Frühe Wegbereiter der Werkstoffprüfung und Festigkeitslehre

Autor(en): **Sigwart, Hans**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG**

Band (Jahr): **56 (1985)**

PDF erstellt am: **05.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-378178

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

mathematische Wahrheiten, denn er erkennt sie alle. Die Erkenntnis der wenigen aber, welche der menschliche Geist begriffen, kommt meiner Meinung an objektiver Gewissheit der göttlichen Erkenntnis gleich; denn sie gelangt bis zur Einsicht ihrer Notwendigkeit, und eine höhere Stufe der Gewissheit kann es wohl nicht geben.»[26]

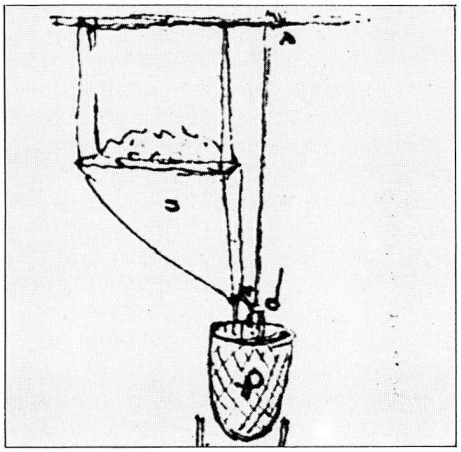
Damit stösst Galilei jedoch in den Bereich der Theologie vor und beschwört einen Konflikt mit der die katholische Reform verteidigenden Inquisition herauf. Diese abschliessende Bemerkung soll verdeutlichen, weshalb es der Aufklärung vorbehalten war, den Schritt zu den modernen naturwissenschaftlichen Begriffen und Methoden in aller Konsequenz zu vollziehen. Galilei stiess mit seinen neuen Denkansätzen an die Grenzen der göttlichen Vorsehung und Verantwortung, wie sie die damalige katholische Reformtheologie eben erst wieder gegen die Auffassungen der protestantischen Lehren neu gezogen hatte, und schien dem Menschen ein allzu gewichtiges Instrument zum Gebrauch in eigener Verantwortung in die Hand geben zu wollen, ohne aber eine breite, philosophisch abgestützte Basis für dieses Gedankengebäude zu schaffen. So ist es erst Descartes und Newton neben Leibniz gelungen, den Durchbruch in eine neue Zeit zu schaffen.

Frühe Wegbereiter der Werkstoffprüfung und Festigkeitslehre

Dr. Hans Sigwart, Stuttgart

Schon sehr früh hat der Mensch seine Erzeugnisse oder die eines anderen einer Prüfung unterzogen, auf Funktionstüchtigkeit, auf Sicherheit, auch Echtheit. In ägyptischen Grabreliefs finden wir die Prüfung von Waffen, Hammurabi, König von Babylon, kleidet die Sicherheit von Bauwerken in Gesetzesform, Archimedes prüft die Echtheit einer Krone. Auch die Sage von Wieland, dem Schmied, oder die Erzählung vom Ritter Don Quijote behandelt die Prüfung von Waffen. Doch systematische und wissenschaftlich begründete Werkstoffprüfungen oder Überlegungen über die Festigkeit der Werkstoffe beginnen erst um den Ausgang des Mittelalters.

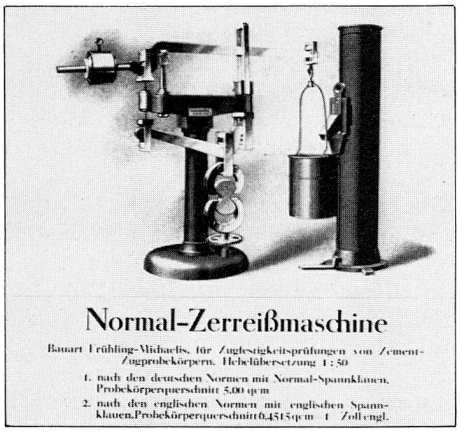
Leonardo da Vinci (1452–1519), das grosse oder wahrscheinlich grösste Genie des Mittelalters, ist nicht nur bekannt durch seine Mona Lisa in Paris und sein Abendmahl in Mailand, sondern er hat auch, seiner Zeit weit voraus, zahllose technische Konstruktionen entworfen. In Vinci, seinem Geburtsort, ist ein kleines Museum, in dem viele seiner Gedanken in beweglichen Modellen verwirklicht sind. Ihm verdanken wir den wohl ersten Entwurf einer Werkstoffprüfmaschine, nämlich eines Zugprüfgerätes für Drähte. Er bemerkt dazu: «Denke daran, das Experiment zu machen, wieviel Gewicht ein Eisendraht halten kann. Bei diesem Experiment sollst Du so vorgehen: Hänge einen Eisendraht von zwei Ellen Länge an einen Ort, der ihn festhält. Dann hänge einen



