Von der göttlichen zur menschlichen Verantwortung. Der Weg zur wissenschaftslichen Materialprüfung

Autor(en): **Tschudin, Peter**

Objekttyp: **Article**

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

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

PDF erstellt am: **01.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-378177

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.

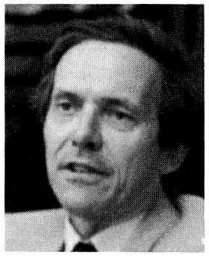
Haftungsausschluss

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

Von der göttlichen zur menschlichen Verantwortung. Der Weg zur wissenschaftlichen Materialprüfung



Dr. Peter Tschudin, Riehen/Basel

1. Einleitung
An den Anfang dieser Betrachtung über die Geschichte der Materialprüfung sei ein Bibelzitat gestellt, nämlich die bekannte Stelle aus dem 1. Buch Mose, Kapitel 6, Verse 13ff.[1]: «Da sprach Gott zu Noah: Das Ende alles Fleisches ist bei mir beschlossen; denn die Erde ist voller Frevel von den Menschen her. So will ich sie denn von der Erde vertilgen. Mache dir eine Arche von Tannenholz; aus lauter Zellen sollst du die Arche machen und verpich sie inwendig und auswendig mit Pech. Und so sollst du sie machen: 300 Ellen sei die Länge der Arche, 50 Ellen die Breite und 30 Ellen ihre Höhe; nach der Elle sollst du sie fertigstellen. Ein Dach aber sollst du oben an der Arche machen, und die Türe der Arche sollst du an der Seite anbringen. Ein unteres, ein zweites und ein drittes Stockwerk sollst du darin machen.»

An dieser Stelle wird die ursprüngliche Situation geschildert. Der Mensch lebt in der Natur. Ringsum ist er von Mächten umgeben, die ihm feindlich oder dienlich sein können. Bedient er sich der Schätze der Natur, so muss er die Mächte, wie auch immer er sie nennt oder sie sich vorstellt, um Erlaubnis oder zumindest um Verzeihung für diese Benützung bitten. Grössere Unternehmungen und gar künstliche Schöpfungen mit den von der Natur zur Verfügung gestellten Materialien entstehen einzig und allein auf göttliche Inspiration oder als Folge eines direkten Geheisses der Gottheit. Die Verantwortung für das Unternehmen oder das entstandene Werk übernimmt damit vollumfänglich die Gottheit. Entfernt sich der Mensch von den Geboten der Gottheit oder handelt er ihnen zuwider, so kommt es zum Unglück, zur Katastrophe, wie die bekannte Episode vom Turmbau zu Babel zeigt.[2]

Diese Ehrfurcht vor einem «technischen» Gebilde aus Menschenhand, das die üblichen Vorstellungen wegen seiner Form, Grösse, Eigenheiten der Konstruktion oder des Erfindungsgehaltes wegen sprengt, als vor einem göttlichen Ding findet sich in allen Kulturen der Erde. Auch das entsprechende Gegenstück, die Verantwortung der Gottheit für ein Unglück, für ein Versagen der «Technik» – ohne weiter nach dem eigentlichen Grunde zu fragen – ist dermassen verbreitet; sogar in unserer Zeit, zwei Jahrhunderte nach der Aufklärung, nach der Industrialisierung, in einem Zeitalter, das sich stolz das «technische» nennt, finden wir diese Vorstellung lebendiger denn je. Nur hat das Wort «Gottheit» in vielen Fällen Begriffen wie «Schicksal» oder «Zufall», «unvorhersehbares Zusammentreffen von Umständen» Platz gemacht. Nicht nur im theologischen, auch im juristischen Sinn ist damit der Mensch seiner Verantwortung enthoben.

Gibt es aber, abgesehen von der Auflehnung gegen Gott und dem Frevel gegen die Natur, Fälle, in denen der Mensch eine Verantwortung für seine Konstruktion, für das richtige Funktionieren einer von Menschenhand gebauten Maschine übernehmen muss, weil er über ein sogenanntes «besseres Wissen» verfügt? Dass dieses «bessere Wissen» mit der Kenntnis des zu verwendenden Materials beginnt, an die sich die Kenntnisse der Naturwissenschaften – wie auch immer in einer Kultur diese definiert sein mögen – anschliessen, auch dieser Gedanke gehört zum frühen menschlichen Dasein. Er führt dann direkt dazu, die Materie, das Ausgangsmaterial, zu prüfen und entsprechend der Eignung zu verwenden. Die hier zu besprechende Frage, wie die historische Entwicklung der Materialprüfung vor sich gegangen sei, muss also anders gestellt werden. Es geht zunächst um die Frage der Verantwortung des Menschen für die Auswahl und die Verwendung des Materials und anschliessend um die Methode zur kritischen, vorurteilslosen Prüfung der Materie. Bekanntlich beginnt mit Galileo Galilei das, was wir unter «wissenschaftlicher Materialprüfung» verstehen. Um Galileis Festigkeits-Betrachtungen in den «Discorsi»[3] besser würdigen zu können, sei kurz die Vorgeschichte – und zwar nur im Umfeld Europas; die fernöstlichen Kulturen sind hier nicht berücksichtigt – betrachtet.

