Werkstoffkunde und Festigkeitslehre

Autor(en): **Fichter, Rudolf**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **86 (1968)**

Heft 49: **Eduard Amstutz zum 65. Geburtstag, 2. Sonderheft**

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-70203

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

Werkstoffkunde und Festigkeitslehre

DK 66.017.001:539.4.01.001

Die «verschiedenen Sprachen» der Ingenieure und Materialkundler

Von Dr. phil. **Rudolf Fichter**, Vorstand der Abt. Metallkunde und Metallographie der EMPA, Dübendorf-Zürich

Wenn der Ingenieur als Student Festigkeitslehre lernt oder sie später für seine Berechnungen benützt, so betrachtet er den Werkstoff als ein Kontinuum, dessen Eigenschaften womöglich noch nach allen Richtungen isotrop sind. Er bringt in Gedanken eine Belastung am betrachteten Bauteil an, und berechnet aus dieser Belastung und dem Eigengewicht die Spannungen im Bauteil. Was dabei im Innern seines Materials vor sich geht, interessiert ihn im allgemeinen wenig.

Der selbe Werkstoff wird z. B. vom Metallkundler und vom Festkörperphysiker ganz anders betrachtet: Er sieht darin vor allem die Atome und ihre Anordnung in einem Kristallgitter (z. B. bei Metallen) oder in Makromolekülen und Fasern (z. B. in Kunststoff und Holz). Er ist bestrebt, die Eigenschaften der Stoffe — nicht nur die mechanischen, welche den Ingenieur vor allem interessieren, sondern auch die anderen — in Beziehung zum submikroskopischen, atomaren Aufbau und zum mikroskopisch erkennbaren Gefüge sowie zu der chemischen Zusammensetzung zu bringen und zu erklären. Der naturwissenschaftlich ausgebildete Materialfachmann geht in seiner Betrachtungsweise und in seinen Experimenten z. B. vom einzelnen Kristall aus und schliesst dann weiter auf die Eigenschaften eines polykristallinen Haufwerks.

Die Festigkeitslehre, welche der Ingenieur betreibt, hat je nach den getroffenen Annahmen verschiedene Theorien und verschiedene Formeln ausgearbeitet, welche die Spannung zu berechnen gestatten, die dem Material, auch bei mehrachsiger Beanspruchung, noch zugemutet werden darf. So haben sich im Laufe der Zeit u. a. die Hauptspannungshypothese (vor allem geeignet für Rechnungen an relativ spröden Werkstoffen), die Schubspannungshypothese (bewährt für Rechnungen an plastisch gut verformbaren Materialien) und die Gestaltänderungshypothese herausgebildet. Je nach der Form des Konstruktionsteiles lässt sich auf dieser Grundlage eine Vergleichsspannung berechnen, welche mit unter einfacheren Bedingungen gemessenen Materialeigenschaften verglichen werden kann. Für diesen Vergleich benützt der Ingenieur bei seinen Berechnungen vor allem die bekannten Festigkeitseigenschaften, welche im allgemeinen im Zugversuch bestimmt werden. Er verwendet zur Ermittlung der zulässigen Maximalspannung unter Berücksichtung eines Sicherheitsfaktors z. B. die Streckgrenze bzw. die 0,2-%-Dehngrenze. Je nach der Belastungsart wäre es allerdings oft besser, die Dauerstandfestigkeit, die Dauerschwingfestigkeit oder die Spannung im Grund einer Kerbe in die Rechnung einzusetzen, denn vielfach ist eine dieser Grössen viel eher für das mögliche Eintreten eines Bruches massgebend als die Streckgrenze.