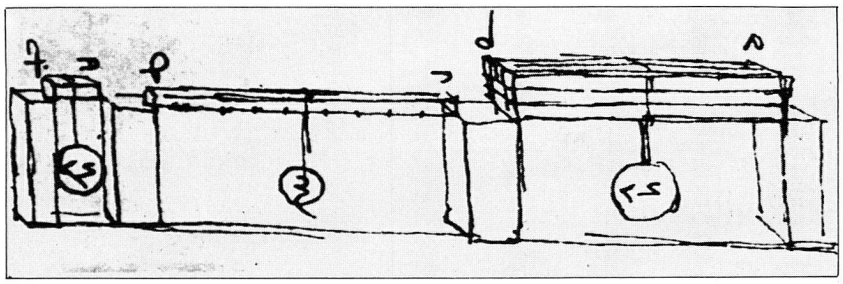
Korb oder etwas Ähnliches daran, in den Du durch ein kleines Loch einen Trichter voll feinen Sandes einlaufen lässt. Wenn der Eisendraht die Last nicht mehr tragen kann, zerreisst er. Bringe eine kleine Feder an, die sofort das Loch des Trichters schliesst, damit nicht mehr Sand in den Korb fällt. Notiere Dir, wie gross das Gewicht war, als der Draht riss, und notiere Dir auch, an welcher Stelle der Draht gerissen ist. Mache das Experiment immer wieder, um zu erkunden, ob der Draht immer an der gleichen Stelle reisst.»

Die Buchstaben an der Zeichnung a, b, c, d sind, wie alle Schriften bei Leonardo, in Spiegelschrift von rechts nach links geschrieben. Leonardo muss Linkshänder gewesen sein. Dafür spricht eine von ihm gefertigte Zeichnung seiner Hand, die den Zeichenstift führt. Er nennt sie «La mano stanca», die müde Hand, es ist die linke!

Das Prinzip Leonardos der kontinuierlichen Prüfkraftsteigerung durch zulaufenden Sand wurde bis in die heutige Zeit beibehalten und findet sich in dem Zugfestigkeitsprüfer für Zementmörtel (DIN 1064) oder Trassmörtel (DIN 51043) wieder, der allerdings mit zulaufendem Bleischrot und einer Hebelübersetzung arbeitet.

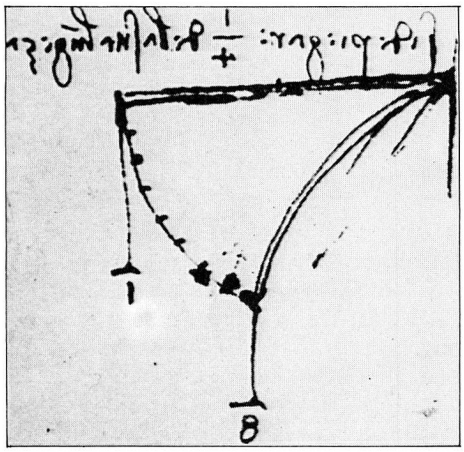


Leonardo hat sich aber auch mit Problemen der Festigkeitslehre befasst. Seine Studie über beidseitig aufliegende Balken zeigt, dass der neunfach längere Balken nur ein Neuntel der Tragkraft besitzt, wie der kurze Balken, dass jedoch neun der langen Balken, zusammengebunden, wieder die gleiche Last tragen kön-



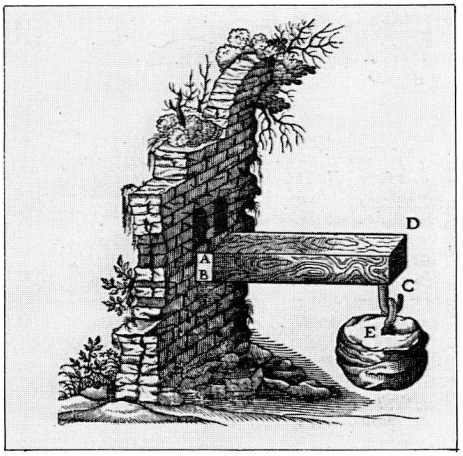
nen, wie der kurze. Auf den Gedanken, die neun zusammengebundenen Balken durch einen einzigen entsprechender Dicke zu ersetzen und damit die Tragkraft nach unserem heutigen Wissen nochmals um das Dreifache zu steigern, kommt er allerdings noch nicht.

