

# Fachdidaktische Anmerkungen

Die Ingenieurwissenschaften werden zu den exakten Wissenschaften gezählt. Damit verbunden ist die Notwendigkeit der Verwendung einer präzisen Sprache und einer präzisen Fachdidaktik. Schaut man in Fachaufsätze, Lehrbücher, Normen oder Gutachten, bekommt man manchmal das Gefühl, dass es sich bei der (technischen) Sprache eher um eine babylonische Sprachenverwirrung handelt. Der folgende Bericht möchte anhand von Beispielen zeigen, dass eine einheitliche und präzise Fachdidaktik das Verstehen, das Verständnis, das Lernen und die unmissverständliche Kommunikation fördert.

**Keywords** Fachdidaktik; Fachbegriffe; Kommunikation, fachliche

## 1 Allgemeines

Schon als Studenten haben wir uns über die Verwendung bestimmter Fachbegriffe gewundert. Wieso sprach der Professor von Dehnung, wenn er doch Stauchung erklärte? Welche Bilder speicherten sich damals bei uns ab? Sprache schafft Bilder! Und die Bilder, die in uns entstanden sind, passten nicht zu den Begriffen. Wir hofften damals öfter auf Aufklärung durch höhere Eingebung. Doch wir lernten zunächst, mit einer schlechten Fachdidaktik umzugehen; sie sozusagen richtig zu übersetzen. Warum einfach, wenn es auch kompliziert geht? Erst als einer der Verfasser selber lehrte und speziell als er in seiner Arbeit als „Post-Doc“ an einer amerikanischen Universität Fachbegriffe vom Englischen ins Deutsche und umgekehrt übersetzen musste, wurde ihm immer klarer, dass unsere Fachdidaktik in Teilen „hundsmiserabel“ ist. Nun gehören die Ingenieurwissenschaften zu den exakten Wissenschaften. Und es stellt sich sofort die Frage, was „exakt“ in diesem Zusammenhang bedeutet. Die exakten Wissenschaften sind diejenigen Wissenschaften, die nachvollziehbar quantitative oder mathematische Aussagen treffen können. Da jede quantitative Messung aber Messfehler beinhaltet, kann man hier nur von präzisen Aussagen reden, nicht aber von exakten. Exakte Lösungen gibt es streng genommen nur in der Mathematik. Es wäre also besser, von präzisen Wissenschaften zu sprechen, die anhand von Modellen und Methoden zu eindeutigen, reproduzierbaren Ergebnissen gelangen. Wir sprechen in diesem Zusammenhang von „objektiver Wahrheit“.

Häufig wird davon gesprochen, dass die „Sprache“ des Ingenieurs die Zeichnung, also das Bild ist. Doch wie entstehen Bilder? Erinnern wir uns an unsere Kindheit, als unsere Eltern uns vorlasen. Aus dem Gehörten, also der

## Remarks on technical didactics

Engineering sciences are considered to be exact sciences. Thus, both the technical language as well as technical didactics should be exact or at least precise. Reading technical papers, text books, codes or reports one might get the impression that we deal with babylonian confusion rather than with a precise language. This paper is intended to show with some examples that precise technical didactics is essential for better understanding, learning and communication.

**Keywords** technical didactics; technical terms; technical communication

Sprache, entstanden in aller Dramatik oder Nüchternheit – je nach schauspielerischem Talent der Eltern – in uns Bilder, sozusagen eine eigene Gedanken-Bilder-Welt. Diese Bilder blieben in unserer Vorstellungswelt oder wir konnten sie malen, zu Papier bringen. Die gemalten Bilder waren meistens extrem reduzierte Abstraktionen unserer wundervollen gedanklichen Bilder. Und ein und derselbe Text ließ im Kreis der Geschwister völlig unterschiedliche gedankliche Bilder entstehen. Das darf bei präzisen Wissenschaften natürlich nicht passieren. Wir müssen eindeutige Bilder erzeugen. Welches gedankliche Bild entsteht also in uns, wenn wir „Dehnung“ hören oder lesen? – ... – Ja, etwas dehnt sich aus, wird länger, breiter, nimmt an Volumen zu. Und dann: Frustration. Der Schreiber oder der Vortragende meint Stauchung. So liest es sich in vielen Aufsätzen, Büchern, Vorlesungsskripten und Normen. Muss das sein? Können wir uns nicht exakt oder wenigstens präzise ausdrücken? Im Folgenden wird der Versuch einer präzisen einheitlichen Fachdidaktik an ausgewählten Beispielen unternommen.