Der Vergleich der berechneten «Vergleichsspannung» mit bekannten Eigenschaften liefert dem Ingenieur die Grundlagen für die Bemessung seiner Konstruktion oder seines Bauwerks. Seine «Theorie» ist somit rein phänomenologisch, aber ihr grosser praktischer Erfolg zeigt, dass damit das Verhalten des Werkstoffes im grossen und ganzen richtig wiedergegeben wird. Im einzelnen versagen jedoch diese Ueberlegungen ohne Berücksichtigung der inneren Verhältnisse im Material zuweilen wieder; das zeigen alle Schadenfälle! Hauptsächlich deshalb muss der Ingenieur die tieferen Zusammenhänge zur Kenntnis nehmen und darf er sich nicht mit einer oberflächlichen Betrachtungsweise des Werkstoffs begnügen. Bei den hohen Anforderungen, welche heute an Konstruktions- und Bauwerkstoffe gestellt werden und bei den knappen Bemessungen, die aus technischen und wirtschaftlichen Gründen notwendig geworden sind, ist es unumgänglich, dass sich die Ingenieure ebenfalls darum kümmern, wie ihre Materialien aufgebaut sind und was in ihnen bei der Beanspruchung vor sich geht.

Die Metallkunde bemüht sich, diese Zusammenhänge aufzuklären. Sie ist in den letzten Jahrzehnten dazu übergegangen, ihre Vorstellungen mathematisch auszuwerten und soweit zu treiben, dass es in gewissen Fällen gelingt, die Festigkeitseigenschaften eines Metalls bei gegebener Zusammensetzung und Vorbehandlung einigermassen rechnerisch zu erfassen. Zuerst hat sich gezeigt, dass die Kraft, welche es braucht, um in einem Kristallgitter zwei Gitterebenen übereinander hinweg zu schieben, d. h. einen Kristall durch Gleitung unter dem Einfluss von Schubkräften zu verformen (wie das der normalen Formänderung von verformbaren Kristallen entspricht), etwa 200- bis 500mal grösser ist als die wirklich beobachtete kritische Schubspannung von Einkristallen (bei welcher das Gleiten bzw. Fliessen beginnt). Dieser Widerspruch ist mit grossem Erfolg gelöst worden, als man erkannt hat, dass die Baufehler im Gitter, d. h. vor allem die Versetzungen, wanderungsfähig sind und das Gleiten von Gitterebenen übereinander wesentlich erleichtern. Es darf somit ohne Uebertreibung gesagt werden, dass die Fehler im Kristallgitter zur Hauptsache für die Eigenschaften von (beispielsweise metallischen) Kristallen verantwortlich sind. Durch Wärmebehandlung und Verformung lassen sich viele Metalle, besonders Legierungen, hochzüchten, so dass man näher an die theoretische Festigkeit eines fehlerfreien Kristalles herankommt. Am nächsten kommt man ihr durch Züchtung von sogenannten Whiskers (Haarkristallen), welche offenbar beinahe fehlerfrei sind und vermutlich um eine einzige Schraubenversetzung herum gewachsen sind. Solche Haarkristalle werden daher in der zukünftigen Entwicklung der Material-Technologie bestimmt noch eine wichtige Rolle spielen, vielleicht als Einlage in «normaleren» Metallen zur Verstärkung. Auch Glasfasern nähern sich übrigens in ihren mechanischen Eigenschaften viel mehr der theoretisch zu erwartenden Festigkeit als dickere Glasplatten oder Rohre. (Auf Grund solcher Ueberlegungen hat die Entwicklung von glasfaserverstärkten Kunststoffen seit langem und von metallischen Verbundwerkstoffen in den letzten Jahren z. T. bedeutende Erfolge erzielt.)

Allgemein lässt sich sagen: Man kann Kristalle verfestigen, wenn man Hemmnisse für die Beweglichkeit der Versetzungen in sie hineinbringt oder in ihnen erzeugt. Damit werden nämlich immer höhere Spannungen erforderlich, um Gleitung und plastische Verformung hervorzurufen. Diese Bewegungshindernisse können andere (durch Verformung erzeugte) Versetzungen, feine Ausscheidungen bzw. submikroskopische Vorstufen der Ausscheidung (sog. Guinier-Preston-Zonen) oder fein dispergierte Fremdstoffe sein.