Stattdessen hat er offenbar eine Erkenntnis, die erst 200 Jahre später durch Hooke genau formuliert werden sollte, nämlich über den Zusammenhang zwischen Kraft und Verformung. Unter seinen Skizzen im Codice Atlantico fand ich eine – nicht näher besprochen –, die einen einseitig eingespannten Stab zeigt. Es sind zwei Durchbiegungen gezeichnet, die



eine offenbar unter der Kraft 1, die andere unter der Kraft 8. Der Bogen, den das Stabende bei der Durchbiegung beschreibt, ist durch Pünktchen in acht Teile geteilt. Ich kann das nur so deuten, dass er zum Ausdruck bringen wollte, dass die achtfache Last den achtfachen Verformungsweg hervorruft, auch wenn er in der Eile auf dem Bogen ein Pünktchen zuviel gemacht hat, es hätten nur sieben Abschnitte sein dürfen. Trotzdem scheint mir, das Hooke'sche Gesetz war hier schon entdeckt!

Nun begegnen wir dem Mann, der allgemein als der Begründer der Festigkeitslehre und der Werkstoffprüfung gilt, nämlich Galileo Galilei (1564–1642). Wie vorhin gezeigt, war er jedoch nicht der erste, doch gilt als erwiesen, dass er die Arbeiten Leonardos nicht gekannt hat. Auch Galilei beschäftigte sich mit dem einseitig eingespannten Balken, der



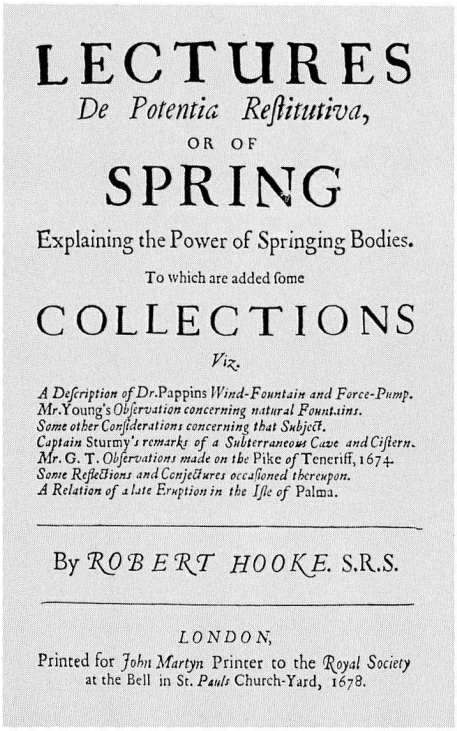
am äusseren Ende auf Biegung belastet wird. Es kommt ihm jedoch nicht auf experimentelle Werkstoffwerte, sondern auf die Gesetzmässigkeit bei Biegung an. So erkennt er, dass die Tragfähigkeit eines Balkens von rechteckigem Querschnitt mit der Breite und mit dem Quadrat der Höhe zunimmt. Ebenso ist ihm bekannt, dass bei einem zylindrischen Körper hierfür die dritte Potenz des Durchmessers massgebend ist. In seinen «Discorsi» lässt er den Schüler fragen: «Ich kann den Grund noch nicht einsehen, warum bei verhältnisgleicher Vergrösserung aller Teile nicht im selben Masse auch der Widerstand zunimmt. Und um so schwieriger erscheint mir die Frage, als oft gerade im Gegenteil die Bruchfestigkeit mehr zunimmt als die Verstärkung des Materials, wie zum Beispiel bei zwei Nägeln in einer Mauer, von denen der eine nur doppelt so dick ist wie der andere, während seine Tragfähigkeit um das Dreifache, ja um das Vierfache wächst.» Der Lehrer, in dem Galilei sich selber beschreibt, korrigiert ihn: «Sage, bitte, um das Achtfache.» Damit formuliert er, bis auf die Konstante, unser heutiges Widerstandsmoment.

