Die Analogie von sechs klassischen Materialeigenschaften

Autor(en): **Melz, B.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **74 (1983)**

Heft 15

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-904844

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

Die Analogie von sechs klassischen Materialeigenschaften

B. Melz

Von einheitlich kontinuumstheoretisch begründetem Standpunkt ausgehend, werden sechs klassische Materialeigenschaften besprochen. Der enge Zusammenhang Materialverhalten/Systemverhalten wird analysiert.

Partant de l'uniformité basée sur la théorie du continuum, six propriétés classiques de la matière sont examinées. L'étroite relation entre comportement de la matière et comportement du système est analysée.

Adresse des Autors

Bernhard Melz, Physiker, An der Schütt 24, D-6975 Königshofen.

Der Autor war bis Frühjahr 1983 Mitarbeiter der Materialprüfanstalt des SEV.

1. Einleitung

Traditionell wird Experimentalphysik in Lehrbüchern und Schulen in Teilgebiete getrennt der Reihe nach behandelt: Mechanik, Wärme, Elektrik, Magnetismus usw. Dies betrifft auch die im jeweiligen Bereich üblichen Werkstoffe, wobei die Begriffe Material und Werkstoffe synonym gebraucht werden.

Wenn eine Zusammenschau der Gesetzmässigkeiten aus den verschiedenen Teilgebieten unterbleibt, entsteht nur ein sehr zerrissenes und dementsprechend auch unbefriedigendes Bild der Physik. Erst in vergleichender Gegenüberstellung der Teilgebiete werden Gemeinsamkeiten und gegenseitige Abhängigkeiten der verschiedenen Phänomene deutlicher.

2. Probengeometrie und Systemverhalten

Vom Experimentellen her ist geläufig, dass man zur Bestimmung der verschiedenen Materialeigenschaften auch verschiedene Apparaturen benötigt. Aus theoretischer Sicht kann man anderseits erkennen, dass die definierenden Materialgleichungen (siehe die Gleichungen 3.3, 4.3, 5.3, 6.3, 7.3, 8.3) mathematisch äquivalent sind. Sie lassen sich durchweg als Produkt aus einem reinen Geometriefaktor und einem reinen Systemverhaltensfaktor darstellen:

$$M = G \cdot S$$

Die Materialeigenschaft M ist gleich der Probengeometrie G mal dem Systemverhalten S.

Der Geometriefaktor G enthält die in die Bestimmung der jeweiligen Materialeigenschaft eingehende Probenfläche (quer zur Wirkrichtung) und die Probenlänge bzw. Probendicke (parallel zur Wirkrichtung).

Da man zur Ermittlung der Materialeigenschaften den Einfluss der Probengeometrie trennen will, wählt man innerhalb der Messstrecke eine möglichst einfache Geometrie der Prüflinge bzw. Proben, z. B. Zylinder oder Quader.

Im Idealfall sollte das beobachtbare Systemverhalten ein möglichst ungestörtes Abbild der Reaktion des Prüflings auf den durch die Messapparatur verursachten Zwangszustand im Material sein. In Wirklichkeit ist das Systemverhalten jedoch vom Verhalten des Gesamtsystems (Materialprobe + Apparatur) abhängig, und man wird mehr oder weniger mit folgenden Einflüssen auf das Messergebnis rechnen müssen:

Materialprobe:	Probengeometrie Materialart Materialzustand Störeinflüsse
Probenankopplung:	Anschlüsse Verbindungen Nebenschlüsse Störeinflüsse
Messgeräte:	Empfindlichkeit Genauigkeit Selektivität Störeinflüsse

Konkret wird es also von der Apparatur, von der Probenvorbereitung und nicht zuletzt auch von der Erfahrung des Experimentators abhängen, ob die Anwendung der Materialgleichungen (3.3...8.3) zu brauchbaren Resultaten führt oder nicht, das heisst, ob unerwünschte Randbedingungen und Störeinflüsse genügend klein gehalten bzw. überhaupt erkannt und in einer Nebenbetrachtung problemgemäss vernünftig gewichtet und berücksichtigt werden.

3. Mechanische Elastizität

Nicht alle Werkstoffe sind gleich gute Kraftleiter.

Am Beispiel eines gespannten Drahtes kann man beobachten, dass die durch Zugkraftänderungen dF verur-

sachten Längenänderungen dx um so geringer sind, je kleiner die Einspannlänge x und je grösser die Querschnittfläche A des Drahts sind, und je grösser der Elastizitätsmodul E des Drahtmaterials ist. Der Draht stellt ein einfaches elasto-mechanisches System dar, dessen im Vordergrund stehende Eigenschaft durch die *Federkonstante* a repräsentiert wird:

$$a = dF/dx \tag{3.1}$$

$$= \frac{A \cdot E}{x} \tag{3.2}$$

$$E = \frac{x}{A} \cdot \frac{dF}{dx} \tag{3.3}$$

Man beachte die Produktverknüpfung von Systemgeometrie x/A und Systemverhalten dF/dx in dieser Gleichung.

