

## Vorbemerkung

zum historischen Kontext der von MAX VON LAUE am 6. März 1938 verfassten Denkschrift<sup>1</sup> anlässlich des 300. Jahrestag der Erstausgabe der *Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend (Discorsi)* von GALILEO GALILEI.

Auf der Rückreise nach Europa gab ALBERT EINSTEIN nach einem Studienaufenthalt in den USA (Pasedena) am 10. März 1933 bekannt, dass er nicht nach Deutschland zurückkehren werde und erklärte einige Tage später (am 28. März) seinen Austritt aus der Preußischen Akademie der Wissenschaften. Trotz aller Widerstände und nationalsozialistischen Anfeindungen ist EINSTEIN aus dem Kreis der Akademie »nur einer wahrhaft treu geblieben: sein Freund und Stellvertreter MAX VON LAUE. Dieser hat sich nicht entmutigen lassen, auch dadurch nicht, dass ihm die Nazis die Nachfolge auf dem Akademieposten von ALBERT EINSTEIN verweigerten.«<sup>2</sup>

Selbst nach der in alle gesellschaftliche Lebensbereiche tief eindringenden Maßnahmen zur Konsolidierung der Nazi-Herrschaft in den Jahren nach der sog. »Machtergreifung« 1933 hat MAX V. LAUE ohne wenn und aber für EINSTEIN Partei ergriffen, trotz rigoroser Ausschaltung politischer Gegner und der brutalen Verfolgung Andersdenkender durch die Nazis. Er verglich in seiner Eröffnungsansprache auf dem 9. Physiker- und Mathematikertag im September 1933 öffentlich den Kampf ALBERT EINSTEINS zur Verteidigung der von ihm begründeten Relativitätstheorie – vor allem gegen die Angriffe der NS-Protagonisten der sog. „Deutschen Physik“, wie PHILIPP LENARD und JOHANNES STARK – mit dem Kampf GALILEO GALILEIS gegen dessen übermächtige Gegner in Kirche und Gesellschaft. So hat V. LAUE in seiner Rede die »Inquisition Galileis wegen seines Eintretens für das kopernikanische Sonnensystem und die Behandlung der Relativitätstheorie Einsteins – gemeint war Einstein selbst – in Parallele zueinander gestellt.«<sup>3</sup> Auch in den folgenden Jahren hat sich MAX V. LAUE selbst durch die sich verschärfende Hetze der Nazis gegen EINSTEIN und weitere jüdische Wissenschaftler und schließlich auch gegen ihn selbst<sup>4</sup> nicht einschüchtern lassen in seinem unermüdlichen Bestreben, EINSTEIN und dessen Theorie zu verteidigen. Er »wagte zu widersprechen, und zu verteidigen den Wissenschaftler und Menschen (Albert Einstein) und mit ihm die Freiheit der Wissenschaft.«<sup>5</sup> Von daher ist es sicherlich nicht nur wegen des Jahrestages kein Zufall, dass sich MAX V. LAUE in der Zeit sich zunehmend verschärfender Nazipropaganda gegen Andersdenkende am 6. März 1938 veranlasst sah, eine Denkschrift zum 300. Jahrestag des Erscheinens von GALILEIS *Discorsi* zu verfassen. So betont VON LAUE den bei GALILEI durch »eigenes Denken« bewirkten »Wahrheitsdrang« und die daraus resultierende »besondere Feindschaft und ... Verfolgungen der Verteidiger des Alten«<sup>6</sup>.

Die Denkschrift von MAX VON LAUE ist am 4. März 1938 im Heft 9 des 26. Jahrgangs der Zeitschrift »Die Naturwissenschaften« erschienen. Der Gründer und Herausgeber dieser Zeitschrift war Dr. ARNOLD BERLINER, ein »treuer Freund ... der sich 1942 durch Selbstmord den Judenverfolgungen entzog.«<sup>7</sup> Seinem Andenken hat VON LAUE 1947 ein »Büchlein« über die »Geschichte der Physik«<sup>8</sup> gewidmet. Der Aufsatz MAX VON LAUES wird wegen seiner grundlegenden didaktischen Bedeutung für die unterrichtliche Anwendung der Inhalte von Galileis *Discorsi* und der kommerziellen Verbreitung teilweise fehlerhafter Abschriften dieser Schrift VON LAUES im Folgenden in vollem Wortlaut wiedergegeben.

Jochen Sicars (20. Februar 2023)

---

<sup>1</sup> Laue, Max von: Zum dreihundertsten Geburtstag des ersten Lehrbuches der Physik, Berlin 6. März 1938, in: Die Naturwissenschaften, hrsg. v. Arnold Berliner, 26. Jahrgang, Heft 9, 4. März 1938 (Verlag von Julius Springer), S. 129-135. Aktuell online bei Springer Jahrgang 26, Heft 9: <https://link.springer.com/journal/114/volumes-and-issues/26-9> bzw. <https://doi.org/10.1007/BF01772794>. Fehlerbehafteter (!) Nachdruck ohne Quellenangabe: Laue, Max von: Zum dreihundertsten Geburtstag des ersten Lehrbuchs der Physik in: Galileo Galilei: Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, Ostwald's Klassiker der exakten Naturwissenschaften, Reprint der Bände 11, 24 und 25, Vorwort von Jürgen Hamel, Haan-Gruiten 2007 (Europa-Lehrmittel), S. XXXIX – XLV.

<sup>2</sup> Albert Einstein in Berlin 1913-1933. Teil I. Berlin 1979, S. 269. Zit nach Grundmann, Siegfried: Einsteins Akte, Berlin 2004<sup>2</sup> (Springer-Verlag), S. 448.

<sup>3</sup> ebenda.

<sup>4</sup> So hat Philipp Lenard, einer der Hauptvertreter der sog. »Deutschen Physik«, in einem denunziatorischen Schreiben an das Reichspropagandaministerium vom 8. Oktober 1933 den Einfluss der »Führer des Einstein-Klüngels (v. Laue, Heisenberg u.s.w.)« beklagt. ebenda, S. 438. In seiner Hetzschrift »Die weißen Juden« beschimpfte Johannes Stark 1937 namentlich Max von Laue als »weißen Juden«. ebenda, S. 483. Bereits 1933 beklagte er, selbst »in den Nazis schlechte Bundesgenossen im Kampf um die Durchsetzung der „Deutschen Physik“ gefunden zu haben.«, ebenda S. 485.

<sup>5</sup> Grundmann, ebenda, S. 449. Vgl. auch ebenda, S. 485 und 486.

<sup>6</sup> Laue (1938), a.a.O., S 135. Vorher zitiert v. Laue (Seite 134) Galilei: Das „Verlangen alt gewordene Irrtümer lieber aufrechtzuerhalten ... verführt die Leute oft, gegen vollkommen von ihnen selbst erkannte Wahrheiten zu schreiben, bloß um die Meinung der großen und wenig intelligenten Menge gegen das Ansehen der anderen aufzustacheln.“ (Galilei, a.a.O., S. 154 [17].)

<sup>7</sup> Laue, Max von: Geschichte der Physik, Frankfurt/Main 1959<sup>3</sup> (Ullstein Verlag), S. 5. Vgl. auch: Laue, Max von: „Berliner, Arnold“ in: Neue Deutsche Biographie 2 (1955), S. 99. Online: <https://www.deutsche-biographie.de/pnd116136138.html#ndbcontent> sowie [https://de.wikipedia.org/wiki/Arnold\\_Berliner](https://de.wikipedia.org/wiki/Arnold_Berliner)

<sup>8</sup> Laue (1959), a. a. O., S. 5.

## Zum dreihundertsten Geburtstag des ersten Lehrbuches der Physik.

(6. März 1938)

Von M. v. Laue, Berlin.

Der Gedenktage gibt es in der Naturwissenschaft nicht viele; selten ist nur das Datum einer entscheidenden Entdeckung auf uns gekommen, wohl deshalb, weil den wenigen, die davon wußten, die Sache wichtiger erschien. Aber bei literarischen Ereignissen, die ja auch in der Naturwissenschaft bedeutsam sein können, ist die Festlegung auf den Tag manchmal leichter. Und darum handelt es sich beim 6. März 1638, an welchem die verjüngte Physik hinaustrat aus dem Schülerkreis eines Gelehrten in die Welt. An ihm nämlich setzte Galilei den Schlußstein seines Hauptwerkes: *Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno à due nuove scienze attenenti alla mecanica e i movimenti locali* (Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend).<sup>1</sup> Er setzte ihn – ein Vorwort an den Leser fügte der Verlag hinzu<sup>2</sup> – in einem Dankschreiben an seinen alten Schüler, den Grafen di Noailles, der als Gesandter Richelieus bei Papst Urban VIII. die Erlaubnis, mit seinem gefangenen Lehrer zusammenzukommen, durchgesetzt und das Manuskript an sich genommen hatte. Nun war die Nachricht da: In Holland, dieser Zuflucht geistiger Freiheit, verlegte die berühmte Druckerei der Elzevirs das Werk, unerreichbar allen Verboten der In-

quisition. Da schrieb, nein, es diktierte wohl der Erblindete:

An den berühmten Herren  
Grafen di Noailles

Ritter des Ordens vom heiligen Geist, Feldmarschall Seneschal und Gouverneur von Roerga und Statthalter S.M. in Orvegna, meinen hochehrwürdigen Herrn und Gönner.

Ich erkenne es als einen Akt Eurer Großmut, Hoherwürdiger Herr, an, dass Ihr über dieses mein Werk verfügt habt, ungeachtet dessen, dass ich, wie euch bekannt ist, verwirrt und niedergeschlagen bin wegen der Mißerfolge meiner anderen Arbeiten und beschlossen hatte, fortan keine meiner Studien zu veröffentlichen, sondern nur, damit dieselben nicht gänzlich begraben blieben, sie handschriftlich niederzulegen an einem Orte, der vielen Fachkennern zugänglich wäre. Meine Wahl traf den passendsten, hervorragendsten Ort, wenn ich an Eure Hand dachte. Ihr habt mit ganz besonderer Güte gegen mich Euch die Erhaltung meiner Studien und Arbeiten ange-

legen sein lassen. Als Ihr von Eurer Botschaft nach Rom zurückkehrt, hatte ich die Ehre, Euch persönlich begrüßen zu dürfen, nachdem ich schon oft brieflich mich an Euch gewandt. Bei solcher Begegnung überreichte ich Euch in Abschrift die vorliegenden Werke, die ich damals fertig hatte. Ihr geruhet sie huldvoll zu würdigen und in sicheren Gewahrsam zu nehmen. Ihr habt sie in Frankreich Euren Freunden und Interessenten mitgeteilt und habt Gelegenheit genommen zu beweisen, dass ich zwar schweige, dennoch mein Leben nicht ganz müßig hinbringe. Ich wollte soeben einige Abschriften fertigen, um dieselben nach Deutschland, Flandern, England, Spanien und in einige Orte Italiens zu senden, als ich unversehens von