## 2 Fachdidaktik

### 2.1 Wenn es sich dehnt, dann staucht es sich?!

Meistens wird der Begriff „Dehnung“ fälschlicherweise als Überbegriff für auf Längen bezogene Längenänderungen verwendet. Aber wie definieren wir dann „Stauchung“ und „Gleitung“ (Scherung)? Bei den Spannungen wird immer unterschieden in Zugspannungen, Druckspannungen und Schubspannungen. Bei den Festigkeiten wieder nicht. Ist das logisch, konsistent, systematisch oder präzise? Nein. Spätestens bei der arbeitskonformen Zuordnung von Spannungs- und Verzerrungsgrößen wird

deutlich, dass Zugspannungen den Zugverzerrungen (Dehnungen) arbeitskonform zugeordnet sind, Druckspannungen den Druckverzerrungen (Stauchungen) und Schubspannungen den Schubverzerrungen (Gleitungen/Scherungen). Im Englischen ist man hier schon immer konsequent. In Deutschland wird aber häufig nicht richtig übersetzt: strain = Verzerrung (nicht Dehnung), stress = Spannung. Und dann wird im Englischen konsequent differenziert: tensile strain = Zugverzerrung, compressive strain = Druckverzerrung, shear strain = Schubverzerrung. Völlig konsistent heißt es bei den Spannungen: tensile stress = Zugspannung, compressive stress = Druckspannung und shear stress = Schubspannung. Diese klare und eindeutige Differenzierung führt dazu, dass die mechanisch phänomenologische Beschreibung eindeutig ist und sich mit den Begriffen Dehnung, Stauchung und Gleitung die richtigen und eindeutigen Bilder bilden und abspeichern.

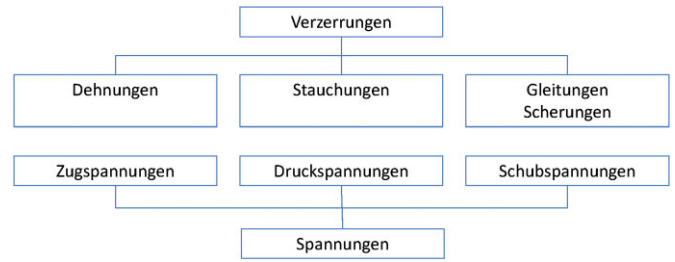
Die Differenzierung und Zuordnung gemäß Bild 1 dient der fachdidaktischen Präzisierung. Sie sollte in dieser Form Verwendung finden.

In der DIN EN 1992-1-1:2011-01 (EC2) [1] steht z. B. unter 1.6: „ $E_c, E_c$  (28) = *Elastizitätsmodul für Normalbeton als Tangente im Ursprung der Spannungs-Dehnungs-Linie allgemein und nach 28 Tagen*“ und weiter „*Dehnung des Betons*“. Gemeint ist aber die Spannungs-**Stauchungs**-Linie und  $\epsilon_c$  ist die Stauchung des Betons, nicht die Dehnung. Andererseits wird im Bild 6.1 der Norm aber fast alles fachdidaktisch richtig dargestellt (Bild 2).