Doch auch mit Zugversuchen beschäftigt sich Galilei, wieder nicht experimentell, sondern als Gedankenmodell. So schreibt er: «Nimm einen kupfernen Draht beliebiger Länge, befestige das obere Ende an irgend etwas, und belaste das untere Ende immer mehr und mehr, bis der Draht reisst. Und sei das Maximalgewicht 50 Pfund gewesen, so ist klar, dass 50 Pfund Kupfer zum Eigengewicht des Drahtes, welches etwa ⅛ Unze betrage, hinzugefügt und in Draht der gewählten Sorte ausgezogen, die maximale Länge desjenigen Kupferdrahtes ergäbe, der sich gerade noch halten kann. Messe alsdann, wie lange der Faden war, welcher zerriss, es sei zum Beispiel eine Elle: Und da er ⅛ Unze wog und da er sich selbst und 50 Pfund dazu trug, welches = 4800 Achtel Unzen sind, so folgt daraus, dass jeder Kupferdraht von beliebiger Dicke sich selbst tragen kann bis zu einer Länge von 4800 Ellen und nicht mehr.» Bemerkenswert ist seine logische Folgerung «von beliebiger Dicke», womit er den heutigen Begriff der Reisslänge, die wir als Quotient aus Zugfestigkeit und spezifischem Gewicht verstehen, definiert. Den Begriff der Spannung oder Festigkeit kennt allerdings auch er noch nicht.

Der nächste auf unserem Weg durch die Geschichte ist der englische Physiker Robert E. Hooke (1635–1703). Er war sehr vielseitig, beschäftigte sich mit mikroskopischen Untersuchungen, nahm lange vor Huygens die Wellennatur des Lichtes an und erklärte die Entstehung der Interferenzfarben der Seifenblasen. Er meint dazu: «Licht ist eine sehr kurze Schwingbewegung senkrecht zu den geraden Linien der Ausbreitung.»

Sehr wahrscheinlich ist er der erste, der eine Unruhfeder in der Uhr benutzte, obwohl dies auch Huygens zugeschrieben wird und zwischen beiden ein erbitterter Prioritätsstreit entbrannte. Als Huygens 1674 eine solche Uhr vorführte, liess Hooke beim Londoner Uhrmacher Tompion auch eine solche Uhr bauen, gravierte sie: «Robert Hooke inven. 1658, T. Tompion fecit 1675» und schenkte sie dem König. Mehrere Briefe aus den sechziger Jahren beweisen seine Priorität.

Seiner Beschäftigung mit diesen Uhrfedern wird vielfach die Entdeckung seines Elastizitätsgesetzes zugeschrieben. Das ist nur zum Teil richtig. In seinen «Lectures De Potentia Restitutiva or of Spring» 1678, sagt er zunächst, dass ihm die

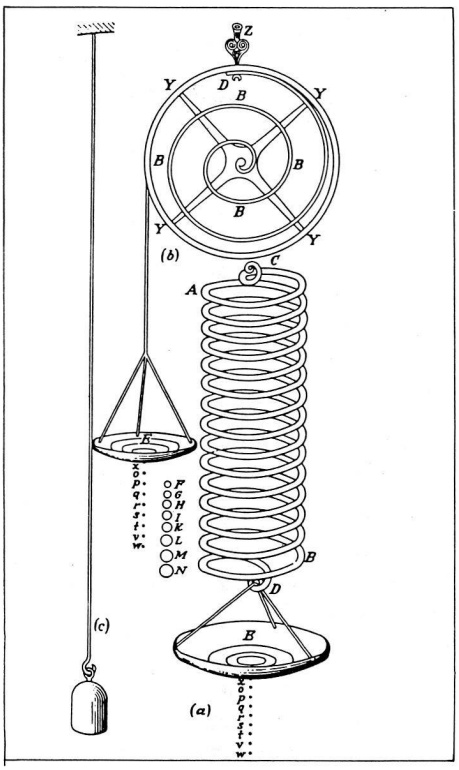

LECTURES
De Potentia Restitutiva,
OR OF
SPRING
Explaining the Power of Springing Bodies.
To which are added some
COLLECTIONS
Viz.
A Description of Dr. Pappins *Wind-Fountain and Force-Pump.*
Mr. Young's *Observation concerning natural Fountains.*
Some other Considerations concerning that Subject.
Captain Sturmy's *remarks of a Subterraneous Cave and Cistern.*
Mr. G. T. *Observations made on the* Pike *of* Teneriff, 1674.
Some Reflections and Conjectures occasioned thereupon.
A Relation of a late Eruption in the Isle of Palma.
By *ROBERT HOOKE.* S.R.S.
LONDON,
Printed for *John Martyn* Printer to the *Royal Society* at the Bell in St. *Pauls* Church-Yard, 1678.