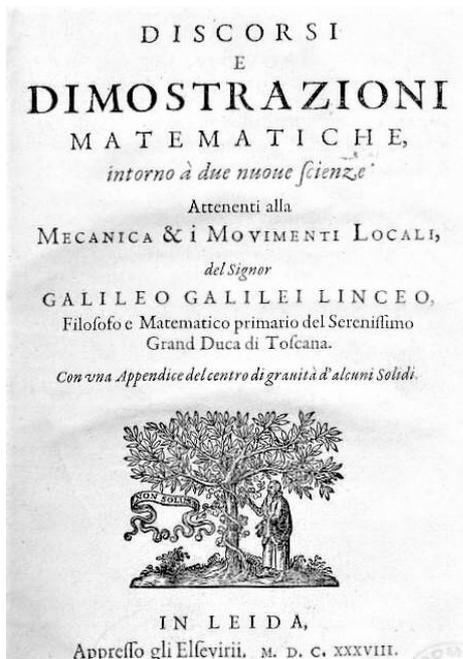
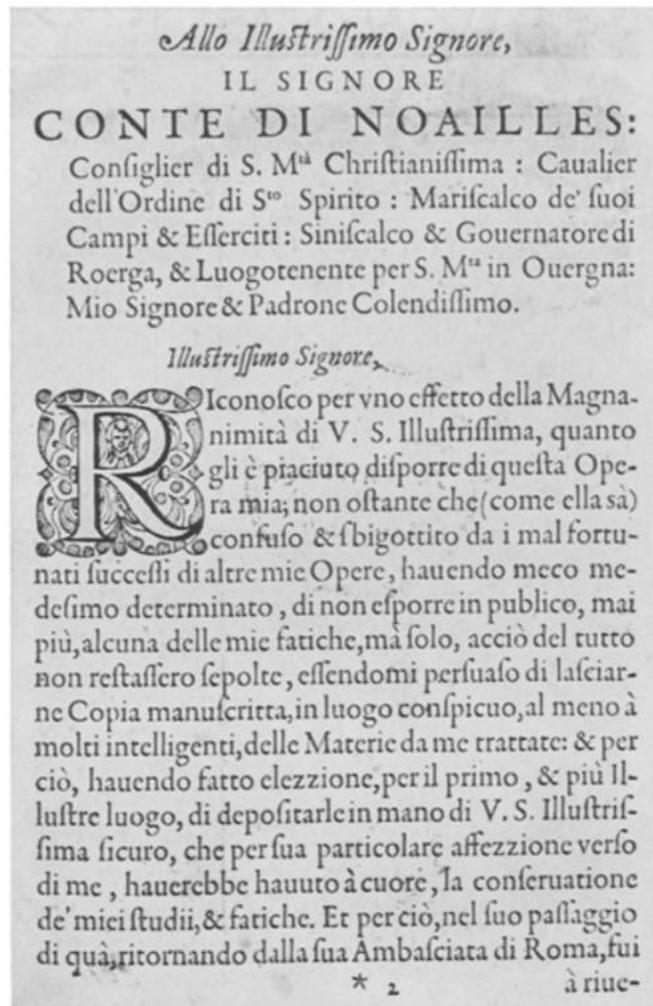


Fig. 1. Titelblatt von Galileis Buch.

<sup>1</sup> Übersetzt und herausgegeben von A. von Öttingen, Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Heft 11, 24, 25. Leipzig 1890 und 1891. Ich zitiere im folgenden nach dieser Übersetzung. Die Abbildungen sind verkleinerte photographische Reproduktionen nach dem der Preußischen Staatsbibliothek gehörendem Original.

<sup>2</sup> Dieses in der genannten Übersetzung fehlende Vorwort folgt in Übersetzung durch Herrn P. D'Ans diesem Aufsatz.

der Firma Elzeviri benachrichtigt wurde, dass meine Arbeit unter der Presse, und dass es Zeit sei, betreffs der Widmung Beschluss zu fassen und den Entwurf der Druckerei zu übersenden. Tief bewegt durch diese unverhoffte Nachricht, überlegte ich, dass Euer Hochehrwürden Wunsch, meinen Namen zu erheben und meinen Ruf zu erweitern, und Eure Teilnahme an meinen Leistungen meine Arbeit zum Druck befördert hat. Dieselbe Werkstatt hat schon meine anderen Werke veröffentlicht und sie mit ihrer glänzenden, geschmackvollen Ausstattung ans Licht gebracht. Und so sollen denn meine Schriften wieder auferstehen, denn sie haben das glückliche



Schicksal gehabt, durch Euer gediegenes Urteil werthgeschätzt zu werden. Ihr seid wohlgekannt durch den Reichtum Eurer Talente, die Jedermann an Euch bewundert; Euer unvergleichlicher Edelmut, Euer Eifer für das allgemeine Wohl, dem Ihr auch diese meine Arbeit zugänglich machen wollt, hat auch meinen Ruhm vermehrt und ausgebreitet. So ist denn wohl geschickt, dass auch ich mit einem allsichtbaren Zeichen mich dankbar erweise für Eure edle Tat. Ihr habt meinen Ruhm die Flügel frei ausbreiten lassen wollen unter offenem Himmel, während es mir als hohe Gunst erschien, dass er auf engere Räume eingeschränkt blieb. Darum sei Eurem Namen

à riuerirla personalmente, si come più volte haueuo fatto per lettere, & con tale incontro, presentai à V. S. Illustrissima la Copia di queste due Opere, che allora mi trouauo hauere in pronto; lequali benignamente mostrò di gradire molto, & di essere per farne sicura conserua, & col parteciparle in Francia à qualche amico suo, perito di queste scientie, mostrare, che se bene taceuo, non però passauo la vita del tutto ociosamente. Andauo dipoi, apparechiandomi, di mandarne alcune altre Copie, in Germania, in Fiandra, in Inghilterra, in Spagna, & forse anco in qualche luogo d'Italia, quando improvvisamente vengo dagli Elzeuiri auuisato, come hanno sotto il torchio queste mie Opere, & che però, io deua prendere risoluzione circa la dedicatoria, & prontamente mandargli il mio concetto sopra di ciò. Mossò da questa inopinata, & inaspettata nuoua, sono andato meco medesimo concludendo, che la brama di V. S. Illustrissima di suscitare, & ampliare il nome mio, col partecipare à diuersi i miei scritti habbia cagionato, che sieno peruenuti nelle mani de' detti Stampatori; liquali essendosi adoperati in publicare altre mie Opere, habbiano voluto honorarmi, di mandarle alla luce, sotto le loro bellissime, & ornatissime stampe: Per ciò questi miei scritti, debbono risentirsi, per hauer' hauuta la sorte, d'andar nell'arbitrio d'un si gran Giudice, il quale, nel marauiglioso concorso di tante Virtù, che

che rendono V. S. Illustrissima ammirabile à tutti, ella, con incomparabile Magnanimità, per zelo anco, del ben publico, à cui gli è parso, che questa mia Opera, douesse conferire, ha voluto allargargli i termini, & i confini dell'honore: Si che essendo il fatto ridotto in cotale stato, è ben ragioneuole, che io, con ogni segno più conspicuo, mi dimostri grato riconoscitore del Generoso affetto di V. S. Illustrissima che hà hauuto à cuore, di accrescermi la mia fama, con farli spiegarle ale liberamente, sotto il Cielo aperto, doue che à me pareua assai dono, che ella restasse in spatii più angusti. Per tanto, al nome Vostro, Illustrissimo Signore, conuiene, che io dedichi, & consacri questo mio parto, al che fare, mi strigne, non solo il cumulo degli oblighi, che gli tengo, ma l'interesse ancora, il quale (siami lecito così dire) mette in obbligo V. S. Illustrissima di difendere la mia riputatione, contro à chi volesse offenderla: mentre ella mi hà posto in steccato, contro à gl'auuersarij. Onde, facendomi auanti, sotto il suo stendardo, & protezione, humilmente me le inchino, con augurarle per premio di queste sue gratie, il colmo d'ogni felicità, & grandezza. d'Arcetri li 6. Marzo. 1638.

Di V. S. Illustrissima

Deuotissimo Seruitore

GALILEO GALILEI.

\* 3

LO

Fig. 2: Dankschreiben Galileis an den Grafen di Noailles. Übersetzung im Text.

mein Werk gewidmet, und dazu drängt mich nicht nur das Bewußtsein einer Fülle von Verpflichtungen gegen Euch, sondern auch – wenn ich so sagen darf – die Verbindlichkeit, die Ihr übernehmt, mein Ansehen zu verteidigen gegen meine Widersacher: Ihr seid es, der mich wieder auf den Kampfplatz stellt. So will ich denn kämpfen unter Eurer Fahne, ich beuge mich ehrerbietig unter Euren Schutz und ersehne Euch in tiefgefühltem Dank alles denkbare Glück und Heil.

Arcetri, 6. März 1638

Ich verbleibe Hohehrwürdiger Herr  
gehorsamster Diener

GALILEO GALILEI.

Was verleiht nun diesem Werk seine Bedeutung? Man antwortet meist: Es begründete, über die bis ins Altertum zurückreichende Statik hinausgehend, auf Grund planmäßiger Versuche die Dynamik und wies damit der physikalischen Forschung die Bahn, auf der fortschreitend sie im Laufe der Zeiten zu ihren die Menschheit innerlich und äußerlich umwandelnden Erfolgen gelangte. Dies ist nicht unrichtig, gilt aber mehr von dem ganzen Schaffen GALILEIS, dessen Versuche beim Erscheinen der „Discorsi“ schon weit zurücklagen, zum Teil 4-5 Jahrzehnte. Ein anderer, nicht zu unterschätzender Experimentator, WILLIAM GILBERT, hatte dieselbe experimentelle Methode auf den Magnetismus angewandt und sein Buch darüber schon 1600 veröffentlicht. Zudem tritt in den „Discorsi“ der Versuch weniger hervor, als der heutige Leser wohl zunächst erwartet. Die Sonderstellung dieses Buches liegt vielmehr darin, daß hier der erste tiefe und umfassende *Denker* der Physik sein physikalisches Lebenswerk, das ganze Gedankengut, das er von Jugend auf gehegt, an zahllosen Versuchen erprobt und ausgereift hatte, vollständig und im Zusammenhang darlegt. So entstand das erste *Lehrbuch* der Physik, bestimmt und geeignet, die neue Wissenschaft über den persönlichen Wirkungskreis des Verfassers auszudehnen. GALILEI wußte, was dahinter steckte<sup>1</sup>:

„Über einen sehr alten Gegenstand bringen wir eine ganz neue Wissenschaft. Nichts ist älter in der Natur als die Bewegung, und über dieselbe gibt es weder wenig noch geringe Schriften der Philosophen. Dennoch habe ich deren Eigentümlichkeiten in großer Menge und darunter sehr wissenschaftliche, bisher aber nicht erkannte und noch nicht bewiesene, in Erfahrung gebracht. Einige leichtere Sätze hört man nennen: wie zum Beispiel, daß die natürliche Bewegung fallender schwerer Körper eine stets beschleunigte sei. In welchem Maße aber diese Beschleunigung stattfindet, ist bisher nicht ausgesprochen worden; denn so viel ich weiß, hat niemand bewiesen, daß die vom fallenden Körper in gleichen Zeiten zurückgelegten Strecken sich zueinander verhalten wie die ungeraden Zahlen. Man hat beobachtet, daß Wurfgeschosse eine gewisse Kurve beschreiben; daß letztere aber eine