Die Metallkunde ist heute imstande, auf Grund der skizzierten Vorstellungen die Fliessgrenze eines Werkstoffes unter bestimmten Annahmen zu berechnen. Das gilt insbesondere für die kubischen Kristallsysteme, in welchen die meisten Metalle kristallisieren. Man ist auch dazu übergegangen, den Korngrenzeneinfluss rechnerisch zu berücksichtigen und damit den Uebergang vom Einkristall zum Vielkristall zu vollziehen. Ebenso ist es gelungen, den Temperaturverlauf der Fliessgrenze einigermassen vorauszusagen.

Man kann natürlich den Theoretikern der Metallkunde und den Metallphysikern den Vorwurf machen, ihre Untersuchungen und ihre Theorien taugten nur dazu, längst bekannte Tatsachen und Zusammenhänge zu berechnen, wobei zuweilen die Annahmen so gemacht würden, dass eben das richtige Resultat herauskommt. Das hat u. a. Prof. *Freudenthal* (New York) kürzlich in einem sehr interessanten und lebendigen, z. T. auch recht angriffigen Vortrag an der ETH in Zürich angetönt Auch die oben erwähnte Dispersionsverfestigung (Festigkeitssteigerung durch die Einlagerung fein dispergierter Fremdstoffe) ist z. B. durch empirische Beobachtungen an Sinterkörpern aus oxydiertem Aluminiumpulver entdeckt worden und m. W. nicht auf Grund langer, theoretischer Ueberlegungen.

Trotzdem scheint mir der angetönte Vorwurf an die Metallkundler ungerecht zu sein. Es ist ausserordentlich wertvoll, wenn solche Betrachtungen und Rechnungen durchgeführt werden, selbst wenn die Theorie in diesem Fall hinterdreinhinkt. Diese Lage ist nicht so aussergewöhnlich, wie es im ersten Augenblick aussehen mag, eilen doch auf vielen Gebieten die praktischen Kenntnisse der theoretischen Entwicklung der Wissenschaft weit voraus. Die Geschichte der Naturwissenschaft und Technik weist zahlreiche Beispiele dafür auf, dass Naturgesetze auf Grund der Erfahrung angewandt worden sind, deren theoretische Formulierung und Untermauerung erst später gelang. Weiterentwicklung auf breiterer Grundlage ist jedoch immer nur dann möglich, wenn zusammengehörige Erscheinungen unter einem gemeinsamen Gesichtspunkt verstanden werden. Nur dann lassen sich Schlüsse ziehen, welche in die Zukunft weisen und vielleicht für neue Ideen bahnbrechend sind.

Auch in der Wissenschaft und Technik der Werkstoffe wird es auf die Dauer nur möglich sein, wirkliche Fortschritte zu erzielen, wenn die inneren Vorgänge, die bei der mechanischen Beanspruchung, bei der Formgebung, bei der Bearbeitung und beim Gebrauch ablaufen, in den Einzelheiten bekannt sind. Wohl mögen sich hie und da recht erhebliche Verbesserungen auf rein empirischem Weg ergeben, aber unser Streben muss zweifellos darauf hinzielen, der Sache auf den Grund zu gehen. Gute Ideen werden nur geboren, wenn unsere Vorstellungen klar, zutreffend und möglichst umfassend sind.

Die Verwertung tiefergehender Kenntnisse über den Werkstoff erfordert aber anderseits wiederum Rücksichtnahme auf die Bedürfnisse der praktischen Formgebung, der Beanspruchung und der Anwendung der Materialien, und da muss die Synthese zwischen dem Ingenieurdenken und der naturwissenschaftlichen Betrachtungsweise einsetzen. Es ist ein grösseres gegenseitiges Verständnis und eine wesentlich bessere wechseleitige Orientierung erforderlich. Wie aber kann das praktisch durchgeführt werden?