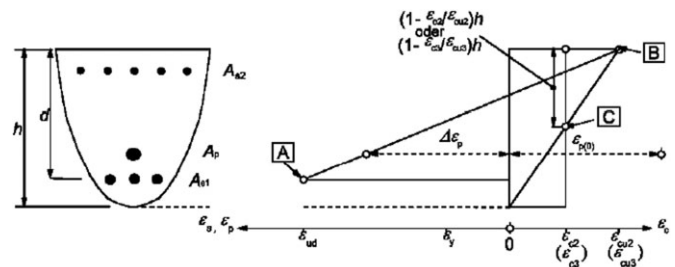
Allerdings ist die Bildunterschrift „Grenzen der Dehnungsverteilung im GZT“ wieder unpräzise. Sie müsste lauten: Grenzen der Verteilung der Normal-Verzerrung im GZT, weil in dem Diagramm Dehnungen **und** Stauchungen dargestellt werden. Gemäß der positiven Schnittgrößendefinition in der Bernoulli-Stabtheorie müsste der Verlauf der Verzerrungen gespiegelt werden – Druck nach links angetragen, Zug nach rechts. Doch hier könnte man unter der Annahme einer Transferleistung des begabten Anwenders möglicherweise großzügig sein.

Die EN 1998-1: 2004 (EC8 – Erdbeben) behandelt den Werkstoff Stahlbeton fachdidaktisch präzise und schreibt zum Beispiel:  $c_{u2}$  = Bruchstauchung des nicht umschnürten Betons. Auch sonst zeichnet sich der EC8 im Vergleich mit anderen Normen durch Präzision, Konsistenz und Klarheit aus. Völlig verwirrend aber wird es im EC2 unter 3.1.5 (Bild 3, Textausschnitt aus EC2):

Hier geht nun alles durcheinander; Stauchung ist Bruchdehnung. Das muss man „plietschen“ (hochdeutsch: überdurchschnittlich schlauen) Studenten erst einmal verklickern! Und gerade die sind es, die die Unzulänglichkeit bei sich selbst suchen, und nicht bei anderen. Hier stolpert die Norm über sich selbst. Weder die Mechanik noch die Systematik werden eingehalten. Das ist schlichtweg keine gute Fachdidaktik. Studierende muss das doch zur Verzweigung treiben, und die Ingenieure werden sich



**Bild 1** Spannungen und Verzerrungen, Differenzierung und Zuordnung  
Stress and strain, specification and correlation



- A** — Dehnungsgrenze des Betonstahls
- B** — Stauchungsgrenze des Betons
- C** — Stauchungsgrenze des Betons bei reiner Normalkraft

**Bild 6.1** — Grenzen der Dehnungsverteilung im GZT

**Bild 2** Grenzen der Verteilung der Normal-Verzerrungen im GZT (aus EC2 Bild 6.1)  
Limits of strain distribution

**3.1.5 Spannungs-Dehnungs-Linie für nichtlineare Verfahren der Schnittgrößenermittlung und für Verformungsberechnungen**

(1) Der in Bild 3.2 dargestellte Zusammenhang zwischen  $\sigma_c$  und  $\epsilon_c$  für eine kurzzeitig wirkende, einaxiale Druckbeanspruchung wird durch Gleichung (3.14) beschrieben:

$$\frac{\sigma_c}{f_{cm}} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta} \tag{3.14}$$

Dabei ist

$$\eta = \epsilon_c / \epsilon_{c1}$$

$\epsilon_{c1}$  die Stauchung beim Höchstwert der Betondruckspannung gemäß Tabelle 3.1

$$k = 1,05 E_{cm} \cdot |\epsilon_{c1}| / f_{cm} \quad (f_{cm} \text{ nach Tabelle 3.1}).$$

Die Gleichung (3.14) gilt für  $0 < |\epsilon_c| < |\epsilon_{c1}|$ , wobei  $\epsilon_{c1}$  die rechnerische Bruchdehnung ist.

**Bild 3** Textausschnitt zu: Spannungs-Verzerrungs-Linie für nichtlineare Verfahren (aus EC2, Abschnitt 3.1.5)  
Text to: Stress-strain-distribution defined for nonlinear methods (EC2, Section 3.1.5)

hoffentlich schon denken, was gemeint ist. So sollten sich exakte Wissenschaften nicht darstellen.