Parabel sei, hat niemand gelehrt. Daß aber dieses sich so verhält und noch vieles andere, nicht minder Wissenswertes, soll von mir bewiesen werden, und was noch zu tun übrigbleibt, zu dem wird die Bahn geebnet, zur Errichtung einer sehr weiten, außerordentlich wichtigen Wissenschaft, deren Anfangsgründe diese vorliegende Arbeit bringen soll, in deren tiefere Geheimnisse einzudringen Geistern vorbehalten bleibt, die mir überlegen sind.“

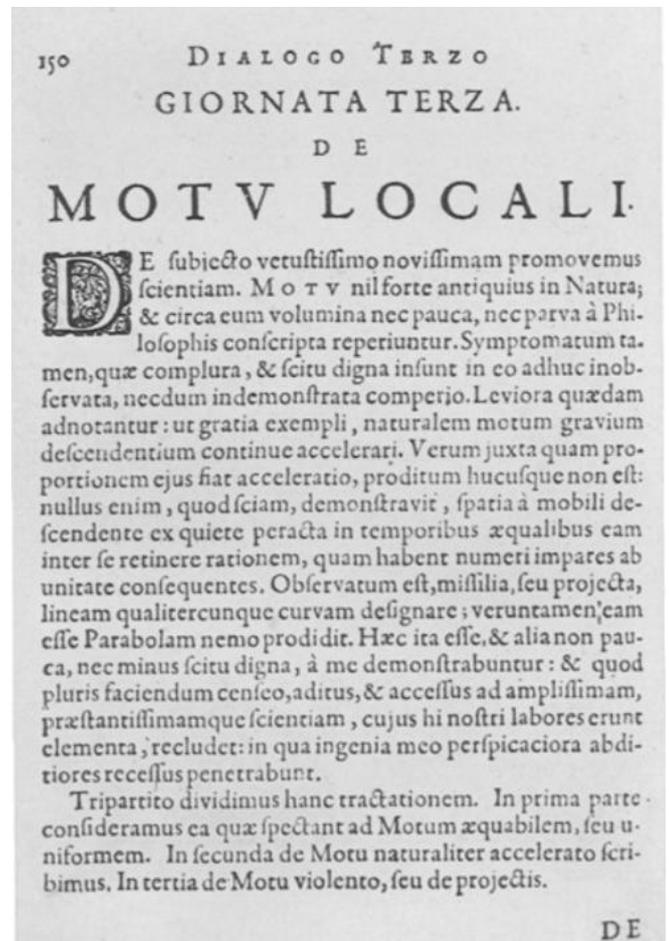


Fig. 3. Übersetzung im Text.

Wie der Titel besagt, ist Unterredung die äußere Form des Buchs, Unterredung auf Italienisch; diese Form war GALILEI geläufig aus den Zeiten, da er noch über Astronomie und das Weltbild des KOPERNIKUS schreiben durfte. Das Gespräch findet in der Ausgabe von 1638 an vier verschiedenen Tagen statt; ein fünfter und ein sechster Tag sind nach seinem Tode hinzugekommen und tragen, obwohl sie echt GALILEISchen Geistes sind, doch den Charakter des Nachträglichen. Von den drei Gesprächsteilnehmern der ersten 4 Tage führen zwei, SALVIATI und SAGREDO, Namen aus dem Paduaner Freundeskreise, der GALILEI immer eine liebe Erinnerung war. SALVIATI trägt die Lehre vor; der ebenfalls in solchen Gedanken geübt schnell auffassende SAGREDO erläutert sie in manchmal sehr geistreichen Fragen und treffenden Bemerkungen, während der im Aristoteles wohlbelesene SIMPLICIO im allgemeinen die Rückzugs-

<sup>1</sup> Einleitung zum 3ten „Tag“. Heft 24, S. 1.

gefechte der scholastischen Naturphilosophie durchführt. Nur führen die drei das Gespräch an den wichtigsten Tagen, dem dritten und vierten, nicht frei; sie lesen und diskutieren vielmehr ein lateinisch verfaßtes Werk „ihres Akademikers“, d.h. GALILEIS, welcher sich seit 1611 mit Stolz einen „Linceo“, d.h. Mitglied der Academia dei Lincei in Rom, nannte. Hier liegt zweifellos ein älterer vorher nicht veröffentlichter Text vor; schon in der Art des Druckes unterscheidet ihn das Buch von dem „Gespräch“.

Diese Form ist mehr als ein Kunstgriff, die Darstellung lebendig und reizvoll zu gestalten; sie ermöglicht auch sehr feine Unterscheidung zwischen sicherem, systematisch durchgearbeitetem Gedankengut, erläuterndem Beiwerk (das noch wichtig genug sein mag) und Darlegungen, die dem Verfasser selbst als weniger sicher erscheinen mochten. Wir lernen später ein Beispiel dafür kennen.

Der Inhalt ist ungemein reichhaltig. Viel Mathematik kommt darin vor, wie ja schon der Titel ankündigt, und keineswegs nur in Anwendung auf Physik. Mengentheoretische Dilemmas, z.B. ob es mehr positive ganze Zahlen als Quadratzahlen gibt oder ebenso viele, ob eine längere Strecke mehr Punkte enthält als eine kürzere, haben mit GALILEIS Physik nichts zu schaffen; es spricht übrigens für sein tiefes mathematisches Verständnis, daß er sie abtut mit dem Hinweis auf die Unmöglichkeit, unendliche Zahlen zu vergleichen.<sup>1</sup> Meist aber dient doch die Mathematik der Physik. 38 wohlgeordnete „Propositionen“ am dritten und ihrer 14 am vierten Tage ziehen immer neue Folgerungen aus den Fall- und Wurfgesetzen. Besonders das Fallen auf der Kreisbahn steht am dritten Tage im Mittelpunkt der „Propositionen“. Wer den „Experimentator“ GALILEI gegen die mathematische Behandlung der Naturwissenschaften auszuspielen sucht, hat offenbar die „Discorsi“ nicht gelesen, oder so oberflächlich, daß ihm das Fehlen von Gleichungen in der heutigen Form das Fehlen von Mathematik vortäuscht. Sie werden nämlich mit Worten in Proportionen ausgedrückt, was der Übersetzer der „Discorsi“, A. v. ÖTTINGEN, auf das Fehlen des Dimensionsbegriffs und die darin begründete Notwendigkeit zurückführt, auf jeder Seite einer Gleichung eine reine Zahl zu haben<sup>2</sup>. Der heutige Leser, dem außer diesem Begriff noch die Errungenschaften der späteren Mathematik, wie Exponentialfunktion, analytische Geometrie, Infinitesimalrechnung, zur Verfügung stehen, kann jede dieser „Propositionen“ in wenigen Zeilen beweisen und z. B. die Kettenlinie<sup>3</sup> besser beschreiben als durch die Angabe, sie sei parabelähnlich. Dennoch wird, wer sich einmal auf jenen Standpunkt zurückversetzt, der Galileischen Mathematik Eleganz nicht absprechen.

Über die Fülle des Gebotenen unterrichtet schon ein Blick ins Inhaltsverzeichnis der deutschen

Ausgabe; da liest man: „Ähnlich gebaute Maschinen sind bei verschiedener Größe ungleich in ihrer Festigkeit; Bruch durch eigenes Gewicht; Tiere und Pflanzen übermäßiger Größe; Lichtgeschwindigkeit; Feinheit von Golddraht; Wassertropfen; Gewicht der Luft; Schwingungszahlen von Tönen; Unbegrenztheit des Widerstandes, den ein Stoß überwinden kann.“ Das ist eine Auswahl aus dem weniger bekannten darin. Nicht alles ist genau beobachtet und richtig dargestellt. Wenn GALILEI z. B. bei dem schönen Versuch mit dem wassergefüllten Glase, das er zum Tönen bringt, die stehenden Wellen auf der Wasseroberfläche wohl als erster beschreibt, so ist doch die Angabe ungenau, daß sich die Wellenlängen von Grundton und Oktave wie 2:1 verhalten<sup>4</sup>: vielmehr ist das Verhältnis, da es sich um Kapillarschwingungen handelt, 1,59:1.<sup>5</sup> Auch die Übertreibung einer seiner wichtigsten Erkenntnisse, die ausdrücklich aufgestellte Behauptung<sup>6</sup>, die Pendelperiode sei bis zu Ausschlägen von 90° von der Amplitude unabhängig, muß uns merkwürdig anmuten, da bei 90° die Periode um mehr als ein 1/8 länger ist als bei sehr kleinen Ausschlägen. Aber hier war GALILEI fest überzeugt; die 38 „Propositionen“ des dritten Tages verfolgen allem Anschein nach das (natürlich unerreichbare) Ziel, diese Unabhängigkeit mathematisch zu beweisen. Von einem offenbaren Trugschluß müssen wir weiter unten reden. Und doch ist so häufig ein mangelhaft begründetes Ergebnis richtig. GALILEI gehörte eben zu jenen begnadeten Forschern, deren Genie die Wahrheit auch da ahnt, wo es sie nicht zu voller begrifflicher Klarheit emporzuheben vermag. Mit Ehrfurcht muß der heutige Leser auf das Ringen zurückblicken, das sich darin offenbart, aber auch mit der bescheiden stimmenden Erkenntnis, daß dem Menschen Vollkommenes nicht zuteil wird.

Ist es nicht zum Staunen, daß wir als Bahnbrecher der Dynamik einen Mann verehren, dem der Begriff „Kraft“ nicht klar war? Zwar für die Statik verwendet ihn GALILEI gleich vielen Vorgängern ganz wie wir, wenn er Kräfte durch Gewichte verwirklicht und mißt. Darauf beruht ja das alte Prinzip der virtuellen Verrückung als Gleichgewichtskriterium, welches GALILEI in früheren Schriften in durchaus origineller Art, z.B. zur Herleitung des ARCHIMEDISCHEN Prinzips für das Schwimmen der Körper, verwandte. Auch sah er sehr wohl den Unterschied zwischen einer Kraft dieser Art und der „Kraft“ des Stoßes. Aber da, wo am dritten Tag vom Wurf die Rede sein soll, spricht anfangs SAGREDO – allerdings nicht SALVIATI, d.h. GALILEI übernimmt nicht die volle Verantwortung – von einer dem nach oben geworfenen Körper mitgeteilten „Kraft“, die stetig abnimmt<sup>7</sup>, bis sie sich mit der Schwerkraft ins Gleichgewicht gesetzt hat, worauf dann der Abstieg beginnt. Und SALVIATI hält sich dort einige

<sup>1</sup> Heft 11, S. 30 u. f.

<sup>2</sup> Heft 11, Anm. 6 auf S. 131.