2. Die Hochkulturen des Nahen Ostens
2.1 Die Hochkulturen Mesopotamiens
Schon das Noah-Zitat führt uns ins Zweistromland. Dort findet sich auch das älteste Zeugnis dafür, dass der Mensch die volle Verantwortung für ein von seiner Hand – mit oder ohne göttliche Inspiration – gefertigtes Gebilde zu tragen hat. Es handelt sich um das – wohl nach weit älteren sumerischen Vorbildern – abgefasste Gesetzbuch des Königreiches von Eschnunna östlich von Bagdad (heute Tell Asmar). In den aus der Amoriter-Zeit, etwa um 2000 vor Christus stammenden Gesetzestafeln bestimmt der Paragraph 58: «Wenn eine Mauer einzustürzen droht und die Behörden dies dem Eigentümer angezeigt haben und dieser sie nicht verstärkt, und sie einstürzt und einen Freien tötet, ist das ein Kapitalverbrechen; zuständig ist das königliche Gericht.»[4] Daraus geht klar hervor, dass offenbar eine Behörde (Baupolizei) bestanden haben muss, welche den Zustand der Gebäude zu überwachen hatte. Der Gebäudeeigentümer war verpflichtet, festgestellte Schäden zu beheben. Die Verantwortung wurde nicht der Gottheit, sondern dem Eigentümer des Werkes überbunden. Wir dürfen annehmen, dass an anderer Stelle auch die Verantwortung des Baumeisters oder Architekten festgehalten war, wie wir es im etwas jüngeren, viel bekannteren Gesetz des Königs Hammurapi von Babylon (1728–1686 vor Christus) erfahren, das nicht nur – allerdings verstümmelt – im Original (ausgestellt im Louvre in Paris), sondern auch in mannigfachen Abschriften erhalten ist.

Der Paragraph 229 lautet: «Wenn ein Baumeister für einen Freien ein Haus gebaut hat, und er sein Werk nicht stark genug gebaut hat, so dass es einstürzt und den Eigentümer tötet, soll er getötet werden.»
Paragraph 230: «Wenn der Sohn des Eigentümers getötet worden ist, soll

der Sohn des Baumeisters getötet werden.»
Paragraph 231: «Wenn ein Sklave des Eigentümers getötet worden ist, soll der Baumeister einen Sklaven an dessen Stelle dem Eigentümer geben.»
Paragraph 232: «Wenn Güter dadurch zerstört worden sind, soll er das Zerstörte ersetzen; zudem soll er, weil er das Haus nicht stark genug gebaut hat und es deswegen eingestürzt ist, das zerstörte Haus auf eigene Kosten wieder aufbauen.»
Paragraph 233: «Wenn ein Baumeister für einen Freien ein Haus gebaut hat und unsorgfältig das Werk ausgeführt hat, so dass eine Wand gefährdet ist, so soll er die Wand auf eigene Kosten verstärken.»[5]

Aus diesen Zitaten tritt klar hervor, dass keine fatalistischen Ausflüchte anerkannt wurden. Der die volle Verantwortung tragende Baumeister war also auch verpflichtet, für die verwendeten Materialien geradezustehen, das heisst, er musste sie einer Prüfung unterziehen. Über die Art dieser Prüfung, die wir uns nicht empirisch genug vorstellen dürfen, sind wir nicht weiter unterrichtet. Der Begriff «Erfahrung» taucht nun in unserem Problemkreis erstmals auf. Wie soll denn «Erfahrung» definiert werden, ein Begriff, der im eben besprochenen Zusammenhang oft und gern als einer wissenschaftlichen Prüfmethode diametral entgegengesetzt bezeichnet wird? Etwas mehr in dieser Hinsicht verrät uns die Geschichte Altägyptens.

2.2 Altägypten
Am Anfang der altägyptischen Hochkultur, zu Beginn der Pyramidenzeit nach der Reichseinigung, begegnet uns der erste grosse Ingenieur und Techniker, Imhotep, der Schöpfer der grossartigen Pyramidenanlage von Saqqara (um 2750 vor Christus). Imhotep, Hoherpriester von On und erster Berater des Königs Djoser, gilt zu Recht als der Baumeister, der die Arbeit mit behauenen Steinen einführte und so die Lehm- und Holzbauten, zumindest in der Monumentalarchitektur, abgelöst hat. Sein technisches Wissen und Können hat ihm nicht nur einen Platz in der von ihm geschaffenen Anlage an der Seite seines Herrschers verschafft, sondern ihn zum vergöttlichten Magier werden lassen. Von ihm werden nicht nur Weisheitssprüche überliefert, man gibt ihm nicht nur den Titel eines obersten Vorlesepriesters oder Schreiber des Gottesbuches, man setzt ihn schlechthin mit einem Heilgott gleich. In der Spätzeit, mit dem griechischen Asklepios gleichgesetzt, wird sein Kult ungeheuer populär.[6]

Damit ist angedeutet, dass im Niltal die göttliche Inspiration, das geheimnisvolle Wissen und Können eines Menschen ihn über die Menschen stellt, in die Nähe der Götter, ja zu den Göttern selbst. Vor einem solchen mystischen Hintergrund nehmen sich natürlich Nachrichten über die Tradierung und das Berechnen gewisser «Erfahrungstatsachen» recht prosaisch aus und werden in den Denkmälern entsprechend verbrämt. Die stolze Beamtenschaft stellt in Gedenkinschriften es als persönliches Verdienst dar, zum Beispiel vom König zu einem Steinbruch beordert zu werden, um den richtigen Stein für einen Obelisken oder eine Kolossalstatue auszuwählen.

Wer die Technik der damaligen Zeit kennt, wird zugeben müssen, dass die Erfahrung und das Wissen um das Verhalten der Gesteinsschichten bei der Verarbeitung für eine solche Mission ausschlaggebend gewesen sein müssen. Neben diese auf Empirie und Tradition beruhende Erfahrung tritt das Berechnen, wie es klar im berühmten Disput zweier Schreiber[7] aus der Zeit des neuen Reiches hervortritt, wo unter anderem heute einem Ingenieur zugewiesene Berechnungen im Zusammenhang mit Bauten erwähnt sind. Neben Erfahrung und Tradition ist also im alten Ägypten eine – als einfach zu bezeichnende – «Ingenieurlehre» nachzuweisen, wie sie wohl auch im alten Mesopotamien bestanden haben mag. Diese Feststellungen genügen jedoch nicht, um von einer wissenschaftlichen, theoretischen Denkweise zu sprechen. Die Ansätze dieser unserer Denk- und Betrachtungsweise finden sich im alten Griechenland.