Nimmt man x und A in Gleichung 3.3 als Variable mit in den Differentialquotienten hinein, so erscheint der Elastizitätsmodul des Drahtmaterials als Ableitung der Zugspannung nach der relativen Dehnung. Extreme Überbeanspruchung, zu hohe Dehnung, kann zur Zerstörung des Systems führen: Zerreissen.

4. Hydromechanische Permeabilität

Nicht alle Werkstoffe sind gleich gute Wasserleiter.

Am Beispiel eines Rohres, das durch einen porösen Pfropfen flussgedrosselt ist, kann man beobachten, dass die durch Druckänderungen dP verursachten Flussänderungen $d\Phi$ um so grösser sind, je geringer die Dicke x und je grösser die Querschnittfläche A des Pfropfens sind und je besser dessen werkstoffspezifische Wasserdurchlässigkeit λ ist. Der poröse Pfropfen stellt ein einfaches hydromechanisches System dar, dessen im Vordergrund stehende Eigenschaft durch den *hydromechanischen Leitwert* Λ repräsentiert wird:

$$\Lambda = d\Phi/dP \tag{4.1}$$

$$= \frac{A \cdot \lambda}{x} \tag{4.2}$$

$$\lambda = \frac{x}{A} \cdot \frac{d\Phi}{dP} \tag{4.3}$$

Man findet also wieder die gleichen mathematischen Beziehungen wie im vorherigen Kapitel.

Wenn man x und A in Gleichung 4.3 als Variable mit in den Differentialquotienten hineinnimmt, erscheint die hydromechanische Permeabilität des Pfropfenmaterials als Ableitung der Flussdichte nach dem Druckgefälle. Extreme Überbeanspruchung, zu hoher Druck, kann zur Zerstörung des Systems führen: Bersten.

5. Thermische Leitfähigkeit

Nicht alle Werkstoffe sind gleich gute Wärmeleiter.

Am Beispiel einer Wärmebrücke, die zwei auf verschiedenen Temperaturniveaus befindliche Wärmereservoirs verbindet, kann man beobachten, dass die durch Temperaturdifferenzänderungen $d\vartheta$ verursachten Wärmestromänderungen $d\Phi$ um so geringer sind, je grösser die Länge x und je kleiner die Querschnittfläche A der Wärmebrücke sind, und je geringer die thermische Leitfähigkeit des Brückenwerkstoffs ist. Die Wärmebrücke stellt ein einfaches thermodynamisches System dar, dessen im Vordergrund stehende Eigenschaft durch den *Wärmeleitwert* Λ repräsentiert wird:

$$\Lambda = d\Phi/d\vartheta \tag{5.1}$$

$$= \frac{A \cdot \lambda}{x} \tag{5.2}$$

$$\lambda = \frac{x}{A} \cdot \frac{d\Phi}{d\vartheta} \tag{5.3}$$

Die zugrunde liegende Mathematik ist mit der in den vorherigen Kapiteln verwendeten identisch.

Nimmt man x und A in Gleichung 5.3 als Variable mit in den Differentialquotienten hinein, so erscheint die termische Leitfähigkeit des Brückenmaterials λ als Ableitung der Wärmestromdichte nach dem Temperaturgefälle. Extreme Überbeanspruchung, zu hohe Temperatur, kann zur Zerstörung des Systems führen: Schmelzen.

6. Magnetische Permeabilität

Nicht alle Werkstoffe reagieren gleich stark auf die Einwirkung magnetischer Felder.

Am Beispiel einer elektromagnetischen Ringkernspule kann man beobachten, dass die durch elektrische Durchflutungsänderungen $d\theta$ verursachten magnetischen Flussänderungen $d\Phi$ um so grösser sind, je kleiner der mittlere Umfang x und je grösser die Querschnittfläche A des Ringkerns sind und je grösser die magnetische Permeabilität μ des Ringkernmaterials ist. Der Ringkern mit Erregerwicklung stellt ein einfaches elektromagnetisches System dar, dessen im Vordergrund stehende Eigenschaft durch die *magnetische Induktivität* L repräsentiert wird:

$$L = d\Phi/d\theta \tag{6.1}$$

$$= \frac{A \cdot \mu}{x} \tag{6.2}$$

$$\mu = \frac{x}{A} \cdot \frac{d\Phi}{d\theta} \tag{6.3}$$

Die zugrunde liegende Mathematik ist mit der in den vorherigen Kapiteln verwendeten identisch.

Analog gilt auch: Wenn man x und A in Gleichung 6.3 als Variable mit in den Differentialquotienten hineinnimmt, erscheint die magnetische Permeabilität des Kernmaterials als Ableitung der magnetischen Flussdichte nach der magnetischen Erregerfeldstärke. Extreme Überbeanspruchung, zu hohe elektrische Stromstärke, kann zur Zerstörung des Systems führen: Schmelzen der Erregerwicklung.