<sup>3</sup> Heft 24, S. 119

<sup>4</sup> Heft 11, S. 86/87

<sup>5</sup>  $1,59 = 2^{2/3}$

<sup>6</sup> Heft 11, S. 75 und 84/85; ebenso Heft 24, S. 89

<sup>7</sup> Heft 24, S. 14

Zeit aus dem Gespräch, um es schließlich mit der Bemerkung abzubrechen, darauf komme es zunächst nicht an; der Autor des ihnen vorliegenden Buchs verlange nur die Einsicht, „wie er uns einige Eigenschaften der beschleunigten Bewegung untersucht und erläutert, ohne Rücksicht auf die Ursache der letzteren“. Diese entscheidende Wendung macht dann den Weg zu den Fallgesetzen frei.

Die Schritte, in denen die „Discorsi“ die Lehre vom Fall vorbringen, stimmen schwerlich in allem mit deren historischer Entwicklung in GALILEIS Leben überein. Aber das haben sie damit gemein, daß es zunächst galt, Irrtümer zu beseitigen, welche die Scholastik auf aristotelische Autorität hin durch die Jahrhunderte fortgeschleppt hatten. Und hier bildete ein Hauptstück der Satz, daß der gewichtigere Körper schneller fällt als der leichtere. Demgegenüber beruft sich GALILEI nur nebenbei auf die Versuche, durch die er ihn seinerzeit in Pisa widerlegt hatte; wichtiger schien ihm offenbar der folgende Gegenbeweis<sup>1</sup>:

Angenommen, ARISTOTELES hätte recht. Dann müßte der aus der Vereinigung eines schweren und eines leichteren Körpers entstehende, noch schwerere, schneller fallen als jeder seiner Teile. Andererseits hemmt doch in dieser Vereinigung der langsamere den schnelleren Teil, so daß das Ganze langsamer fallen sollte, als der größere Teil allein. Jene Annahme widerspricht sich also in ihren Folgerungen selbst.

Die Überzeugungskraft dieser Überlegung ist in der Tat außerordentlich; fast möchte man an einen rein logischen Beweis denken. Natürlich ist ein solcher einer Frage der Erfahrung gegenüber nicht möglich; in der Tat steckt ein empirisches Moment darin, daß nämlich bei Verkoppelung der langsamere Körper den schnelleren *hemmt*. Aber diese Erfahrung ist uralte; jeder hat sie im täglichen Leben gemacht, so daß sie fast die zwingende Gewalt eines logischen Arguments besitzt. Man fragt sich eigentlich, warum erst ein GALILEI kommen mußte, diese Widerlegung zu finden; aber freilich, oft gehört ja gerade zu dem Einfachen ein Genie, – wie man auch sonst weiß.

Was GALILEI über die Verschleierung des Tatbestandes durch den Luftwiderstand sagt, könnte jedes heutige Lehrbuch unverändert übernehmen. Insbesondere war er sich auch klar, daß die Reibung eine sehr große Anfangsgeschwindigkeit im Verlauf des Falls *herabsetzt*, daß man, um sein drastisches Beispiel anzuführen, um ein Loch in den Erdboden zu schießen, die Flinte besser dicht darüber hält, als hoch von einem Turm hinab zu feuern<sup>2</sup>.

Der zweite Schritt besteht dann in der mathematischen Beschreibung der gleichförmig beschleunigten Bewegung, der GALILEI nur zur Verdeutlichung eine Beschreibung der Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit vorausschickt. Beim Fall aber ändert sich die Geschwindigkeit; wie? Sie wächst zweifellos mit der Fallstrecke, aber auch mit der

Fallzeit. Zwei besonders einfach scheinende Hypothesen versucht GALILEI; wir drücken sie, indem wir mit  $s$  die Fallstrecke, mit  $t$  die Fallzeit, mit  $a$  und  $g$  Naturkonstanten bezeichnen, aus in den Gleichungen:

$$1) \frac{ds}{dt} = \frac{s}{a} \quad \text{oder} \quad 2) \frac{ds}{dt} = g \cdot t .$$

Aus der ersten gewinnt der heutige Physiker durch Integration unter Einführung der Konstanten  $s_0$  und  $t_0$ :

$$s = s_0 \cdot e^{(t-t_0)/a} ,$$

und sieht sogleich, daß dies zur Beschreibung einer zur Zeit 0 mit  $s = 0$  beginnenden Bewegung ungeeignet ist – mit Ausnahme des Grenzfalls  $a = 0$ , in welchem  $s$  bis zu der (beliebig kleinen) Zeit  $t_0$  Null bleibt, um dann sogleich ins Unendliche umzuspringen. Also: Momentanbewegung.

Und so steht es auch bei GALILEI. Aber wie ist er, dem alle hier angewandten Hilfsmittel fehlten, dazu gekommen? SALVIATI gibt folgenden „Beweis“<sup>3</sup>: „Da der Strecke  $2s$  die doppelte Geschwindigkeit entsprechen soll wie der Strecke  $s$ , so werden beide in der gleichen Zeit durchlaufen, was nur möglich ist, wenn diese Zeit Null ist.“ Der Fehlschluß ist offenbar und doppelt merkwürdig, nachdem SALVIATI kurz zuvor den Begriff der stetig veränderlichen Geschwindigkeit so exakt analysiert hat, wie es ohne ausdrückliche Benutzung der Infinitesimalrechnung nur möglich ist. Das Ergebnis jedoch stimmt.

Ob sich Galilei an dieser Stelle wohl ganz beruhigt fühlte? Der muntere SAGREDO, der sonst jeder Überlegung von ähnlicher Tragweite in Frage oder Zustimmung eine Erläuterung hinzufügt, lobt hier in einem halben Satze die besondere Schönheit des Beweises – und gibt dem Gespräch eine andere Wendung, auf die wir noch zurückkommen.

Wie dem auch sein mag, die erste Hypothese ist hiermit abgetan, und GALILEI kann nun in dem lateinischen Text, den die 3 Freunde lesen, aus der zweiten die uns geläufigen Schlüsse ziehen. Aber noch vorher überträgt er, was vom freien Fall gilt, auf das Hinabgleiten auf der reibungslosen schiefen Ebene mittels der Forderung, daß gleicher senkrechter Fallhöhe immer die gleiche Endgeschwindigkeit entspricht. Er begründet dies mit einem Pendelversuch. Nicht nur, daß das Pendel, ungehindert schwingend, immer zur gleichen Amplitude zurückkehrt; nein, der Körper an seinem Ende hebt sich auch dann wieder zum Ausgangsniveau, wenn der Faden bei der Amplitude Null gegen einen Nagel schlägt und das Pendel somit verkürzt weiterschwingt<sup>4</sup>. Dies zeigt, daß die bei Fall aus beliebiger Höhe erreichte Geschwindigkeit gerade zur Wiedergewinnung der alten Höhe ausreicht; und dies überträgt GALILEI auf die schiefe Ebene<sup>5</sup>.

In der Tat, wäre die Endgeschwindigkeit beim Fall längs einer schiefen Ebene größer als auf einer

<sup>1</sup> Heft 11, S. 57

<sup>2</sup> Heft 11, S. 82

<sup>3</sup> Heft 24, S. 16

<sup>4</sup> Heft 24, S. 19

<sup>5</sup> Heft 24, S. 20

zweiten von derselben Höhe, so könnte man den Körper diese wiederansteigen lassen zu größerer als der Ausgangshöhe. Wäre sie aber geringer, so brauchte man zum gleichen Zweck nur den Vorgang umzukehren. Sofern es also unmöglich ist, einen Körper allein durch Schwerkraft zu heben und das besagt uralte Erfahrung darf die Endgeschwindigkeit nur von der Fallhöhe abhängen.

Und nun folgen die berühmten Versuche an der schiefen Ebene zur Prüfung der Fallgesetze. Salviati erzählt, wie er sie mit angesehen habe, und betont mit dem allergrößten Nachdruck, daß die Bestätigung der Überlegungen durch diese Versuche das Kernstück des Ganzen bilde<sup>1</sup>.

Mit logischer Notwendigkeit führt dieser Gedankengang zu der Folgerung, die Geschwindigkeit längs der Horizontalen für unveränderlich zu erklären, also für einen Sonderfall das Trägheitsprinzip aufzustellen. „Da es unmöglich ist, daß ein Körper sich von selbst nach oben bewegt und sich vom allgemeinen Schwerpunkt (centro commune) entfernt, nach welchem alle schweren Körper hinstreben, so ist es auch unmöglich, daß er sich von selbst bewege, wenn bei solcher Bewegung sein eigener Schwerpunkt sich nicht dem allgemeinen Schwerpunkt nähert: daher auf der Horizontalen, die hier eine Fläche bedeutet, die überall gleich weit vom allgemeinen Schwerpunkt absteht und deshalb frei von jeglicher Neigung ist, der Körper keinen Impuls erfährt<sup>2</sup>.“ (Impuls bedeutet hier Geschwindigkeitsänderung.)

Jetzt fehlt zur vollständigen Kenntnis des Wurfs nur noch der letzte Schritt: Die Feststellung der Unabhängigkeit der Horizontal- und der Vertikalkomponente bei einer Bewegung in beliebiger Richtung. Mit diesem Vorgang von der eindimensionalen Bewegung zur zwei- oder dreidimensionalen beginnt der vierte Tag der Unterredungen. Er führt sofort zu dem Schluß: Die Wurfbahn ist eine Parabel, samt dem Hinweis auf Versuche mit der „Volata“, einem nicht näher beschriebenen Apparat, auf welchem der geworfene Körper seine Bahn selbst aufzeichnet<sup>3</sup>. Es kennzeichnet den gewissenhaften Physiker, daß er alle Behauptungen auf Geschwindigkeit einschränkt, die sich mit seinem „Mörser“ herstellen lassen. Die „übernatürlichen“- d.h. wohl: seinen Messungen unerreichbaren – Geschwindigkeiten, welche Feuerwaffen dem Geschosß verleihen, schließt er ebenso<sup>4</sup> davon aus, wie er sich vorher einmal entschieden weigert, in Fallbetrachtungen größere Höhen zuzulassen, als sie auf Erden vorkommen<sup>5</sup>. Auch setzt er ausdrücklich voraus, die Dimensionen der Wurfbahn kämen nicht an den Erdradius heran; anderenfalls wäre sie keine Parabel mehr.

Daran knüpfen sich dann die erwähnten 14 „Propositionen“ über Wurfhöhe und Wurfweite.