3. Das klassische Altertum
3.1 Griechenland
Mit den ionischen Naturphilosophen beginnt noch in der ersten Hälfte des letzten vorchristlichen Jahrtausends die religiöse Spekulation ganzheitlich tendierenden Überlegungen zu weichen, welche den Zusammenhang von Form und Materie zu erklären versuchen. Auf die Spekulation folgt die Theorie. Das praktische Wissen und Können erreicht rasch, mit Entlehnungen vor allem aus den benachbarten nahöstlichen Hochkulturen, ungeahnte Höhepunkte, die bis heute Inbegriff formvollendeter Meisterleistungen geblieben sind.

In diesem Zusammenhang sei auf ein auch unsere Fragestellung berührendes, oft geäussertes Missverständnis der antiken Auffassung von «Technik» hingewiesen. Das griechische Wort «Techne» bedeutet Kunst, Können, Geschicklichkeit, Kenntnis. Bis zu Aristoteles wird es gleichbedeutend mit dem Wort «Episteme», Verständnis, angewendet, und zwar sowohl auf Theorie, wie Geometrie oder Astronomie, als auch auf die praktischen Fertigkeiten, wie zum Beispiel die Schmiede- oder die Bildhauerkunst, bezogen. Eine gewisse Geringschätzung der Technik ergibt sich einmal aus der Auffassung der Handarbeit als Plackerei, die man gerne Sklaven überliess, zum anderen aus dem Primat des göttlich inspirierten menschlichen Geistes, wie es im folgenden Demokrit-Zitat[8] zum Ausdruck kommt: «Die Menschen sind auf dem Wege der Nachahmung in den wichtigen Dingen Schüler der Tiere geworden: der Spinne im Weben und Stopfen, der Schwalbe im Bauen und der Singvögel, des Schwans und der Nachtigall im Gesang.» Da der menschliche Geist aber über dem der Tiere steht, nehmen die entsprechenden Fertigkeiten eine untergeordnete Stellung ein.

Die Beschäftigung mit Problemen von Handwerk und Technik, u.a. auch der Materie auf theoretischer, wir würden sagen wissenschaftlicher Basis, nicht nur auf rein empirischer Erfahrung beruhend, gilt durchaus nicht als zweitrangig, ganz im Gegenteil: Wir finden hier erstmals die uns aus der Neuzeit so vertraute Denkweise naturwissenschaftlichen Erkennens. Dem Thema entsprechend sei als Illustration des Gesagten nicht auf ein Beispiel aus der Geometrie oder der Harmonielehre verwiesen, sondern auf die bekannte Anekdote von der Entdeckung des spezifischen Gewichtes durch Archimedes.

Ich zitiere nach Vitruv[9]: «In Syrakus hatte sich Hieron der Jüngere zu einer starken Königsmacht empor-

geschwungen. Als er nach seinen Siegen den unsterblichen Göttern in einem Heiligtum einen goldenen Kranz als Weihegabe niederzulegen beschlossen hatte, verdingte er die Anfertigung um einen Arbeitslohn und wog dem Unternehmer das Gold genau nach Gewicht zu. Dieser legte zur gegebenen Zeit das schöne handgearbeitete Werkstück zur Abnahme vor, und er schien das Gewicht des Kranzes genau abgeliefert zu haben. Später wurde Anzeige erstattet, es sei Gold weggenommen und dem Kranz an dessen Stelle Silber beigemsicht worden. Hieron war darüber erbost, dass er betrogen war. Da er jedoch kein Mittel ausfindig machen konnte, wie er die Unterschlagung hätte nachweisen können, bat er Archimedes, er sollte es übernehmen, sich darüber Gedanken zu machen. Während dieser in Gedanken mit dem Problem beschäftigt war, ging er in ein Badhaus, und als er dort in die Badewanne stieg, bemerkte er, dass ebensoviel wie er von seinem Körper in die Wanne eintauchte, an Wasser aus der Wanne herausfloss. Weil dieser Vorgang einen Weg für die Lösung der Aufgabe gezeigt hatte, hielt er sich daher nicht weiter auf, sondern sprang voller Freude aus der Badewanne, lief nackt nach Haus und rief mit lauter Stimme: Heureka, das heisst auf griechisch «Ich habe gefunden». Dann aber soll er in Verfolgung dieser Entdeckung zwei Klumpen von dem gleichen Gewicht, das auch der Kranz hatte, gemacht haben, einen aus Gold, einen zweiten aus Silber. Danach füllte er ein grosses Gefäss bis an den äussersten Rand mit Wasser, und da hinein tauchte er den Silberklumpen. Der Grösse des in das Wasser eingetauchten Silberklumpens entsprach die Menge des abfliessenden Wassers. Dann nahm er den Klumpen heraus. Darauf goss er, mit einem Sextar abmessend, so viel Wasser, wie es weniger geworden war, in das Gefäss nach, so dass das Wasser in derselben Weise, wie es vorher gewesen war, mit dem Rand eine waagerechte Fläche bildete. So fand er daraus, welches bestimmte Gewicht Silber einem bestimmten Mass Wasser entsprach. Nachdem er dies festgestellt hatte, tauchte er in der gleichen Weise einen Goldklumpen in das volle Gefäss, nahm ihn wieder heraus, fügte in der gleichen Weise das abgemessene Quantum Wasser hinzu und fand, weil der Messbecher eine geringere Anzahl von Sextaren Wasser anzeigte, um wieviel bei gleich grossem Gewicht ein Goldklumpen in seinem Volumen kleiner ist als der Silberklumpen. Später aber füllte er das Gefäss wieder auf, tauchte den Kranz selbst in das gleiche Wasser hinein und fand, dass, als der Kranz eingetaucht war, mehr Wasser aus dem Messbecher abgeflossen war als dann, als der Goldklumpen vom gleichen Gewicht eingetaucht war. Und so errechnete er aus dem, was im Falle des Kranzes mehr an Wasser zugetan war als im Falle des Goldklumpens, die Beimischung des Silbers zum Gold und wies sie und die handgreifliche Unterschlagung des Goldarbeiters nach.»

