzereien und darüber hinaus ganz allgemein jeden irgendwie gearteten Irrtum, Ketzerei oder Sektiererei, die der Heiligen Kirche entgegen ist. Ich schwöre, daß ich in Zukunft weder in Wort noch in Schrift etwas verkünden werde, das mich in einen solchen Verdacht bringen könnte. Wenn ich aber einen Ketzer kenne, oder jemanden der Ketzerei verdächtig weiß, so werde ich ihn diesem Heiligen Offizium anzeigen oder ihn dem Inquisitor oder der kirchlichen Behörde meines Aufenthaltsortes angeben.

Ich schwöre auch, daß ich alle Bußen, die mir das Heilige Offizium auferlegt hat oder noch auferlegen wird, genauestens beachte und erfüllen werde. Sollte ich irgendeinem meiner Versprechen und Eide, was Gott verhüten möge, zuwiderhandeln, so unterwerfe ich mich allen Strafen und Züchtigungen, die das kanonische Recht und andere allgemeine und besondere einschlägige Bestimmungen gegen solche Sünder festsetzen und verkünden. Daß Gott mir helfe und seine heiligen Evangelien, die ich mit den Händen berühre.

Ich, Galileo Galilei, habe abgeschworen, geschworen, versprochen und mich verpflichtet, wie ich eben näher ausführte. Zum Zeugnis der Wahrheit habe ich diese Urkunde meines Abschwörens eigenhändig unterschrieben und sie Wort für Wort verlesen, in Rom im Kloster der Minerva am 22. Juni 1633. Ich, Galileo Galilei, habe abgeschworen und eigenhändig unterzeichnet.

Quelle: J.Hemleben, Galilei, Reinbek bei Hamburg 1969, S.7 f.

Das Urteil gegen Galilei vom 22.Juni 1633

Sie sind verdächtig, für wahr gehalten und geglaubt zu haben, daß die Sonne der Mittelpunkt der Welt ist, und daß sie sich nicht von Ost nach West bewegt, und daß die Erde sich bewegt und nicht der Mittelpunkt der Welt ist. Sie sind weiter verdächtig, zu meinen, daß man eine Meinung vertreten und als wahrscheinlich verteidigen dürfe, nachdem erklärt und festgestellt ist, daß sie der Heiligen Schrift zuwider ist. Infolgedessen sind gegen Sie alle die Verurteilungen und Strafen verwirkt, die das kanonische Recht und die anderen in Betracht kommenden allgemeinen und besonderen Vorschriften gegen solche Verbrecher vorschreiben und feststellen. Wir wollen Sie davon befreien, sofern Sie vorerst mit reinem Herzen und ungeheuchelt vor uns abschwören und jene Irrtümer und Ketzereien erwünschen und verfluchen, ebenso wie jeden anderen Irrtum und jede andere Ketzerei gegen die katholische apostolische Kirche in einer von uns vorzuschreibenden Art und Weise.

Damit aber Ihr schwerer Irrtum und Ihr schädlicher Fehltritt nicht gänzlich unbestraft bleiben und damit Sie künftig vorsichtiger sind und als abschreckendes Beispiel für andere, die ähnliche Verbrechen im Sinn haben, so verordnen wir durch öffentliches Edikt, daß der *Dialog* des Galilei verboten wird.

Sie verurteilen wir zu förmlicher Haft in diesem Heiligen Offizium nach unserem Gutdünken. Als heilsame Buße legen wir Ihnen auf, daß Sie drei Jahre lang wöchentlich einmal die sieben Bußpsalmen sprechen. Wir behalten uns das Recht vor, im ganzen oder im einzelnen die gegen Sie festgesetzten Strafen und Bußen zu verschärfen, zu verändern oder auch zu erleichtern.

Quelle: J.Hemleben, Galilei, Reinbek bei Hamburg 1969, S.131

Wird Galilei rehabilitiert?