Soviel von dem Inhalt der „Discorsi“, der ja in allem Wesentlichen unverlierbarer Besitz der Wissenschaft geworden ist. Auf die Astronomie zurückzukommen, verbot dem Gefangenen von Arcetri die Lage; der Verleger wies dafür in seinem Vorwort auf die Entdeckungen des Autors an Sonne und Planeten hin. Galilei aber hatte auch sonst über sein Schicksal zu schweigen. Nur an einer etwas versteckten Stelle sagt Salviati<sup>6</sup>:

„Es wäre sehr traurig, wenn denen, welche kurz und deutlich die Irrtümer allgemein für wahr gehaltener Sätze aufdecken, statt Beifall nur Mißachtung gezeigt würde; aber eine bittere und lästige Empfindung wird bei denjenigen geweckt, die auf demselben Studiengbiet sich jedem anderen gewachsen glauben und dann erkennen, daß sie das als richtige Schlußfolgerungen zugelassen haben, was später von einem anderen mit kurzer leichter Überlegung aufgedeckt und als irrig gekennzeichnet wurde. Ich möchte solch eine Empfindung nicht Neid nennen, der gewöhnlich in Haß und Zorn gegen den Aufdecker der Irrtümer ausartet, viel eher wird es eine Sucht und ein Verlangen sein, alt gewordene Irrtümer lieber aufrechtzuerhalten, als zuzugestehen, daß neu entdeckte Wahrheiten vorliegen; und dieses Verlangen verführt die Leute oft, gegen vollkommen von ihnen selbst erkannte Wahrheiten zu schreiben, bloß um die Meinung der großen und wenig intelligenten Menge gegen das Ansehen der anderen aufzustacheln. Von solchen falschen Lehren und leichtfertigen Widerlegungen habe ich oft unseren Akademiker reden gehört.“

Diese Worte fallen nun freilich, wo GALILEIS Buch den stärksten wirklichen Angriffspunkt bietet, nämlich unmittelbar nach jenem Trugbeweis der Momentanbewegung, – und das ist nicht ohne eine gewisse Tragikomik.

Es gibt lange Abhandlungen über GALILEIS Stellung zum Trägheitsprinzip und zum Kraftbegriff, was ja eng zusammenhängt. Aus ihnen spricht die Verwunderung, daß er jenes Prinzip nicht von der Beschränkung auf Horizontalbewegungen befreit und damit die NEWTONsche Dynamik zum Teil vorweggenommen habe. Die Physiker sollten heute dafür aber mehr Verständnis aufbringen als noch vor 30 Jahren. Zunächst bedenke man, daß GALILEI kein Mittel kannte, zu erfahren, wie sich die Schwere anderswo als an der Erdoberfläche verhält; er spricht deswegen auch nirgends darüber. Der Gedanke an einen schwerkraftfreien Raum war ihm, so scheint es, fremd. Wenn er aber so mit seiner Physik an die Erdoberfläche gebannt blieb, dann war für ihn die Fall- oder Wurfbewegung die „natürliche“ Bewegung eines sich selbst überlassenen Körpers; so bezeichnet sie GALILEI auch ausdrücklich. Die gleichförmige Horizontalbewegung hingegen war keine freie, sondern eine durch den Druck der Unterlage er-

<sup>1</sup> Heft 24, S. 25.

<sup>2</sup> Heft 24, S. 28.

<sup>3</sup> Heft 24, S. 91.

<sup>4</sup> Heft 24, S. 90.

<sup>5</sup> Heft 11, S. 60

<sup>6</sup> Heft 24, S. 17

zwungene Bewegungsart, in diesem Sinne etwa der Pendelbewegung vergleichbar, bei der ja die Spannung des Fadens die Bahnform bestimmt. Erkennt man hier nicht einen ähnlichen Standpunkt, wie ihn die allgemeine Relativitätstheorie einnimmt, wenn sie dem freien Körper eine allein durch den vierdimensionalen Maßtensor bestimmte geodätische Weltlinie zuschreibt? Eine Schwerkraft gibt es in diesem Gedankengang eigentlich nicht, nur andere Kräfte, welche den Körper unter Umständen am freien Fall hindern. Und da die Schwere nun doch die einzige Kraft war, der GALILEIS Versuche beikommen konnten, so versteht man wohl, warum er diesen Begriff nicht so klar zu fassen vermochte, wie es uns später ewton gelehrt hat. Die angeführte Stelle, an welcher SALVIATI das Gespräch über die Rolle der Kraft beim Fall abbricht, macht ganz den Eindruck, als vollziehe sich hier der Übergang von einem unklar vorempfundene NEWTONschen Standpunkt zu einem den wir heute – mutatis mutandis – in der allgemeinen Relativitätstheorie wiederfinden, die sich hier enger, als an NEWTON, an dessen größten Vorgänger anlehnt. Dem Nachteil, daß das Trägheitsprinzip nicht gilt, steht der Vorteil gegenüber, daß die Gleichheit von träger und schwerer Masse hier kein Problem, sondern im Grundgesetz der Bewegung mitenthalten ist.

GALILEIS bis heute vorhaltende Popularität beruht ohne Zweifel vorwiegend auf seinen astronomischen Entdeckungen und dem anschließenden Kampf für KOPERNIKUS. Und niemand wird die Tat unterschätzen, daß er das Fernrohr, bis dahin Spielzeug oder bestenfalls untergeordnetes militärisches Hilfsmittel, in den Dienst der *Forschung* stellte; es waren wohlverdiente Früchte, die ihm

damit zufielen. Aber als geistige Leistung steht die Auffindung der Fallgesetze höher, wie schon das Vorwort des Verlegers klar hervorhob. Hier war nicht nur mit fast geheiligtem Irrtum aufzuräumen, nicht nur mit leiblichem Auge unbefangen zu sehen, sondern auch so viel an neuen Begriffen aufzustellen, daß damit das gesamte naturwissenschaftliche Denken auf eine höhere Stufe kam. Gemeinsam ist beiden Betätigungen ein neuer Wahrheitsbegriff<sup>1</sup>, der nicht mehr Tradition zum Ausgangspunkt nimmt, sondern, was der Mensch aus eigener Erfahrung und eigenem Denken erkennt. Dieser Wahrheitsdrang wirkte in vielen seiner Zeitgenossen, kam aber wohl in keinem zu so mächtigem Durchbruch wie bei GALILEI – und setzte ihn damit auch der *besonderen* Feindschaft und den Verfolgungen der Verteidiger des Alten aus. Darin liegt eine Bedeutung GALILEIS, die noch über das naturwissenschaftliche Gebiet hinausreicht.

Nach der Veröffentlichung der „Discorsi“ von 1638 hat GALILEI keineswegs gerastet. Trotz aller körperlichen Behinderung redigierte er deren fünften „Tag“; sein Biograph, LEONARDO OLSCHKI, weiß sogar über weitere literarische Pläne zu berichten. Zu seinen Lebzeiten erschien nichts mehr davon. Noch über 3 Jahre schleppte der erblindete Greis, den 1638 eine ärztliche Kommission mehr einem Toten als einem Lebenden ähnlich fand<sup>2</sup>, seine Gebrechen fort. Am 8. Januar 1642 nach fast neunjähriger Haft, erlöste ihn der Tod.

Die erneute Physik aber besteht nun 300 Jahre.

<sup>1</sup> E. Cassirer, Wahrheitsbegriff und Wahrheitsproblem bei Galilei. Scientia 1937, 121 u. 185.

<sup>2</sup> Siehe Emil Wohlwill, Galilei und sein Kampf für die Kopernikanische Lehre 2, 188. Leipzig und Berlin 1926.

## Vorwort des Verlegers zu Galileis Discorsi von 1638.

### Der Verleger an die Leser.<sup>3</sup>

Das Kulturleben erhält sich gefördert durch die wechselseitigen und gegenseitigen Beziehungen der Menschen untereinander, wozu hauptsächlich die Pflege der Künste und der Wissenschaften beiträgt; daher wurden deren Schöpfer immer hoch geachtet und seit dem weisen Altertum sehr verehrt. In der Tat, je ausgezeichneter oder nützlicher eine Entdeckung gewesen ist, um so mehr Lob und Ehre wurde den Entdeckern gespendet, ja sie wurden sogar vergöttert, – da die Menschen mit öffentlicher Zustimmung mit diesem Zeichen der höchsten Ehre das Andenken an die Schöpfer ihres Wohlergehens verewigen wollten. – Auch alle diejenigen, die mit der Schärfe ihres Geistes schon bekannte Dinge erneuert haben, indem sie Trugschlüsse und Irrtümer von gar vielen Lehren aufdeckten, die von hervorragenden Männern aufgestellt waren und über viele Zeitalter als wahr anerkannt wurden, sind großen Lobes und Bewunderung würdig, – schon wegen der Tatsache, daß eine solche Aufdeckung an sich lobenswert ist, auch dann, wenn die Forscher nur Fehler

beseitigt haben, was auch ohne die Wahrheit zu finden schon schwierig ist; wie schon der Fürst der Redner sagt: „Utinam tam facile possem vera reperire, quam falsa convincere“. Und in der Tat gebührt das Verdienst dieses Lobes unseren letzten Jahrhunderten, in denen die Künste und Wissenschaften der Alten durch das Werk geistvoller Menschen wiedergefunden wurden und durch viele Beweise und Versuche zu einer großen Vollkommenheit, die jeden Tag weitere Fortschritte macht, entwickelt worden sind. Das tritt besonders bei den mathematischen Wissenschaften hervor, in denen – ohne alle übrigen zu erwähnen, die sich mit viel Lob und großem Erfolg betätigt haben – der erste Platz unserem Herrn GALILEO GALILEI, Mitglied der Academia dei Lincei, ohne irgendeinen Widerspruch, ja sogar mit dem Beifall und der allgemeinen Zustimmung aller Gelehrten verdienstvollerweise gebührt. Er hat nämlich die mangelnde Beweiskraft vieler Begründungen von verschiedenen Schlußfolgerungen gezeigt, die mit festen Beweisen bestätigt waren, – und sie zahlreich in seinen schon veröffentlichten Werken angeführt. Aber auch weil er mit dem Teleskop – das schon früher in unserem Lande erfunden worden ist, aber erst von ihm zu einer viel größeren Vervollkommnung gebracht

<sup>3</sup> Aus dem Italienischen übersetzt von P. D'Ans, Berlin, nach dem der Preußischen Staatsbibliothek gehörendem Original.