Es handelt sich dabei um den ersten Bericht über eine «moderne» Materialprüfung, bei der Experiment und Theorie Hand in Hand gehen. Neben dieser anekdotenhaften Form ist noch eine streng wissenschaftliche Ableitung der Lehre vom spezifischen Gewicht als Behauptung mit anschliessendem Beweis des Archimedes überliefert.

Dasselbe gilt auch von der bekannten Lehre vom Hebelgesetz, das neben vielen anderen Problemen bei Aristoteles und seinen Schülern immer wieder diskutiert wurde. Wir werden im Zusammenhang mit Galilei auf die Darstellung des Aristoteles zurückkommen. Die übergeordnete Diskussion um Materie und die menschliche Verantwortung findet sich ebenfalls bei Aristoteles.[10] Dabei wird nicht nur zwischen natürlichen und vom Menschen geschaffenen Dingen unterschieden, auch der in der Theorie so wichtige Unterschied von Materie und Form im Zusammenhang mit «Techne» kommt zur Sprache. Im Gegensatz zur Mathematik muss die Physik sowohl Materie als auch Form berücksichtigen.

Materie allein ist relativ. Die reine Form hingegen gehört zur Metaphysik oder zur Theologie. Damit ist auch der Prozess des Werdens angedeutet, der mit Ursprüngen und Ursachen zusammenhängt, und so wird auch eine neue Rolle für den «Zufall» oder das «Schicksal» definiert. Mit dieser Betrachtungsweise und mit dem Einbezug des Begriffs «Automaton», der inhärenten Folge, sind theoretisch die Grundlagen gelegt, welche wir als Voraussetzung für das moderne naturwissenschaftliche Denken zu betrachten gewohnt sind.

Um so erstaunlicher, dass die antike Technik der Griechen – trotz vereinzelten «Höhenflügen» wie pneumatischen Katapulten, Weihwasserautomaten und Taxametern – zu einem sogenannten «blockierten System» zu zählen ist, also ohne unmittelbar fortsetzende Entwicklung geblieben ist. Die einzige Ausnahme finden wir in der Baukunst, und dies in der Tradition der Römer.

3.2 Das antike Rom

Bezeichnend für die Charakterisierung des «praktischen» Römers ist das Bild, das im ältesten «technischen» Handbuch, dem Werk über den Ackerbau des älteren Cato[11] erhalten ist. In dieser archaisch anmutenden, denn auch in späterer Zeit etwas überarbeiteten Schrift sind – nicht immer in logischer Reihenfolge – aus der eigenen Erfahrung abgeleitete Ratschläge und Vorschriften für den Ackerbau am Anfang des 2. Jahrhunderts vor Christus zusammengestellt, welche viele technische Einzelheiten enthalten. So werden zum Beispiel die für den Bau eines Pressenhauses erforderlichen Materialien und Einzelteile nicht nur beschrieben, sondern mit den nötigen Massangaben als konkrete Arbeitsvorschriften mitgeteilt («... Pressenständer, 2 Fuss dick; 9 Fuss hoch, inbegriffen die Halterung ...»; «... Bodenkonstruktion: nach dem Nivellieren wird eine erste Schicht Kies und mit Sand versetzten Kalkmörtels eingebracht und festgestampft; darüber kommt eine ähnliche Zweitschicht; bringe darüber eine 2 Finger dicke Schicht feingesiebten Kalkmörtels ein und lege die Gehschicht von trockenen Tonscherben. Diese muss ausgeglichen und geglättet werden, damit der Fussboden gut sei ...»).

Über die Prüfung des Materials erfahren wir in diesem Text nichts; jedoch gestatten die vorhandener Zahlen, einen Vergleich mit den heute geltenden Materialnormen aufzustellen und Rückschlüsse auf die damals verwendeten Erfahrungswerte für Sicherheitsfaktoren zu ziehen. Der Grundsatz «Safety first» bestimmte offenbar die tradierten Erfahrungswerte in hohem Masse; der Vergleich zum Beispiel der bei

Cato angegebenen Holzmasse zu den 1890 geltenden offiziellen, einen vier- bis achtfachen Sicherheitsfaktor enthaltenden Werten der Verfügung von 1890 der Bauabteilung des Preussischen Ministeriums für Öffentliche Arbeiten zeigt, dass Catos Balken nach den Vorschriften der Neuzeit nur halb so stark hätten dimensioniert werden müssen.

Über den Stand der Materialkenntnis und der Materialprüfung geben uns das breit angelegte Handbuch der Baukunst des Vitruv (Zeit des Augustus) und die enzyklopädische Naturgeschichte des älteren Plinius (1. Jahrhundert nach Christus) Auskunft. Dass dabei die theoretischen Überlegungen nicht etwa in den Hintergrund gestellt wurden, zeigt das an die aristotelische Lehre anknüpfende Einleitungskapitel Vitruvs über die Baumaterialien[12]: «Zuerst glaubte Thales, das Wasser sei der Grundstoff aller Dinge. Heraklit aus Ephesos, der wegen der dunklen Ausdrucksweise in seinen Schriften von den Griechen ‚Skoteinos (der Dunkle)' genannt wurde, das Feuer. Demokrit und sein Nachfolger Epikur die Atome, die die Unseren ‚unzerschneidbare Körper', einige auch ‚unteilbare' nannten. Die Lehre der Pythagoräer fügte zum Wasser und Feuer nocht die Luft und das Erdige hinzu. Obwohl Demokrit den Grundstoffen nicht besondere Namen beilegte, sondern nur ‚unteilbare Körper' annahm, scheint er also die gleichen Dinge deshalb so genannt zu haben, weil sie, wenn sie voneinander getrennt sind, nicht verletzt werden und nicht untergehen, auch nicht durch Zerschneidungen geteilt werden, sondern immerwährend in aller Ewigkeit in sich unbegrenzten festen Bestand behalten.
Da also durch die Verbindung dieser Grundstoffe alle Dinge sich zusammenfügen und zu entstehen scheinen und diese in den unzähligen Arten von Dingen von der Natur verschieden verteilt sind, glaubte ich, über die Mannigfaltigkeit und die Unterschiede der Verwendung dieser Dinge und darüber, welche Eigenschaften sie beim Hausbau haben, handeln zu sollen, damit, wenn diese Eigenschaften bekannt sind, die, die zu bauen beabsichtigen, keinen Missgriff tun, sondern sich Materialien beschaffen, die zur Verwendung beim Hausbau geeignet sind.»