In mündlichen Prüfungen sollen Studierende häufig Spannungs-Verzerrungs-Linien zeichnen, natürlich maßstabsgetreu und den richtigen Quadranten zugeordnet. Das führt meistens zu einem Desaster, für das die Studierenden aber nur bedingt etwas können. Alle Spannungs-Verzerrungs-Beziehungen werden in den ersten Quadranten gepresst. Egal ob Dehnung, Stauchung oder Gleitung. Die Verhältnis-Werte der E-Moduln – „Keine Ahnung“. Das maßstäbliche Verhältnis von Festigkeiten und Verzerrungsbereichen – „Das steht im Skript von NN aber anders“. Das muss aber verstanden sein, damit Werkstoffduktilität richtig erkannt wird und damit man den Übergang von der Linearität zur Nichtlinearität versteht. Das

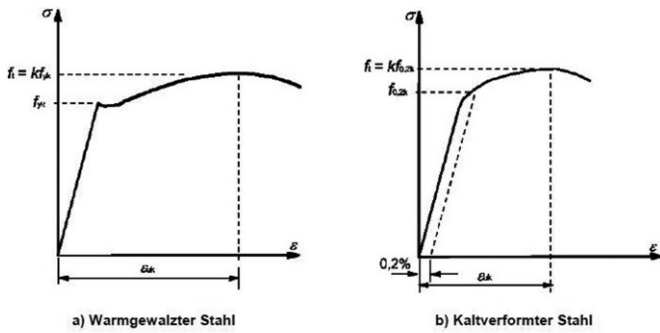


Bild 3.7 — Spannungs-Dehnungs-Diagramm für typischen Betonstahl (Zugspannungen und Dehnungen positiv)

Bild 4 Zugspannungs-Dehnungs-Beziehungen, verzerrt dargestellt  
Tensile stress-tensile strain-relation, wrong relation

ist nicht nur, aber insbesondere, im Stahlbetonbau wichtig, damit man versteht, wie Beton und Stahl zusammenwirken. Darüber hinaus muss deutlich gemacht werden, welche Beziehungen überhaupt in Materialversuchen ermittelt werden können und welche nicht; zum Beispiel Metalle unter Druck. Diesbezüglich muss ganz deutlich gemacht werden, dass es sich hierbei um eine Annahme handelt, weil der einaxiale Spannungszustand unter Druck experimentell nicht ermittelt werden kann.

**Ergebnis:** Es werden völlig falsche Bilder erzeugt und abgespeichert (Bild 4). Diese machen Transferleistungen unnötig äußerst schwer.

Im Bild 4 (Bild 3.7 EC2) wird für den warmgewalzten Stahl ein Zugspannungs-Dehnungs-Diagramm angegeben. Es zeigt uns, dass der plastische Bereich (quasi horizontaler Bereich) kleiner ist als der elastische. Das ist aber falsch. Der plastische Bereich (ungefähr 0,2 bis 2 %) ist etwa zehnmal größer als der elastische Bereich (ungefähr 0 bis 0,2 %). Die richtigen Verhältnisse sind im Bild 5 dargestellt. Der Bereich der Verfestigung, der etwa zehnfach länger ist als der plastische Bereich, ist unterbrochen gestrichelt dargestellt (tri-lineare Modellierung).