wurde – vier Sterne, die Satelliten des Jupiters, entdeckt und uns davon als erster die Nachricht gegeben hat, ferner den wahren und sicheren Beweis über die Beschaffenheit der Milchstraße, der Sonnenfleck, der Unebenheiten und der nebligen Teile des Mondes, des aus drei Teilen bestehenden Saturn, der scheiförmigen Venus, über die Beschaffenheit und Bahn der Kometen fand – alles Dinge, die niemals weder den Astronomen noch den Philosophen der Antike bekannt waren. So kann man sagen, daß durch ihn die Welt in neuem Licht erscheint und daß die Astronomie eine Wiedergeburt erlebt hat, aus deren Vortrefflichkeit – denn aus den Himmeln und den himmlischen Körpern erstrahlt mit größerer Klarheit und Bewunderungswürdigkeit als aus allen anderen Geschöpfen die Macht, die Weisheit und die Güte des höchsten Schöpfers – die Größe des Verdienstes des Mannes hervorgeht, der uns deren Einsicht erschlossen hat, indem er uns diese Körper trotz ihrer fast unendlichen Entfernung deutlich sichtbar gemacht hat. So sagt schon der Volksmund, daß das Sehen mehr und mit größerer Sicherheit an einem Tage lehrt, als was vieltausendmal wiederholte Lehrsätze jemals vollbringen können. Oder, wie ein anderer sagt, die sinnliche Wahrnehmung schreitet immer mit der Theorie gleichmäßig fort. Aber viel stärker offenbart sich die ihm von Gott und der Natur gewährte Gnade – allerdings mit Hilfe von vielen Mühen und durchgearbeiteter Nächte – in dem vorliegenden Werk, aus dem man ersieht, daß er der Entdecker von zwei vollständig neuen Wissenschaften, ihrer

ersten Grundlagen und ihrer Anfangsregeln ist, die folgerichtig, d.h. geometrisch bewiesen werden. Das, was dieses Werk noch wunderbarer macht, ist, daß eine der beiden Wissenschaften sich auf ein ewiges Prinzip bezieht, das allergrößte Bedeutung für die Natur hat, von allen großen Philosophen gesucht wurde und worüber unzählige Bücher geschrieben worden sind. Ich spreche von der Bewegung im Raum: Gegenstand einer unendlichen Zahl von bewunderungswerten Erscheinungen, von denen keine bisher erforscht, geschweige denn von jemandem erklärt worden ist. Die andere Wissenschaft, die ebenfalls von ihren Grundsätzen aus dargelegt worden ist, behandelt den Widerstand, den die festen Körper leisten, wenn sie durch Gewalt zertrümmert werden, eine Kenntnis von großem Nutzen besonders für die Wissenschaft und die mechanischen Künste. Auch diese ist reich an Erscheinungen und Lehren, die bisher noch nicht beachtet waren. Zu diesen beiden neuen Wissenschaften, reich an Lehrsätzen, von denen zu erwarten ist, daß sie mit dem Fortschritt der Zeit durch geniale Forscher unendlich vermehrt werden, öffnen sich in diesem Buche die ersten Pforten, und mit einer nicht geringen Anzahl von bewiesenen Lehrsätzen wird zum Fortschritt und Übergang zu zahllosen anderen der Weg gewiesen, wie es die verständnisvollen Leser einsehen und anerkennen werden.

Quelle: <https://doi.org/10.1007/BF01772795>

## Ergänzende Anmerkungen

insbesondere zur Seite 133 des Aufsatzes von MAX VON LAUE

MAX VON LAUE verweist hier auf die von GALILEI am Dritten Tag der *Discorsi* erörterten beiden Hypothesen zur Proportionalität der Geschwindigkeit bei der Fallbewegung, oder überhaupt bei der gleichförmigen Beschleunigung.<sup>1</sup> Die beiden Hypothesen lauten:

1. Die Geschwindigkeit  $v$  des fallenden Körpers wachse proportional mit dem zurückgelegten Fallweg  $s$ , d. h. also  $\overline{v \sim s}$ . Diese auch von Galilei als »falsch« verworfene Hypothese widerlegt V. LAUE wie folgt:

Mit der Naturkonstanten  $a$  drückt V. LAUE diese Hypothese mit der folgenden Gleichung aus:

$$1) \quad \frac{ds}{dt} = \frac{s}{a} \quad \text{bzw.} \quad dt = a \cdot \frac{1}{s} \cdot ds \quad \text{Integriert man beide Seiten} \quad \int dt = a \cdot \int \frac{1}{s} \cdot ds, \text{ so gilt:}$$

$$a) \quad t = a \cdot \int \frac{1}{s} \cdot ds \quad \text{bzw. für die Zeit in den Grenzen zwischen } t_0 \text{ und } t: \quad t = a \cdot \int_{t_0}^t \frac{1}{s} \cdot ds$$

Lösung des Integrals:

$$b) \quad t = a \cdot \ln s + K \quad \text{Zur Bestimmung von } K \text{ setzen wir für } t = 0 \text{ und } s = s_0 \text{ und erhalten: } 0 = a \cdot \ln s_0 + K \\ \text{bzw. für die Konstante: } K = -a \cdot \ln s_0. \text{ Eingesetzt in die Gleichung b) erhalten wir:}$$

$$c) \quad t = a \cdot \ln s - a \cdot \ln s_0 = a \cdot (\ln s - \ln s_0). \text{ Daraus folgt: } \frac{t}{a} = \ln \left( \frac{s}{s_0} \right) \text{ und gemäß der Logarithmus-}$$

Definition ergibt sich:  $e^{\frac{t}{a}} = \frac{s}{s_0}$  und  $s = s_0 \cdot e^{\frac{t}{a}}$ . Mit den oben gesetzten Grenzen  $t_0$  und  $t$  folgt daraus

$$s = s_0 \cdot e^{\frac{t}{a}} - s_0 \cdot e^{\frac{t_0}{a}} = s_0 \cdot \left( e^{\frac{t}{a}} - e^{\frac{t_0}{a}} \right) = s_0 \cdot e^{\frac{t-t_0}{a}}. \text{ Nach Umformung des Exponenten ergibt sich die}$$

von MAX VON LAUE auf Seite 133 für den Fallweg  $s$  angegebene Gleichung:

$$s = s_0 \cdot e^{\frac{t-t_0}{a}}$$

VON LAUE diskutiert anhand dieser Formel und der obigen Formel 1) zwei Möglichkeiten:

Fall 1. Mit  $t = t_0$  ergäbe sich für den Weg stets  $s = s_0 \cdot 1$  und der Fall  $s = 0$  für  $t = 0$  käme nicht vor. Die Gleichung wäre also für diesen Fall „ungeeignet“, mit folgender Ausnahme:

Fall 2. Im Grenzfall  $a = 0$ , würde (solange der Fall 1. mit  $t - t_0 = 0$  nicht eintritt) bis zu einer beliebig

kleinen Zeit die Geschwindigkeit  $v$  wegen der Gleichung 1)  $v = \frac{s}{a} = \frac{s}{0}$  bzw. der Weg  $s$  wegen

$$s = s_0 \cdot e^{\frac{t-t_0}{0}} = s_0 \cdot e^{\infty} = s_0 \cdot \infty = \infty \text{ „ins Unendliche umspringen“.}$$

Fazit: Diese Hypothese ist falsch. So auch die Schlussfolgerung von GALILEI: „Also ist es falsch, dass die Geschwindigkeiten proportional der Fallstrecke wachsen.“<sup>2</sup>

2. Als zweite Hypothese behauptet GALILEI, die Geschwindigkeit  $v$  des fallenden Körpers wachse proportional mit der Fallzeit  $t$ , also  $\overline{v \sim t}$ . Diese Hypothese erweist sich für ihn als „allereinfachste“ und „Jedermann plausible Weise“<sup>3</sup>. VON LAUE bestätigt (mit  $g$  als Naturkonstante) deren Richtigkeit mit folgender Gleichung:

<sup>1</sup> Laue, Max von: Zum dreihundertsten Geburtstag des ersten Lehrbuchs der Physik, Berlin 6. März 1938, in: Die Naturwissenschaften, hrsg. v. Arnold Berliner, 26. Jahrgang, Heft 9, 4. März 1938 (Verlag von Julius Springer), S. 129-135. Aktuell online bei Springer: <https://doi.org/10.1007/BF01772794>.

<sup>2</sup> Galilei, Galileo (Discorsi): Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend (1638), hrsg. und übersetzt von Arthur von Oettingen, Nachdruck Darmstadt 1973 (Wissenschaftliche Buchgesellschaft), S. 154 [17].

<sup>3</sup> ebenda, S. 147.

$$2) \quad \frac{ds}{dt} = g \cdot t \quad \text{bzw.} \quad ds = g \cdot dt \quad \text{Beide Seiten integriert:} \quad \int ds = \int g \cdot t \cdot dt \Rightarrow s = g \cdot \int t \cdot dt$$

$$\text{Lösung: } s = \frac{1}{2} \cdot t^2 \cdot g + s_0 \quad \text{oder: } \boxed{s \sim t^2} \quad \text{Damit lässt sich der freie Fall zutreffend beschreiben.}$$

In diesem Sinne formuliert GALILEI sein auch in der klassischen Mechanik der modernen Physik anerkanntes Weg-Zeit-Gesetz für die gleichförmige Beschleunigung mit den Worten:

»Wenn ein Körper von der Ruhelage aus gleichförmig beschleunigt fällt, so verhalten sich die in gewissen Zeiten zurückgelegten Strecken wie die Quadrate der Zeiten.«<sup>1</sup>

Als „Beweis“ für die durch Galilei begründete Widerlegung der Hypothese, die *Geschwindigkeit* wachse proportional mit der *Fallstrecke*, gibt v. LAUE ein Zitat aus den *Discorsi* mit folgendem Wortlaut an<sup>2</sup>:

„Da der Strecke  $2s$  die doppelte Geschwindigkeit entsprechen soll wie der Strecke  $s$ , so werden beide in der gleichen Zeit durchlaufen, was nur möglich ist, wenn diese Zeit Null ist.“<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hef 24, S. 16. (Galilei, Discorsi)

Dieser Satz steht so **nicht** in den *Discorsi*. Er gibt die zur Widerlegung dieser Hypothese von GALILEI vorgetragene Argumente sinngemäß in verkürzter Form wieder. Irritationen hätte VON LAUE vermeiden können, wenn er die Anführungszeichen einfach weggelassen hätte. Im Original heißt es dazu bei GALILEI:<sup>3</sup>

„Wenn die Geschwindigkeiten proportional den Fallstrecken wären, die zurückgelegt worden sind oder zurückgelegt werden sollen, so werden solche Strecken in gleichen Zeiten zurückgelegt; wenn also die Geschwindigkeit, mit welcher der Körper vier Ellen überwand, das doppelte der Geschwindigkeit sein sollte, mit welcher die zwei ersten Ellen zurückgelegt wurden, so müssten die zu diesen Vorgängen nöthigen Zeiten einander ganz gleich sein; aber eine Ueberwindung von vier Ellen in derselben Zeit wie eine von zwei Ellen kann nur zu Stande kommen, wenn es eine instantane Bewegung giebt; wir sehen dagegen, dass der Körper Zeit zum Fallen gebraucht, und zwar weniger für zwei als für vier Ellen Fallstrecke; also ist es falsch, dass die Geschwindigkeiten proportional der Fallstrecke wachsen.“

Anmerkungen:

Der erste Satz von GALILEI soll im Folgenden an einem Zahlenbeispiel verdeutlicht werden. Dort heißt es:

„Wenn die Geschwindigkeiten proportional den Fallstrecken wären, die zurückgelegt worden sind oder zurückgelegt werden sollen, so werden solche Strecken in gleichen Zeiten zurückgelegt; wenn also die Geschwindigkeit, mit welcher der Körper vier Ellen überwand, das doppelte der Geschwindigkeit sein sollte, mit welcher die zwei ersten Ellen zurückgelegt wurden, so müssten die zu diesen Vorgängen nöthigen Zeiten einander ganz gleich sein.“ Wir ersetzen in der folgenden Berechnung statt der von Galilei verwendeten „Ellen“ durch die Maßeinheit „Meter“.