Vitruv postuliert hier also nicht nur Materialkenntnis, sondern impliziert eine Prüfung der zu verwendenden Materialien. An einzelnen Stellen gibt er direkte Hinweise über Prüfmethoden an, so zum Beispiel im Kapitel vom Sande[13]: «Die Arten des Sandes aber sind folgende: schwarzer, grauer, roter, rötlich-brauner. Von diesen sind die besten die, die, in der Hand gerieben, knirschen. Sand aber, der erdhaltig ist, wird keine Schärfe besitzen. Ebenso wird er geeignet sein, wenn er, verstreut über ein weisses Laken und dann herausgeschüttelt oder herausgeworfen, dieses nicht beschmutzt und sich keine Erde darauf absetzt.» Im Kapitel über die Ziegelsteine[14] wird erwähnt, dass nur vollständig ausgetrocknete Ziegelsteine zum Hausbau Verwendung finden sollen, und das bedinge eine Lagerzeit von zwei Jahren; «daher gebrauchen auch die Einwohner von Utica Ziegel, wenn sie trocken und fünf Jahre vorgestrichen sind, erst dann beim Bau von Wänden, wenn sie als solche durch behördliches Gutachten anerkannt sind.» Einmal mehr weist eine solche Stelle auf das Vorhandensein amtlicher Prüfinstanzen hin. Leider entziehen sich die für derartige Prüfungen verwendeten Kriterien unserer Kenntnis.

In den weiteren Büchern seines Werkes kommt Vitruv auch auf öffentliche Bauten zu sprechen. Dabei gibt er – der Tradition des alten Cato folgend – die Angaben über die Festigkeit der Materialien nicht als Prüfkriterien, sondern wiederum als konkrete Masse; auch hier zeigt sich, dass gegenüber neuzeitlichen Vorschriften ein etwa sechzehnfacher Sicherheitsfaktor eingerechnet wurde.

Lassen Sie mich aus dem siebenten Buch des Vitruv noch eine Prüfvorschrift zitieren. Sie betrifft den Zinnober. «Zinnober wird durch Beimischung von Kalk gefälscht. Wenn jemand seine Unverfälschtheit feststellen will, wird er folgendes Verfahren anwenden müssen. Er nehme ein Eisenblech. Darauf lege er das Zinnober und stelle es ins Feuer, bis das Eisenblech glüht. Wenn sich infolge der Hitze die Farbe verändert hat und schwarz ist, nehme er das Eisenblech vom Feuer weg und, wenn es, so wieder erkaltet, seine frühere Farbe annimmt, wird es beweisen, dass es unverfälscht ist. Behält es aber die schwarze Färbung, zeigt es an, dass es verfälscht ist.»[15]

Oder im achten Buch[16] eine Prüfvorschrift für Wasser: «Wenn eine neue Quelle gegraben ist und man in ein korinthisches oder ein anderes Gefäss, das aus guter Bronze besteht, Wasser aus dieser Quelle hineingespritzt hat und es keine Flecken macht, dann ist das Wasser sehr gut. Wenn man ferner dieses Wasser in einem Kupfergefäss gekocht hat, es darin hat stehenlassen und es dann ausgiesst, dann hat dieses Wasser ebenfalls die Prüfung bestanden, wenn sich auf dem Boden des Gefässes kein Sand oder Schlamm findet.»

Aus diesen Zitaten wird die Natur der verwendeten Prüfmethoden klar: Es handelt sich um theoretisch kaum sauber abgestützte, aber in der Überlieferung und/oder der Erfahrung verankerte experimentelle Reproduktionen von Vorgängen, wie sie in der Handwerkspraxis vorkommen, vermischt mit magisch-analogen Schlüssen, wie wir sie zum Beispiel vom Pilzprüfen (Schwärzung eines Silberlöffels) kennen.

4. Der Weg durch das Mittelalter

4.1 Das Handwerk

Mit der Völkerwanderung gehen die Kenntnisse des klassischen Altertums nicht etwa verloren. Ihre Fortsetzung und Weiterentwicklung ist jedoch entscheidend in Frage gestellt. Bestimmend wirkt die Tatsache, dass für eine raffiniertere Technik im frühen Mittelalter weder der vorauszusetzende staats- und wirtschaftspolitische Nährboden noch ein entsprechender Bedarf vorhanden sind. Die Technik beschränkt sich weitgehend auf ein Handwerk, das die Bedürfnisse des Alltags einer vorwiegend bäuerlichen Bevölkerung zu befriedigen hat. Einzelne Meisterleistungen wie zum Beispiel der Bau von Wikingerschiffen oder von Stabkirchen bestätigen die Regel. So wie das kulturelle Erbe der Antike nur an ausgewählten Orten weiter tradiert wird, finden sich wissenschaftliche, künstlerische und auch die wichtigere technisch/mathematische Kultur nur an wenigen Orten. Dabei stechen die Leistungen der islamischen Hochschulen hervor.