Immer wenn Verbundwerkstoffe oder Verbundbauteile zu modellieren sind, dann muss u. a. das mechanische Verhalten der Einzelwerkstoffe verstanden sein, damit der Verbund gelingen kann, sowohl in der Berechnung als auch in der Konstruktion. Gemäß Bild 4 würde bei sinnvoller Stahlausnutzung der Bewehrung der Stahl in den Verfestigungsbereich gelangen. Dem ist aber bei Weitem nicht so, weil der plastische Bereich bis etwa 2 % Dehnung geht. Diese Werte werden aber in der Baupraxis nie erreicht, weil wir eine Beschränkung der Rissweiten haben und die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit es nicht zulassen. Auch im Bild 4 und ähnlichen nicht maßstabgerechten Diagrammen wird mit nicht korrekten Bildern ein falsches Verständnis vermittelt. Es wäre äußerst hilfreich, auch hier die Materialwissenschaft und die Mechanik präzise mit dem Stahlbetonbau zu verknüpfen. Das dient in der Lehre und in der Weiterbildung dazu, die Verzahnung der Fächer zu verdeutlichen, zu zei-

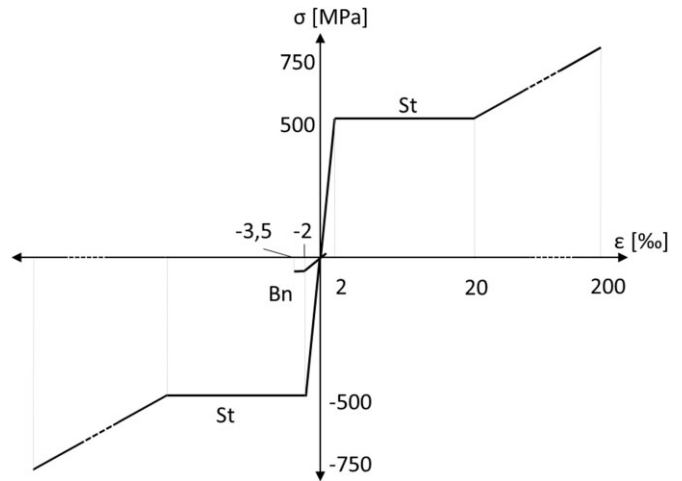


Bild 5 Spannungs-Verzerrungs-Beziehungen  
Stress-strain-relation

gen, dass ein Fach auf dem anderen aufbaut. So verinnerlichen die Studierenden, dass „Bulimie-Lernen“ in den Ingenieurwissenschaften nicht zum Ziel führt [2]. Die unterschiedlichen Fächer stehen nicht nebeneinander, sie haben Nahtstellen, mehr noch, sie sind verzahnt und haben nicht zu unterschätzende Schnittmengen.

Hin und wieder ist zu lesen, dass Spannungen Verzerrungen erzeugen, oder, vice versa, dass Verzerrungen Spannungen erzeugen. In beiden Fällen ist dem leider nicht so. Einwirkungen erzeugen Bauteil- oder Materialreaktionen in Form von Schnittgrößen oder Verformungsgrößen bzw. Spannungen und Verzerrungen. Letztere lassen sich übrigens nicht messen, sondern nur berechnen. Über die Materialgesetze, z. B. HOOKE  $\sigma = E \cdot \epsilon$ , wird dann sofort deutlich, dass Spannungen und Verzerrungen immer gleichzeitig auftreten.

Studierende sind auch immer wieder sehr enttäuscht, wenn ihnen erläutert wird, dass man mit Dehnmessstreifen (DMS) keine Dehnungen messen kann und Stauchungen auch nicht. Gemessen wird ja eine elektrische Widerstandsänderung, die mithilfe einer Kalibrierung, im kalibrierten Bereich, in eine Verzerrung umgerechnet werden kann. Ist der DMS also falsch appliziert oder nicht richtig kalibriert, dann ist das Messergebnis beliebig falsch. Das gilt eigentlich für alle Sensoren. Neuere berührungslose Technologien (z. B. Laser-Speckle-Extensometer) arbeiten auf optischer Basis und verwenden die Grundgleichungen, wie zum Beispiel die Ingenieurverzerrung