- a) Annahmen: Wir nehmen an, die Fallgeschwindigkeit  $v$  eines Körpers steige je 1 m Fallstrecke um 2 m/s gleichmäßig an (siehe Skizze). Demnach würde der Körper bei einer Anfangsgeschwindigkeit  $v_A = 0$  am Ende der Fallstreckenabschnitte von 1 m, 2 m, 3 m und 4 m nebenstehende Endgeschwindigkeiten  $v_E$  erreichen:

$$\begin{aligned} \text{nach } s_1 = 1 \text{ m} &\Rightarrow v_{E1} = 2 \text{ m/s} \\ \text{nach } s_2 = 2 \text{ m} &\Rightarrow v_{E2} = 4 \text{ m/s} \\ \text{nach } s_3 = 3 \text{ m} &\Rightarrow v_{E3} = 6 \text{ m/s} \end{aligned}$$

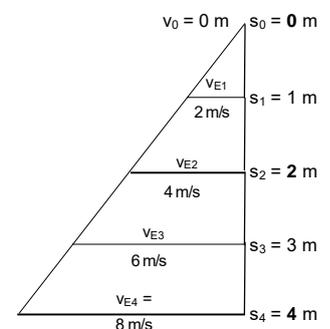
- b) Berechnung der gegenüber  $v_0 = 0$  jeweils erreichten *mittleren Geschwindigkeiten*:

$$1. \text{ auf der Fallstrecke von } s_0 \text{ bis } s_1 = 1 \text{ m: } v_{D1} = \frac{v_{E1} - v_A}{2} = \frac{2 \text{ m/s} - 0}{2} = 1 \text{ m/s}$$

$$2. \text{ auf der Fallstrecke von } s_0 \text{ bis } s_2 = 2 \text{ m: } v_{D2} = \frac{v_{E2} - v_A}{2} = \frac{4 \text{ m/s} - 0}{2} = 2 \text{ m/s}$$

$$3. \text{ auf der Fallstrecke von } s_0 \text{ bis } s_3 = 3 \text{ m: } v_{D3} = \frac{v_{E3} - v_A}{2} = \frac{6 \text{ m/s} - 0}{2} = 3 \text{ m/s}$$

$$4. \text{ auf der Fallstrecke von } s_0 \text{ bis } s_4 = 4 \text{ m: } v_{D4} = \frac{v_{E4} - v_A}{2} = \frac{8 \text{ m/s} - 0}{2} = 4 \text{ m/s}$$



**Bild 1:** Diese Dreiecksform mit der Darstellung der am Ende bestimmter Abschnitte jeweils erreichten Geschwindigkeitsstufen in Form waagerechter Linienstrecken war bei Galilei durchaus üblich (siehe: Galilei: Dialog über ..., S. 243)

<sup>1</sup> Galilei (Discorsi), a.a.O., S. 159 [22].

<sup>2</sup> Laue, a.a.O., S.133.

<sup>3</sup> Galilei (Discorsi), a.a.O., S. 153 f. bzw. S. [16] f. der 3-bändigen Ausgabe, aus der v. Laue zitiert.

c) Berechnung der Fallzeiten  $t_n$ 

$$1. \text{ auf der Fallstrecke von } s_0 \text{ bis } s_1 = 1 \text{ m : } t_1 = \frac{s_1}{v_{D1}} = \frac{1 \text{ m}}{1 \text{ m/s}} = 1 \text{ s}$$

$$2. \text{ auf der Fallstrecke von } s_0 \text{ bis } s_2 = 2 \text{ m : } t_1 = \frac{s_2}{v_{D2}} = \frac{2 \text{ m}}{2 \text{ m/s}} = 1 \text{ s}$$

$$3. \text{ auf der Fallstrecke von } s_0 \text{ bis } s_3 = 3 \text{ m : } t_3 = \frac{s_3}{v_{D3}} = \frac{3 \text{ m}}{3 \text{ m/s}} = 1 \text{ s}$$

$$4. \text{ auf der Fallstrecke von } s_0 \text{ bis } s_4 = 4 \text{ m : } t_4 = \frac{s_4}{v_{D4}} = \frac{4 \text{ m}}{4 \text{ m/s}} = 1 \text{ s}$$

Damit konnten wir zeigen, dass unter den von GALILEI gemachten Voraussetzungen, die obige Berechnung in der Tat übereinstimmt mit dessen Aussage: „Wenn also die Geschwindigkeit, mit welcher der Körper vier Ellen überwand, das doppelte der Geschwindigkeit sein sollte, mit welcher die zwei ersten Ellen zurückgelegt wurden, so müssten die zu diesen Vorgängen nöthigen Zeiten einander ganz gleich sein.“ Insofern ist auch die Schlussfolgerung von GALILEI zutreffend, dass „aber eine Ueberwindung von vier Ellen in derselben Zeit wie eine von zwei Ellen kann nur zu Stande kommen [kann, J.S.], wenn es eine instantane Bewegung giebt“.

Die von GALILEI kritisierte aristotelische Physik bestreitet die Möglichkeit einer „instantanen“ Bewegung. Denn dies hieße, dass die Zeit, in der sich eine Änderung der Wegstrecke  $s$  vollzieht, Null wäre, d. h. der Körper springt von einem Ort bzw. einer Wegmarke  $s_1$  zu einer weiter entfernt liegenden Wegmarke  $s_2$  ohne dass Zeit vergeht oder anders ausgedrückt: in ein und demselben Augenblick  $t$  befindet sich der Körper gleichzeitig an zwei verschiedenen Orten. Dies ist auch nach der klassischen Mechanik der modernen Physik in der Tat nicht möglich. Sie konstatiert gleichwohl wie GALILEI bei der gleichförmigen Beschleunigung die Möglichkeit einer stetig sich ändernden Geschwindigkeit, was durch den Begriff der *Momentangeschwindigkeit* zum Ausdruck gebracht wird. Die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Momentangeschwindigkeiten ist ebenfalls „instantan“ und als diskrete Differenz nicht bestimmbar.<sup>1</sup> Insofern ist die von GALILEI vorgetragene Kritik an der von den Anhängern der aristotelischen Physik –wie etwa ALBERT VON SACHSEN<sup>2</sup>– behaupteten proportionalen Abhängigkeit der Geschwindigkeit von der Fallstrecke berechtigt und nachvollziehbar.

Indessen ist die Schlussfolgerung von GALILEI, dass ein Körper zum Fallen „weniger Zeit für zwei Ellen als für vier Ellen Fallstrecke“ brauche der Möglichkeit nach zwar zutreffend, rechtfertigt ab keineswegs die Schlussfolgerung, es sei „falsch dass die Geschwindigkeiten proportional der Fallstrecke wachse.“ Insofern spricht v. LAUE zu Recht davon, dass dieser „Fehlschluss“ von GALILEI „offenbar und doppelt merkwürdig“ sei, auch wenn „das Ergebnis jedoch stimmt.“<sup>3</sup> Denn die Zeiten für verschieden große Fallstrecken können durchaus gleich sein, ja selbst bei den von GALILEI als richtig beurteilten Eigenschaften der „gleichförmig beschleunigten Bewegung“, die, so heißt es bei GALILEI, „von Anfang an in gleichen Zeiten gleiche Geschwindigkeitszuwüchse ertheilt“, wäre dies der Fall. Sein damit begründetes Weg-Zeit-Gesetz lautet: „Wenn ein Körper von der Ruhelage aus gleichförmig beschleunigt fällt, so verhalten sich die in gewissen Zeiten zurückgelegten Strecken wie die Quadrate der Zeiten.“<sup>4</sup> Auf der nächsten Seite wird dieser Sachverhalt mit einem Zahlenbeispiel veranschaulicht.

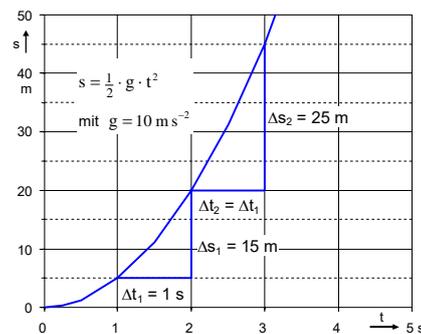
<sup>1</sup> Dazu bemerkt Stillman Drake: „Die Momentangeschwindigkeit war für Galilei ein mathematischer Begriff, der für seine Analyse der konstanten Beschleunigung notwendig war, dem ab kein physikalischer Vorgang entsprach. Es gab keine Bewegung, also auch keine Geschwindigkeit ohne Zeitdauer.“ Drake, Stillman: Ergänzungen, in: Galilei, Galileo: Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltssysteme (1632), Nachdruck Stuttgart 1982 (Teubner), S. 577\*.

<sup>2</sup> Albert von Sachsen (1316 bis 1390), auch Albert von Rickmersdorf. Er war Mathematiker und Logiker und lehrte von 1351 bis 1362 an der Universität in Paris, war zeitweise sogar deren Rektor. Dort hielt er u.a. Vorlesungen über Aristoteles. 1366 bis 1390 war als Albrecht III. Bischof von Halberstadt. Vgl. dazu: <https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Albert/#>

<sup>3</sup> ebenda.

<sup>4</sup> Galilei (Discorsi), ebenda.

Beispiel: Nehmen wir an, ein Körper fällt von der Wegmarke 0 gleichförmig mit der konstanten Fallbeschleunigung  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Nach dem Fallgesetz von GALILEI hätte er nach 1. Sekunde einen Fallweg von 5 m zurückgelegt, nach der 2. Sekunde 20 m und nach der 3. Sekunde 45 m. In dem Zeitabschnitt  $\Delta t_1$  von der 1. bis zur 2. Sekunde fällt er demnach 15 m und in dem Zeitabschnitt  $\Delta t_2$  von der 2. bis zur 3. Sekunde 25 m (siehe Bild 2). Obwohl sich die errechneten Fallwege mit  $\Delta s_1 = 15 \text{ m}$  und  $\Delta s_2 = 25 \text{ m}$  deutlich voneinander unterscheiden, braucht der Körper für diese verschiedenen Fallwege wegen der ansteigenden Geschwindigkeit jeweils nur 1 Sekunde ( $\Delta t_2 = \Delta t_1 = 1 \text{ s}$ ), also die gleiche Zeit. Andererseits ist hier auch der von GALILEI angesprochene andere Fall belegbar, dass ein Körper für eine kürzere Fallstrecke eine geringere Zeit benötigt, dass also „der Körper Zeit zum Fallen gebraucht, und zwar weniger für zwei als für vier Ellen Fallstrecke“.