4.2 Die Bauhütten

Die Kenntnisse der antiken Technik,

vor allem der römischen Baukunst, haben sich nur an einer Stelle durchs Mittelalter hindurch erhalten und sind dort sogar weiterentwickelt worden, in den für das Errichten von Grossbauten erforderlichen Werkstätten, den Bauhütten. Kontakte zu Byzanz einerseits, zu den islamischen Reichen andererseits haben dabei eine entscheidende Rolle gespielt. Wir finden sie denn auch in Notizen und Skizzen von Bauhütten-Meistern oder Architekten wie zum Beispiel in den Aufzeichnungen des französischen Baumeisters Villard de Honnecourt (um 1235).[17]

4.3 Proto-Industrialisierung
Im Hoch- und Spätmittelalter bildet sich aus der Spezialisierung einzelner Handwerks- und Gewerbezweige eine Proto-Industrialisierung heraus, die auf den Grundlagen des alten Handwerks aufbaut, jedoch bereits mechanisierte Hilfsmittel benutzt. Die Materialprüfung bleibt jedoch, wie wir dem Schweigen der überlieferten Quellen entnehmen müssen, auf der Stufe der pragmatischen Beurteilung der einzelnen Werkstücke stecken, die sich ihrerseits auf traditionelle Erfahrung gründet.

4.4 Theologie, Philosophie, Naturwissenschaften
Mit dem Aufkommen der europäischen Universitäten veränderte sich die Beschäftigung mit den überlieferten Werken der Antike. Wohl wurde aus der Theologie der Begriff der «Autorität» übernommen, deren Texte und Meinungen unwidersprochen anzunehmen waren, bald finden sich aber Stimmen, welche ein kritikloses Übernehmen der «Autoritäten» nicht immer gutheissen. Gerade auf dem Gebiet der Naturbeschreibung und der auf der philosophischen Logik aufbauenden Mathematik finden sich viele eigenständige Entwicklungen. Das in unserem Zusammenhang interessierende naturwissenschaftlich-technische Experiment blieb jedoch auf die Tätigkeit der Alchemisten beschränkt, die ihre Erkenntnisse nur zögernd und verschlüsselt, wenn überhaupt, tradierten.

Weil die aristotelischen Untersuchungen vor allem belebte Substanzen betreffen, wurde schon im Altertum ein Materie-Begriff gesucht, der auch anorganischen Substanzen Rechnung tragen würde. Mit Robert Grosseteste[18] gelingt im 13. Jahrhundert der Übergang von metaphysischen Materie-Erörterungen zu naturphilosophischen Einzeluntersuchungen. Die scholastische Auseinandersetzung um die Begriffe «Form» und «Materie» und die spätere Kritik an diesen Begriffen (zum Beispiel Wilhelm von Ockham[19] sind vor dem Hintergrund der aristotelischen Auffassung, die wahre Naturerkenntnis vermittle den Übergang vom Alltagswissen zur Einsicht in die tieferen, allgemeineren Ursachen, zu sehen, wie sie am Anfang der aristotelischen «Physik» skizziert wird. Im Gegensatz zu Pythagoras und seinen Anhängern ist für Aristoteles und das auf seine Lehre aufbauende Mittelalter hingegen die Mathematik kein Mittel zur Erkenntnis der Natur, sondern eine menschliche Gedankenabstraktion. Entsprechend wird Physik als Teilwissenschaft von den materiellen Dingen bezeichnet.

Die Entwicklung, die in der Spätscholastik das Aufkommen der Einzelwissenschaften fördert, ermöglicht – zusammen mit der Abkehr von der mittelalterlichen Lehr- und Denkweise – in der Renaissance eine neue Betrachtung der Überlieferungen der klassischen Antike. Der gleichzeitig einsetzende, ungeahnte Aufschwung in Wirtschaft und Handel führt zu einer Vielzahl von Einzelerfindungen, die vollständig neue Aspekte eröffnen, wie zum Beispiel die Buchdruckerkunst Gutenbergs, oder aber einen folgenschweren Durchbruch der in der Antike wurzelnden Möglichkeiten bedeuten wie zum Beispiel mehrere der bei Agricola dargestellten Maschinen für die Verwendung im Bergbau bekunden.[20] Das in der Praxis nachweisbare, durch diese Entwicklungen gewaltig gesteigerte Bedürfnis nach einer verbesserten Kenntnis der Materialeigenschaften ruft nach vermehrter Materialprüfung, die – soweit die erhaltenen Zeugnisse es zulassen – auf mehr oder weniger empirischen Funktionsprüfungen basieren, wie zum Beispiel der spätmittelalterliche Test für Geschützrohre zeigt, bei dem das Rohr mit der Mündung auf den Boden gerichtet durch den Rückstoss einer gezündeten Pulverladung emporgeschleudert wird, um allfällige Risse entdecken zu können. In den Schriften Leonardo da Vincis ist ein Versuch zur Feststellung der Reissfestigkeit eines Drahtes beschrieben.[21]

Vor diesem Hintergrund sind die Überlegungen, die Galileo Galilei (1564–1642) als Begründer der modernen Werkstoffprüfung in die Überlieferung haben eingehen lassen, zu sehen.

5. Galilei
Die als unmittelbare Vorgänger Galileis zu bezeichnenden italienischen Ingenieure des 16. Jahrhunderts[22] berufen sich allesamt auf die seit der Renaisssance wiederentdeckten und verbessert überlieferten mechanischen und mathematischen Schriften der Antike, vor allem des Archimedes und des Aristoteles, ungeachtet deren verschiedener Ausgangspunkte. In ihren Schriften wird die Überwindung der aristotelischen Trennung von Physik und Mathematik deutlich, auch wenn die antike Auffassung von «Mechane» als einer die elementaren Gesetze der Natur überwindenden Kunst deutlich wird.