Theorie der Federn schon seit etwa 18 Jahren bekannt sei, er aber unterlassen habe, sie zu veröffentlichen. Den Fundamentalsatz «Ut tensio, sic vis» erläutert er: «That is, The Power of any Spring is in the same proportion with the Tension thereof.» Schon zwei Jahre vorher, also 1676, hatte er die Leser seines Buches über Sonnengläser (Helioscopes) am Ende überrascht mit einem Rätsel in Form eines Anagramms: ceiiinossttuv. Bringt man die Buchstaben in die richtige Reihenfolge, so ergibt sich tatsächlich: ut tensio, sic vis!

Hooke erklärt sein Gesetz durch drei Experimente (Bild 10), an einer Schraubenfeder (Torsion), an einer Spiralfeder (Biegung) und an einem Draht (Zug). Zu dem für uns wichtigsten dritten Fall schreibt er: «Nimm eine Drahtsaite von 20, oder 30, oder 40 Fuss Länge, und befestige das obere Ende davon an einen Nagel, und am unteren Ende befestige eine Schale, die Gewichte aufzunehmen. Dann nimm mit einem Paar Zirkelspitzen den Abstand des Bodens der Schale vom Grund oder Boden darunter, und notiere den genannten

Zeittafel

um -2200	Kontrollvorgang in Ägypten
um -1900	Materialprüfung (?) in Ägypten
um -1700	Gesetze des Hammurabi in Babylon
um -1460	Funktionsprüfungen in Ägypten
um -250	Archimedes, Gesetz des Auftriebs
um 300	Wieland, der Schmied
um 1495	Leonardo da Vinci, Zugprüfgerät
1605	Cervantes, Don Quijote
1638	Galilei, Discorsi
1678	Hooke, ut tensio, sic vis
1807	Young, Elastizitätsmodul
1817	Rennie, Druck- und Zugversuche Telford, Zugfestigkeit von Stahl
1822	Cauchy, Spannungsbegriff
1852	Werder, Zugprüfmaschine
1860	Wöhler, Dauerversuche
1862	Krupp, Zugprüfmaschine
1864	Sorby, Metallographie
1880	Martens, Metallmikroskop
1884	Erste Bauschinger-Konferenz
1886	Martens, Spiegelfeinmessgerät
1894	Schenck, Prüfmaschine mit Laufgewicht
1895	Gründung des IVM in Zürich
1896	Materialprüfung mit Röntgenstrahlen
1898	Zeiss, Vertikal-Illuminator
1900	Brinell-Härteprüfung
1901	Charpy, Kerbschlagversuch
1912	von Laue, Röntgendurchleuchtung von Kristallen Erichsen, Tiefungsversuch
1919	Hoke, Magnetische Rissprüfung Rockwell-Härteprüfung
1925	Smith und Sandland, Vickers-Härte
1927	Thum, erster Lehrstuhl für Werkstoffkunde
1929	Sokoloff, Materialprüfung mit Ultraschall
1937	Förster, Wirbelstromprüfung
1939	Ruge, Dehnungsmessstreifen
1941	Gassner, Betriebsfestigkeit
1965	Erich-Siebel-Gedenkmünze des DVM
1971	Materialprüfung auf der Briefmarke



Abstand, dann lege Gewichte in die genannte Schale in derselben Weise wie bei den früheren Versuchen (Anmerkung: die er sehr ausführlich beschrieben hat), und messe die verschiedenen Dehnungen der genannten Saite, und notiere sie. Dann vergleiche die verschiedenen Dehnungen der genannten Saite, und Du wirst finden, dass sie immer dieselben Proportionen zueinander haben, wie die Gewichte, die sie verursacht haben.» Dann folgt noch das Beispiel des einseitig eingespannten hölzernen Stabes bei Biegung, das wir schon von Leonardo und Galilei kennen.

Auf den Fundamenten von Leonardo, Galilei und Hooke konnten dann die nachfolgenden Generationen, wie die Engländer Young und Telford, der Franzose Cauchy, die Deutschen Wöhler und Martens aufbauen, um ihrerseits der Werkstoffprüfung und Festigkeitslehre zu bahnbrechenden Fortschritten zu verhelfen.