**Bild 2:** s-t-Diagramm der Fallbewegung mit  $g=10 \text{ ms}^{-2}$

Fazit: Mit der von GALILEI vorgetragenen Argumentation lässt sich die Hypothese, „dass Geschwindigkeiten proportional der Fallstrecke wachsen“, nicht zweifelsfrei und schlüssig widerlegen. Insofern ist der Einwand v. LAUES berechtigt und sein Hinweis wichtig, dass GALILEI zwar diesen „Fehlschluss“ gezogen hat, obwohl er „kurz zuvor den Begriff der stetig veränderlichen Geschwindigkeit so exakt analysiert hat, wie es ohne ausdrückliche Benutzung der Infinitesimalrechnung nur möglich ist“, und umso bemerkenswerter sei GALILEIS Resultat: „Das Ergebnis jedoch stimmt.“<sup>1</sup>

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass GALILEI die Argumentationsmuster der Infinitesimalrechnung keineswegs fremd waren. So entwickelt er am Beispiel der gleichförmigen Beschleunigung auf der Grundlage eines Geschwindigkeit-Zeit-Diagramms den Grundgedanken der Integration einer „unendlichen Zahl von Geschwindigkeitsstufen“ und deren Darstellung in Form unendlich vieler paralleler, verschieden langer Linien zu einer Fläche unter der v-t-Linie „versinnlicht“, die schließlich „jede von dem Körper zurückgelegte Strecke“ repräsentiert.<sup>2</sup> Dazu folgende Erläuterung:

Galilei entwickelte 1632 das Prinzip der Integration am Beispiel der von ihm als gleichförmig angenommenen Beschleunigung beim freien Fall anhand der bei ihm üblichen Form eine Zeit-Diagramms (siehe Bild 2): „Um also die unendliche Anzahl der Geschwindigkeitsstufen zu versinnlichen, welche der Stufe DH vorangehen, muß man sich unendlich viele kleinere und immer kleinere Linien denken, welche man sich parallel zu DH von den unendlich vielen Punkten der Linie DA aus gezogen zu denken hat. Diese **unendliche Anzahl von Linien** stellt uns aber schließlich die **Fläche des Dreiecks AHD** dar. So können wir uns vorstellen, jede von dem Körper zurückgelegte Strecke, welche vom Ruhezustand aus in gleichförmig beschleunigter Bewegung passiert wird, habe unendlich viele Geschwindigkeitsstufen verbraucht und erforderlich gemacht, entsprechend den unendlich vielen Linien, welche man von Punkt A beginnend, parallel der Linie HD sich gezogen denkt und desgleichen parallel den Linien IE, KF, LG, BC, wobei die Bewegung beliebig weit fortgesetzt werden kann.“

Graphik und Text aus: Galileo Galilei, Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme (1635), Leipzig 1891 (Nachdruck: Stuttgart 1982), S.243 f. Die Achsen- und Größenbezeichnungen in der Graphik sind von mir, J.S.)

**Bild 3:** Graphische Darstellung von Galilei zur Erläuterung des Integrationsprinzips

Ich teile nicht uneingeschränkt die Einschätzung v. LAUES, dass GALILEI in den Discorsi mit seiner Argumentation zur Widerlegung der von Anhängern der aristotelischen Physik aufgestellten Hypothese von der proportionalen Abhängigkeit der Geschwindigkeit von dem zurückgelegten Weg ( $v \sim s$ ) „nach jenem Trugbeweis der Momentanbewegung ... den stärksten wirklichen Angriffspunkt bietet“<sup>3</sup>. Zunächst wäre zu klären, inwieweit der VON LAUE verwendete Begriff der „Momentanbewegung“ vollständig übereinstimmt mit dem von GALILEI benutzten Begriff der „instantanen Bewegung“. Von Interesse ist in diesem Zusammenhang auch, dass GALILEI noch 1604 in einem Brief an PAOLO SARPI<sup>4</sup> –wie bereits etwa 270 Jahre zuvor ALBERT VON SACHSEN– „die Proportionalität der

<sup>1</sup> Laue, ebenda.  
<sup>2</sup> Galilei (Dialog): a.a.O., S. 243 f.  
<sup>3</sup> Laue, a.a.O., S. 134.  
<sup>4</sup> Galilei (Dialog), a.a.O., 530 (Fußnote 75 zu S. 211). Dies gesteht Galilei selbst später in den Discorsi ein: Galilei (Discorsi), a.a.O., S. 153 [16].

instantanen Geschwindigkeit zum zurückgelegten Weg“ behauptete<sup>1</sup>. Das auf der Grundlage der Darlegung von GALILEI zur Veranschaulichung erstellte Zahlenbeispiel hat gezeigt, dass GALILEI mit seiner Argumentation dem Leser durchaus eine begründete Skepsis –gleichsam als eine Art *Anfangsverdacht*– gegenüber der Richtigkeit der Hypothese,  $v$  sei proportional  $s$ , aufzeigt.

Die gelegentlich verwirrend erscheinenden Ansichten GALILEIS sind vermutlich der Tatsache geschuldet, dass er nicht selten zwischen aristotelischen Denkfiguren der Scholastik und seinen eigenen neuen Entwürfen selbst innerhalb eines Satzes hin- und herspringt. Insbesondere was die *Momentangeschwindigkeit* angeht, gab es selbst innerhalb der scholastischen Naturphilosophie verschiedene Interpretationen. Die „Momentangeschwindigkeit“, so heißt es in der gründlichen Detailanalyse von ANNELIESE MAIER, sei eines der „schwierigsten Probleme, auf die das 14. Jahrhundert gestossen ist.“<sup>2</sup> Zudem lassen sich beispielsweise auch die von ALBERT V. SACHSEN vorgetragene Überlegungen zu dessen „Fallgesetz“, wonach „die Geschwindigkeit proportional zum zurückgelegten Weg ist“, nicht in den Rahmen der klassischen Mechanik einfügen.“<sup>3</sup>

Die Schwierigkeiten, in die sich auch GALILEI in den *Discorsi* an manchen Stellen verstrickt sah, werden deutlich, wenn man sich die Problematik von Begriffsbestimmungen in der Übergangsphase zwischen Spätscholastik und Renaissance vor Augen führt. Fassen wird diese Schwierigkeiten der Mechanik an der Schwelle zu Neuzeit mit der folgenden Darstellung von ANNELIESE MAIER zusammen:

„Die Scholastik wusste zwar, dass die Fallbewegung eine beschleunigte Bewegung ist und nahm auch im allgemeinen an, dass die Geschwindigkeit in gleichmässiger Weise zunimmt. Aber sie kam zu keiner klaren Erkenntnis, dass diese Zunahme proportional zur Zeit erfolgt. Es gibt hier nämlich zwei Möglichkeiten, zwischen denen noch DESCARTES und GALILEI in ihren Anfängen geschwankt haben: die Zunahme der Fallgeschwindigkeit kann proportional zur Zeit, sie kann aber auch proportional zum zurückgelegten Weg erfolgen. Die beiden Annahmen bedeuten nicht dasselbe, denn der zurückgelegte Weg ist proportional nicht zur Fallzeit, sondern zu ihrem Quadrat, es ist darum nicht gleichgültig, ob man die Fallgeschwindigkeit mit der Zeit oder mit dem Weg wachsen lässt. Und das hat das 14. Jahrhundert noch nicht gewusst. Es ist zwar richtig, dass in der Buridan-Schule gelegentlich ausgesprochen worden ist, dass die Fallgeschwindigkeit mit zunehmender Zeit wächst, wir finden aber auf der andern Seite bei denselben Autoren genau so gut die Vorstellung, dass die Geschwindigkeit proportional zum zurückgelegten Weg zunimmt, ohne ausdrückliche Entscheidung für die eine oder für die andere Auffassung. Der Grund ist einfach der, dass die Spätscholastik zwischen diesen beiden Möglichkeiten gar keinen Unterschied macht, dass sie die beiden Gesichtspunkte vielmehr als gleichbedeutend betrachtet und darum die Ergebnisse, ohne ausdrücklich darüber zu reflektieren, als äquivalent ansieht. Kurz: das Problem wurde gar nicht gesehen, und so können wir auch nicht gelegentliche Äusserungen im einen oder andern Sinn als Entscheidung einer Frage ansehen, die überhaupt nicht gestellt wurde.“<sup>4</sup>

Auf einen anderen Aspekt dieser Diskussion verweist DIJKSTERHUIS: Ungereimtheiten hätten wohl auch damit zu tun, dass es in jener Zeit „natürlich nicht ehrlich zugegangen ist. Die Argumentation ist durch und durch falsch, und hätte auch niemals zu einem richtigen Ergebnis führen können, wenn dieses nicht von vorneherein festgestanden hätte.“<sup>5</sup> Gleichwohl kann man „hier natürlich die Frage stellen, ob die Wissenschaftsgeschichte nichts Besseres zu tun hat, als die nachgelassenen Schmierzettel eines großen Mannes zu durchschnüffeln, um zu sehen, ob er etwa im Laufe seiner Untersuchungen auch Fehler gemacht hat. ... Und so lehrt uns denn auch der Schmierzettel, auf welchem GALILEI die unmöglichsten logischen Windungen vollführen muß, um aus einer unhaltbaren Prämisse eine richtige Erkenntnis abzuleiten, eine Menge wichtiger Dinge.“<sup>6</sup> Abschließend noch ein Fazit zur didaktischen Bedeutung der *Discorsi* aus der Feder eines Mannes, der sich wohl wie kaum ein anderer mit den Formulierungen GALILEIS auseinandergesetzt hat, nämlich der Übersetzer und Kommentator der ersten deutschen *Discorsi*-Ausgabe ARTHUR VON OETTINGEN: „Die »Discorsi« sind zu wenig gekannt. Der Leser wird manchen ihm aus Lehrbüchern geläufigen Beispielen begegnen, die hier zuerst behandelt worden; wie selten wird in solchen Fällen des genialen Mannes gedacht, der der Schöpfer der Physik war und zahlreiche Gebiete bahnbrechend betrat. Die Lectüre *Galilei's* wird jedem Studirenden nützlich sein, aber auch der Lehrer und Docent wird sich die freie populäre Sprechweise zum Muster nehmen und zur Nacheiferung sich angeregt fühlen. Die Berücksichtigung gangbarer Irrtümer und im Volke verbreiteter fehlerhafter Anschauungen wird noch heute volles Interesse finden.“<sup>7</sup>

Jochen Sicars, 12. März 2023

<sup>1</sup> Dijksterhuis, E.J.: Die Mechanisierung des Weltbildes, Berlin 1983 (Springer), S. 208. Siehe auch S. 293 und 377 ff.

<sup>2</sup> Maier, Anneliese: Die Vorläufer Galileis im 14. Jahrhundert, Studien zur Naturphilosophie der Spätscholastik, Roma 1949 (Edizioni di Storia e Letteratura), Nachdruck: Modena 1977 (Foto-Lito Dini), S. 121. Online-Version (auszugsweise): [https://books.google.de/books?id=TGbOileQJQgC&printsec=frontcover&hl=de&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.de/books?id=TGbOileQJQgC&printsec=frontcover&hl=de&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

<sup>3</sup> Dijksterhuis, ebenda, S. 208

<sup>4</sup> Maier, ebenda, S. 120 f. (Fußnote 8).

<sup>5</sup> ebenda, S. 378.

<sup>6</sup> ebenda.

<sup>7</sup> Nachwort zum Zweiten Tag von Arthur v. Oettingen in: Galilei (*Discorsi*), a.a.O., S. 127. Vgl. auch ebenda, S. 260 [123].