Bei den im Berufsleben stehenden Ingenieuren sollten Weiterbildungskurse das Verständnis für den Werkstoff, mit dem sie arbeiten, wecken und sie mit den Fortschritten der Materialtechnologie vertraut machen. Ein erfreulicher Anfang ist in dieser Richtung z. B. für Bauingenieure an der ETH unternommen worden. Vor allem aber sollten diese Gesichtspunkte schon während des Studiums in vermehrtem Mass berücksichtigt werden. Mit der Einführung des Unterrichts in Technischer Werkstofflehre ist diesem Wunsch an der Abt. IIIA (Maschineningenieurwesen) der ETH bereits weitgehend Rechnung getragen worden. An der Abteilung III B (Elektrotechnik) und an der Abteilung II der ETH (Bauingenieurwesen) besteht ein propädeutischer Unterricht in Werkstoffkunde, der im Sinne unseres Anliegens noch stark ausgebaut werden sollte. Die Annahme eines neuen Studienplanes in der Abt. II gibt zur Hoffnung Anlass, dass die Bauingenieure in höheren Semestern wenigstens als Wahlfach die Möglichkeit haben werden, ihr Wissen in der Werkstoffkunde und Baustoffkunde wesentlich zu vertiefen. Die Erkenntnis der Wichtigkeit der Werkstoffkunde dringt offenbar langsam durch bei der Ausbildung der Ingenieure an der ETH.

Im Gegensatz dazu sieht der Studienplan der Abteilung IV C (Metallkunde-Metallurgie) der ETH keine Vorlesungen vor, die ingenieurmässiges Denken vermitteln, abgesehen von den diesbezüglichen Hinweisen in den Vorlesungen über Angewandte technische Werkstofflehre und Umformtechnik. Konstruktive Gesichtspunkte kommen in der Ausbildung dieser Studierenden kaum zur Sprache, und sie hören wenig darüber, wie sich der Werkstoff im Bauteil unter Belastung verhält.

Wir dürfen demnach mit unseren Bestrebungen nicht nachlassen, das gegenseitige Verständnis der Ingenieure und der Materialkundler zu fördern. Ein Ingenieur sollte z. B. wissen, weshalb einem Vergütungsstahl Chrom, Nickel und Molybdän zulegiert wird, warum ein Stahl mit hohem Chromzusatz rostfest wird und welche Rolle die Legierungselemente in einer aushärtbaren Aluminiumlegierung spielen. Ein Metallkundler sollte anderseits eine Ahnung davon haben, wie ein Ingenieur ein Bauwerk berechnet und welche Eigenschaften des Materials für ihn wichtig sind. Die Festigkeitslehre sollte versuchen, ihre Kontinuumsvorstellungen mit der den wirklichen Verhältnissen besser gerecht werdenden Kristallgitter-Betrachtungsweise (oder mit Makromolekül- bzw. Fasermodellen) in Einklang zu bringen. Es ist zweifellos eines der wichtigsten Ziele der neuen, als Materialwissenschaft (Material science) bezeichneten Disziplin, diese Synthese zwischen dem Ingenieurdenken mit seinen konstruktiven Gesichtspunkten und seiner Festigkeitslehre einerseits und der naturwissenschaftlichen Betrachtungsweise der Chemiker, Physiker und Metallkundler, die als Grundlage den atomaren Aufbau des Werkstoffs sehen, anderseits zu vollziehen, und die erhoffte Annäherung der Standpunkte und der Sprache ist gewiss schon ein Beweis für die Existenzberechtigung der Materialwissenschaft.

Aus der EMPA

DK 061.6.008 EMPA

Dr. **J. Heierle**, Direktions-Adjunkt der EMPA, Dübendorf-Zürich

Das Arbeitsgebiet der EMPA ist in der Verordnung des Bundesrates über die Organisation und den Betrieb der EMPA vom 9. Juli 1965 folgendermassen umschrieben: Die EMPA dient als ausserhalb des wirtschaftlichen Wettbewerbs stehendes, neutrales und unabhängiges Institut der amtlichen Prüfung von

a) Roh-, Bau- und Werkstoffen, technischen Betriebs- und Hilfsstoffen auf ihre Eigenschaften und praktische Verwendbarkeit;
b) Fabrikaten, fertigen Werkstücken oder ganzen Bauwerken und Anlagen auf ihre Eignung.