Galileis «Mechanik» (1593) und das «Novum Organum» von Francis Bacon (1620) zeigen hingegen auf, dass der Gebrauch von Maschinen durchaus mit der Natur und ihren Gesetzen im Einklang steht. Damit ist ein weiteres gedankliches Hindernis auf dem Weg zur neuzeitlichen Auffassung von Technik und Materie beseitigt. Wie steht es nun aber mit dem für unsere Fragestellung als Hauptzeugnis zu zitierenden Werk, den «Discorsi» Galileis?

Wie bei ihren Werken seine Vorgänger geht auch Galilei vor allem von den Problemen der Statik aus. Für die «Discorsi» bietet sich das Arsenal von Venedig als Rahmen an, der sinngemäss zu den aufgeworfenen Fragen passt, die in der Form des besten antiken Dialogs abgehandelt werden.[23]

Nicht nur in dieser äusseren Form, auch beim Ausgangspunkt der Fragestellung beruft sich Galilei ausdrücklich immer wieder auf Aristoteles, speziell auf die – nicht Aristoteles persönlich, wohl aber seinem direkten Schülerkreis zuzuschreibenden – «mechanischen Probleme», in denen von Durchbiegung, Traglast und Bruchfestigkeit eines Holzbalkens die Rede ist und als Erklärung auf das Hebelgesetz verwiesen wird, das mathematisch spätestens seit Archimedes praktisch und theoretisch bekannt war. Dabei wird bereits bei

Aristoteles auf die Funktion des Gewichtes eines Holzstückes im Verhältnis zu seiner Länge hingewiesen.

Mit dem Hinweis auf das Hebelgesetz gibt sich allerdings Galilei nicht zufrieden. Auch er geht zwar von der archimedischen Mathematik des Hebels aus, unterstellt dann aber Bruch- und Reissfestigkeit derselben Beweisführung und geht in der Folge auf die Wirkung der Form und der Stellung eines Werkstückes ein. Damit überwindet er den Punkt, an dem Archimedes und Aristoteles ihre Untersuchungen beendeten, auch wenn er keine neuen mathematischen Hilfsmittel einzuführen braucht. Dass es sich dabei - im Gegensatz zu einer oft geäusserten Meinung - um ein Gedankenexperiment und um eine mathematisch begründete theoretische Aussage handelt und nicht um die Ausarbeitung einer Prüfvorschrift, zeigt die Folge des Dialogs.

Galilei geht nun vom theoretischen Extremfall eines Körpers aus, der bei Belastung durch das eigene Gewicht sich an der Grenze des Zerbrechens befindet. Dadurch gelangt er zum allgemeinen Schluss, dass «weder Kunst noch Natur ihre Werke unermesslich vergrössern können, so dass es unmöglich erscheint, immense Schiffe, Paläste oder Tempel zu erbauen, deren Ruder, Rahen, Gebälk, Eisenverkettung und andere Teile bestehen könnten: Wie andererseits die Natur keine Bäume von übermässiger Grösse entstehen lassen kann, denn die Zweige würden schliesslich durch das Eigengewicht zerbrechen; auch können die Knochen der Menschen, Pferde und anderer Tiere nicht übergross sein und ihrem Zweck entsprechen, denn solche Tiere könnten nur dann so bedeutend grösser werden, wenn die Materie fester wäre und widerstandsfähiger als gewöhnlich; sonst müssten bedeutende Verdickungen der Knochen gedacht werden, damit keine Deformationen eintreten ...»[24]

Von dieser philosophischen Betrachtung kehrt aber Galilei zur konkreten Materie zurück und stellt die Frage nach der Berechnung von maximalen und minimalen Momenten und Widerständen. Damit ist die Grundlage gegeben, um im Rückgriff auf das Problem bei Aristoteles, der fragt, warum es weniger Kraft koste, einen Stab zu zerbrechen, wenn man dessen Enden weit vom Knie anfasse, zurückzukommen und mathematisch das Problem der Bruchlast bei wechselndem Unterstützungspunkt eines Balkens anzugehen. Den Gipfelpunkt der Diskussion bildet die Berechnung der Form eines Körpers, der auf seiner ganzen Länge den gleichen Bruchwiderstandswert besitzen soll. Auch hier wird zwar der mathematische Lehrsatz des Aristoteles über die Spiralen zu Hilfe genommen und die Konstruktion einer Parabel beschrieben, doch verblüfft das Ergebnis. Am Ende kommt Galilei auf die theoretische Ableitung der Festigkeitsvorteile eines Rohres gegenüber einem massiven Körper unter Berücksichtigung der Gewichtsverminderung zu sprechen und eröffnet somit der Festigkeitslehre neue Horizonte.[25]

Diese kurze Inhaltszusammenfassung der einschlägigen Stellen aus dem zweiten Dialog der «Discorsi» lässt uns bereits erkennen, dass die Schrift Galileis weit entfernt von dem ist, was sich in der Folge als «Materialprüfung» im neuzeitlichen Sinn herausgebildet hat, denn Galilei verbleibt bei der Weiterentwicklung der theoretischen Ansätze der Antike, ohne die materialspezifischen Eigentümlichkeiten und Werte, die doch mit den von ihm behandelten Begriffen für die Anwendungstechnik im engsten Zusammenhang stehen, zu berücksichtigen. Ebenfalls fehlt irgendein Hinweis auf die Konstruktion eines speziellen Prüfapparates oder einer Prüfmaschine zur Ermittlung eben dieser materialspezifischen Werte. Damit stellt sich Galilei in die Tradition der Antike einerseits, des Spätmittelalters und der Renaissance andererseits. Sein Verdienst ist es, die Türe zu einem neuen Verständnis von Materie im Zusammenhang von Physik und Mathematik weit geöffnet zu haben, indem er begriffliche und gedankliche Hindernisse ausräumte, überlieferte Ansätze ausbaute und mit seinen - wenn auch teilweise nur in Gedanken ausgeführten - «Experimenten» im Zusammenhang mit seinen Berechnungen den Weg wies, auf dem sich die moderne Werkstoffprüfung und Konstruktionslehre entwickeln konnte.