Papst wünscht Rücknahme des kirchlichen Fehlurteils

VATIKANSTADT (ap). Der römisch-katholischen Kirche ist offenbar daran gelegen, den vor fast 350 Jahren wegen seiner modernen astronomischen Theorien als Ketzer verurteilten Galileo Galilei nachträglich Gerechtigkeit widerfahren zu lassen. Wie aus dem vatikanischen Sekretariat zu hören ist, soll der Fall Galilei mit größter Objektivität noch einmal aufgerollt werden. Dies geschehe auf ausdrücklichen Wunsch Papst Johannes Pauls II.

Bereits im vorigen Jahr hatte der Papst die Verurteilung des italienischen Naturwissenschaftlers, Mathematikers und Philosophen vom 22. Juni 1633 ein Fehlurteil genannt. Bis heute ist der Vorwurf der katholischen Kirche offiziell nicht zurückgenommen, Galilei habe das damals geltende ptolemäische Weltbild erschüttern wollen, demzufolge die Erde feststehender Mittelpunkt der Welt sei, um den sich die anderen Himmelskörper drehten.

Galilei hatte sich in einem Buch als Anhänger des Astronomen Kopernikus bekannt, der herausgefunden hatte, daß sich die Erde in Wirklichkeit mit ihren Nachbarplaneten um die Sonne dreht. "Und sie bewegt sich doch", soll Galilei gesagt haben, nachdem er vor dem Gericht seinen "ketzerischen Theorien" abschwören mußte und in seinem Landhaus bei Florenz unter lebenslangen Hausarrest gesetzt wurde.

Darmstädter Echo vom 23.10.1980

Die Erde darf um die Sonne kreisen

Papst Johannes II. rehabilitiert Galilei - Als Ketzer verurteilt

ROM (ap). Fast 360 Jahre nach der Verurteilung durch die Inquisition ist der italienische Physiker und Mathematiker Galileo Galilei von der katholischen Kirche offiziell rehabilitiert worden. Papst Johannes Paul II. bekannte am Samstag vor Mitgliedern der vatikanischen Akademie der Wissenschaften, daß die Kirche geirrt habe, als sie Galilei am 22. Juni 1633 wegen seiner Lehre verurteilte, wonach die Erde um die Sonne kreise und nicht umgekehrt, wie nach damaliger offizieller Kirchenlehre.

Galilei hatte seiner der Lehre des Kopernikus entnommenen These abschwören müssen und war zulebenslanger Haft verurteilt wor-

den. Sie wurde später in Hausarrest umgewandelt.

Die Erklärung des Papstes ist das Ergebnis dreizehnjähriger Beratungen und Untersuchungen einer von Johannes Paul ernannten Kommission. Die Verurteilung Galileis sei Ergebnis eines "tragischen gegenseitigen Nichtverstehens" und sei in der Folgezeit zu einem Symbol der unterstellten Ablehnung des wissenschaftlichen Fortschritts durch die Kirche geworden, sagte der Pontifex maximus in seiner Rede in der Sala rega des Apostolischen Palastes.

Die Theologen der damaligen Zeit hätten in ihrer Annahme geirrt, daß der Wortsinn der

Heiligen Schrift den physischen Zustand der Welt beschreibe, sagte Johannes Paul weiter. Der Fall Galilei sei sogar ein Beispiel für die Vereinbarkeit von Wissenschaft und Religion. Man habe damals nur nicht erkannt, daß es "zwei Reiche des Wissens gibt: eins, dessen Quelle die Offenbarung ist und eins, welches der Verstand durch eigene Kraft erkennen kann".

Der Papst mahnte die Wissenschaftler besonders in Hinblick auf Biologie und Biogenetik, bei ihrer Forschung die spirituelle Seite des Menschseins nicht zu vergessen.

Darmstädter Echo vom 2.11.1992



Darmstädter Echo vom 2.11.1992