7. Dielektrische Verschiebbarkeit

Nicht alle Werkstoffe reagieren gleich stark auf die Einwirkung elektrischer Felder.

Am Beispiel eines Plattenkondensators kann man beobachten, dass die durch Spannungsänderungen dU verursachten Ladungsänderungen dQ um so grösser sind, je geringer die Dicke des Dielektrikums (Plattenabstand x) und je grösser die wirksame Kondensatorfläche A sind und je grösser die dielektrische Verschiebbarkeit ε des als Dielektrikum verwendeten Werkstoffs ist. Das Dielektrikum mit Erregerplatten stellt ein einfaches elektrisches System dar, dessen im Vordergrund stehende Eigenschaft durch die *Ladungsspeicherkapazität* C repräsentiert wird:

$$C = dQ/dU \tag{7.1}$$

$$= \frac{A \cdot \varepsilon}{x} \tag{7.2}$$

$$\varepsilon = \frac{x}{A} \cdot \frac{dQ}{dU} \tag{7.3}$$

Die zugrunde liegende Mathematik ist mit der in den vorherigen Kapiteln verwendeten ebenfalls identisch.

Auch hier gilt: Wenn man x und A in Gleichung 7.3 als Variable mit in den Differentialquotienten hineinnimmt,

erscheint die dielektrische Verschiebbarkeit des Dielektrikums als Ableitung der Flächenladungsdichte nach der elektrischen Erregerfeldstärke. Extreme Überbeanspruchung, zu hohe elektrische Spannung, kann zur Zerstörung des Systems führen: Durchschlagen des Dielektrikums.

8. Elektrische Leitfähigkeit

Nicht alle Werkstoffe sind gleich gute Elektronenleiter.

Am Beispiel eines stromdurchflossenen Drahts kann man beobachten, dass die durch Spannungsänderungen dU verursachten Stromänderungen dI um so grösser sind, je kleiner die Drahtlänge x und je grösser der Drahtquerschnitt A sind und je grösser das spezifische elektrische Leitvermögen γ des Drahtmaterials ist. Der Draht stellt ein einfaches Elektronenleitsystem dar, dessen im Vordergrund stehende Eigenschaft durch den *elektrischen Leitwert* G repräsentiert wird:

$$G = dI/dU \tag{8.1}$$

$$= \frac{A \cdot \gamma}{x} \tag{8.2}$$

$$\gamma = \frac{x}{A} \cdot \frac{dI}{dU} \tag{8.3}$$

Die zugrunde liegende Mathematik ist mit der in den vorherigen Kapiteln verwendeten identisch.

Nimmt man x und A in Gleichung 8.3 als Variable mit in den Differentialquotienten hinein, so erscheint das spezifische elektrische Leitvermögen des Drahtmaterials als Ableitung der elektrischen Stromdichte nach der elektrischen Feldstärke. Extreme Überbeanspruchung, zu hohe Stromstärke, kann zur Zerstörung des Systems führen: Schmelzen des Drahts.

9. Schlussbemerkungen

Unabhängig davon, ob man in der Möglichkeit mathematischer Parallelbehandlung der verschiedenen Eigenschaften naturgegebene Harmonie oder nur theoretisches Gleichmachen sehen will, ändert nichts daran, dass dieses Denken im Rahmen der klassischen Physik bewährt und praktisch ist. Um die wesentlichen Zusammenhänge möglichst durchsichtig aufzuzeigen, wurden hier ausschliesslich einachsige Beispiele behandelt und eine skalare Darstellung gewählt.

Die behandelten Themen betreffen typische Methoden zur Beantwortung der Frage, *welche* Eigenschaften ein gegebenes Material hat. Man kann sie in diesem Rahmen ohne Rückgriff auf die Struktur der Materie experimentell beantworten, d. h. ohne Rückgriff auf «Quanten und Relativität».

Derart bequem kommen Materialforscher und Materialentwickler allerdings nicht immer zum Ziel, insbesondere dann nicht, wenn es um die Frage geht, *warum* ein Material diese oder jene Eigenschaften hat.

Literatur

[1] *E.J. Frischknecht* und *U. Graf:* Physik. Einführung, Hauptgebiete, Anwendungen. Frankfurt am Main/Wien/Zürich, Büchergilde Gutenberg, 1973.

[2] *W. Westphal:* Kleines Lehrbuch der Physik ohne Anwendung der höheren Mathematik. 5. Auflage. Berlin, Springer-Verlag, 1963.

[3] *F. W. G. Kohlrausch:* Praktische Physik. Bd. I/II. 21. Auflage, Stuttgart, Teubner-Verlag, 1960/62.

[4] *L. Bergmann* und *C. Schäfer:* Lehrbuch der Experimental-Physik. Bd. I/III. 3.–6. Auflage. Berlin, Verlag de Gruyter, 1961/63.

[5] *W. Weizel:* Lehrbuch der theoretischen Physik. Bd. I/II. 2. und 3. Auflage. Berlin, Springer-Verlag, 1958/1963.