Sie beteiligt sich an der Aufstellung von in ihr Tätigkeitsgebiet fallenden Normen, Richtlinien und Vorschriften. Sie betreibt im Rahmen ihres Tätigkeitsgebietes selbständig wissenschaftliche Forschung, insbesondere zur Entwicklung und Vervollkommnung der Prüfverfahren.

Die EMPA hat ihren Auftraggebern für die Ausführung der Aufträge Rechnung zu stellen. Verrechnet werden alle mit der Durchführung des Auftrages verbundenen Aufwendungen sowie ein Anteil an den Generalunkosten.

Für die sachgemässe Überwachung der Anstalt führt die EMPA seit 1957 eine Betriebsrechnung. Damals belief sich der Aufwand auf Fr. 5 156 000.—; 1967 auf Franken 12 214 000.—. Der Gesamtbetrag, der im Jahre 1957 mit Fr. 3 990 000.— ausgewiesen wurde, ergab 1967 Fr. 10 504 000.—. Dieser setzt sich zusammen aus Fr. 8 439 000.— aus externer Tätigkeit (Fremdaufträge, Bundesaufträge) und Fr. 2 065 000.— aus internen Aufträgen (Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, Mitarbeit in Technischen Kommissionen, Publikationen).

Die Tätigkeit an der EMPA ist sehr personalintensiv, machen doch die Personalkosten rund drei Viertel des Gesamtaufwandes aus. Eine selbstverständliche Sorgfaltspflicht veranlasst uns daher, den Personalfragen und -kosten grösste Aufmerksamkeit zu schenken. Dabei begegnet der Personaldienst seit Jahren besonderen Schwierigkeiten bei der Rekrutierung von Personal mit akademischer Ausbildung, weil die Saläre in der Privatwirtschaft namentlich für leitendes Personal sehr oft attraktiver sind. Besonderes Gewicht legt die Direktion unserer Anstalt auch auf die fachliche Weiterbildung der Mitarbeiter aller Stufen. So haben etwa Führungskräfte in der Division of Building Research des Canadian National Research Council, im South West Research Institute, San Antonio, und im Laboratoire Central des Ponts et Chaussées du Ministère de l'Equipement et du Logement, Paris, ihre Weiterbildung erfahren. Daneben fördern wir unsere Mitarbeiter an Veranstaltungen von Fachverbänden, zum Beispiel des SIA, in Werkmeisterschulen und in internen Kursen.

Im Jahre 1949 beschäftigte die EMPA 267, 1957 302 und 1967 424 Personen. Davon fallen auf die Hauptabteilung A 131, auf die Hauptabteilung B 103, auf die Hilfsbetriebe der Hauptabteilungen A und B (Verwaltung, Photo und Druck, Materialmagazin, Fuhrpark, Spedition, Hausdienst, technischer Dienst) 76 und auf die Hauptabteilung C 114 Mitarbeiter. Aufgeteilt nach Personalkategorien arbeiten an der EMPA 72 Akademiker, 63 Techniker oder Angestellte mit gleichwertiger Funktion, 153 Handwerker und Laboranten, 57 Hilfsarbeiter und Hilfslaboranten, 46 administrativ-kaufmännische Beamte und 33 Lehrlinge.

Die EMPA ist in erster Linie eine Materialprüfungs- und Versuchsanstalt für Industrie, Bauwesen und Gewerbe; daneben darf aber die Mitwirkung am Unterricht an der ETH und an der Hochschule St. Gallen für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften nicht unerwähnt bleiben. So sind im Wintersemester 1967/68 an elf Mitarbeiter der EMPA Lehraufträge für 34 Vorlesungs- und Übungsstunden, im Sommersemester 1968 an zwölf Lehrbeauftragte Aufträge für 40 Wochenstunden erteilt worden.

*

50 Jahre Spritzmetallisierung in der Schweiz. Im Aufsatz in Heft 46, S. 815, soll die achte Zeile, Spalte links, lauten:
unserem Lande ein Jahre dauerndes Misstrauen gegenüber

Weiter muss auf Seite 816 die 20. Zeile von unten, Spalte links, lauten:
Haftfestigkeiten von Zinküberzügen mit 0,1 bis 0,4 mm Dicke