Durch das Aufzeigen der Berechenbarkeit von Materie, Form und Grösse im Funktionszusammenhang der Natur, wozu auch vom Menschen ersonnene Maschinen gehören, hat Galilei aber die letzten Argumente entkräftet, welche die Verantwortung für ein Werk aus Menschenhand dem allmächtigen Schöpfer der Natur überbinden wollten. Seine Ansatzpunkte führten ihn noch zu weiteren, viel allgemeineren Schlüssen: «...ich behaupte, dass der menschliche Intellekt einige Wahrheiten so vollkommen begreift und ihrer so unbedingt gewiss ist, wie es nur die Natur selbst sein kann. Dahin gehören die rein mathematischen Erkenntnisse, nämlich die Geometrie und die Arithmetik. Freilich erkennt der göttliche Geist unendlich viel mehr

Anmerkungen und Literaturhinweise

[1] *Zitiert nach der Zwingli-Bibel, Zürich 1931*

[2] *1. Mose, 11*

[3] *Galileo Galilei, Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla mecanica & i movimenti locali, Leiden 1638; deutsche Übersetzung von A. von Oettingen, Leipzig 1907.*[2]

[4] *Zitiert nach der engl. Textausgabe bei James B. Pritchard, The Ancient Near East, Vol. I. S. 138, Princeton, 1973°*

[5] *Pritchard op.cit. S. 163f.*

[6] *H. Bonnet, Reallexikon der ägyptischen Religionsgeschichte, Berlin 1952, S. 322-324*

[7] *Pap. Anastasi I (London); A. Gardiner, Hieratic Texts, Leipzig 1911, Vol. I; A. Erman, Die Literatur der Ägypter, Leipzig 1923 (deutsche Übersetzung)*

[8] *Fr. 154 (Diels H., Die Fragmente der Vorsokratiker, s.v. Demokrit, Berlin 1934*[5]*)*

[9] *Vitruv, De Architectura, ed. C. Fensterbusch, Darmstadt 1911 (lat./deutsch), 9. Buch, Kap. 9-12*

[10] *Historisches Wörterbuch der Philosophie, ed. J. Ritter und K. Gründer, Band 5, Basel 1980, Sp. 874-877 (W. Detel); siehe spezielle Aristoteles, Physik, II, 3-7*

[11] *M. Porcius Cato, De Agri Cultura, ed. H.B. Ash, London 1954 (lat./engl.)*

[12] *Vitruv, De Architectura II, 2*

[13] *II, 4*

[14] *II, 3*

[15] *VII, 9, 5*

[16] *VIII, 4*

[17] *Zeichnungsalben in der Bibliothèque Nationale und im Louvre, Paris*

[18] *A.C.Crombie, Robert Grosteste and the origins of experimental science, Oxford 1953*

[19] *Wilhelm von Ockham, Philosophia Naturalis, I, 12 (Rom 1637)*

[20] *Georg Agricola, De Re Metallica, Basel 1556*

[21] *Codice Atlantico; Leonardo da Vinci, Das Lebensbild eines Genies, Wiesbaden 1955, S. 273*

[22] *Siehe F. Klemm, Geschichte der Technik, Hamburg 1983, S. 92f.*

[23] *Zur Dialogform siehe R. Hirzel, Der Dialog, 1895 (Nachdruck 1963)*

[24] *Discorsi, S. 108 der deutschen Übersetzung*

[25] *Discorsi, S. 125 der deutschen Übersetzung*

[26] *Galileo Galilei, Sidereus Nuncius, ed. H. Blumenberg, Frankfurt/M. 1965, S. 262f.*

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]

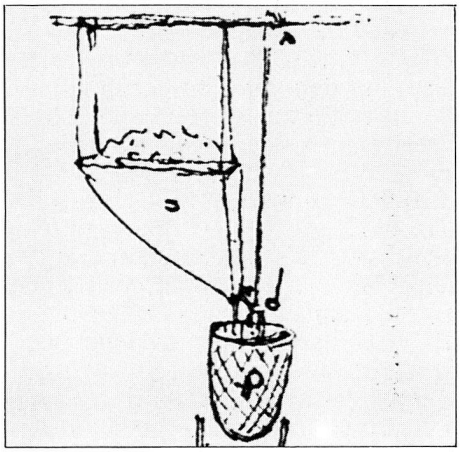
Damit stösst Galilei jedoch in den Bereich der Theologie vor und beschwört einen Konflikt mit der die katholische Reform verteidigenden Inquisition herauf. Diese abschliessende Bemerkung soll verdeutlichen, weshalb es der Aufklärung vorbehalten war, den Schritt zu den modernen naturwissenschaftlichen 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.

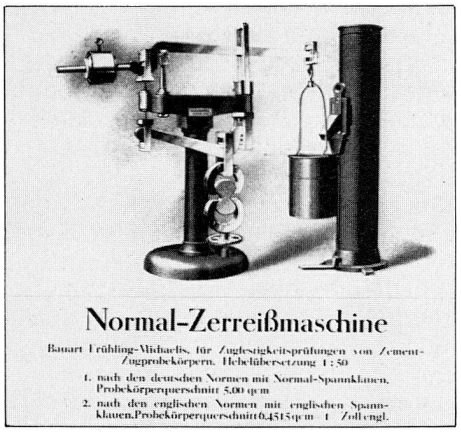
Leonardo da Vinci (1452–1519), das grosse oder wahrscheinlich grösste Genie des Mittelalters, ist nicht nur bekannt durch seine Mona Lisa in Paris und sein Abendmahl in Mailand, sondern er hat auch, seiner Zeit weit voraus, zahllose technische Konstruktionen entworfen. In Vinci, seinem Geburtsort, ist 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-