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Früher gab es eine Welt der „Rechner“ und eine Welt der Experimentatoren. Und oft hieß es, ihr rechnet fehlerbehaftet und wir messen exakt. Für das gemeinsame Verständnis hilft es, einmal in beiden Welten zu arbeiten. Der erstgenannte Autor durfte an der Universität Hannover gleichzeitig im Massivbau bei Professor BIEGER „Hiwi“

sein, und in der numerischen Mechanik bei Professor STEIN. Für den Bau des weltweit größten Wellenkanals in Marienwerder bei Hannover hat er dann sechs Wochen DMS geklebt. Da bleibt viel Zeit, um von den Messtechnikern eine Privatvorlesung zu bekommen. Heute wissen wir, dass die Verifikation alleine nicht reicht und wir unsere Modelle wechselseitig validieren müssen. Dadurch sind die Welten der „Simulanten“ und der Experimentatoren zusammengerückt und es wird viel enger zusammengearbeitet. Diese Art von interdisziplinärem Arbeiten kann eine einheitliche Fachdidaktik fördern.

**Fazit:** In der Fachliteratur herrscht ein völliges Durcheinander und selbst die Normen sind uneinheitlich. Dabei ist durch die heutige Verbundforschung, die ja interdisziplinäre Forschung ist, eine einheitliche Darstellung im Grunde viel leichter.

## 2.2 Querkontraktionszahl, Querdehnzahl – ja was denn nun?

In der DIN EN 1992-1-1:2011-01 (Stahlbeton) steht z. B. unter 1.6:  $\nu$  = Querdehnzahl. In der EN 1993-1-1:2005 + AC:2009 (Stahlbau) steht unter 1.6 z. B:  $\nu$  = Poisson'sche Zahl, Querkontraktionszahl; im „Schneider“, Tafel 8.4b (Stahlbau) Querdehnzahl. Im „Wendehorst“ liest man unter 3.3.1 gar Dehnverzerrung, Querdehnzahl und Querdehnung. Und so geht es in der Literatur quasi beliebig weiter. Woher kommt diese babylonische Sprachverwirrung? Sie liegt an einer materialspezifischen „Denke“. Erinnern wir uns an den Beginn unseres Studiums. Wir befinden uns im Baustofflabor. Praktikum „Mechanische Baustoffkennwerte“. Wir ziehen einen metallischen Stab zur Ermittlung der Zugspannungs-Dehnungs-Linie (Zugspannungs-Zugverzerrungs-Linie) gemäß DIN EN ISO 6892-1:2009-12, Titel (deutsch): Metallische Werkstoffe – Zugversuch – Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur (ISO 6892-1:2009); Deutsche Fassung EN ISO 6892-1:2009. Gleichzeitig messen wir das Verformungsverhalten des Probestabes in Querrichtung. Und was beobachten und messen wir? Eine Einschnürung. Und wir lernen: Bei Zugversuchen kommt es zu einer Querkontraktion, die mit der Querkontraktionszahl beschrieben werden kann. Als nächstes wird ein Betonprobekörper als Kubus (Würfel) oder Zylinder gedrückt, gemäß DIN EN 12504, Teile 1 bis 4. Ziehen von Beton ist unter praktischen Gesichtspunkten den Aufwand nicht wert. Nun erhalten wir eine Druckspannungs-Stauchungs-Linie (Druckspannungs-Druckverzerrungs-Linie). Und die Beobachtung des Verhaltens des Probekörpers in Querrichtung zeigt, dass der Probekörper breiter wird; er dehnt sich aus. Und wir lernen: Bei Druckversuchen kommt es zu einer Querdehnung, die mit der Querdehnungszahl beschrieben werden kann. Und jetzt haben wir auch noch ein „Heureka“-Erlebnis (Stichwort: „Bulimie-Lernen“ geht gar nicht [2]): Wir wissen jetzt auch anschaulich, warum der Mechanik-Professor beim dreidimensionalen Hooke'schen (nicht Hook!!!, wie immer wieder falsch geschrieben wird) Gesetz vor der Querrichtungswirkung ein Minus-

Zeichen gesetzt hat (ROBERT HOOKE (1635–1702). „Theoria cum praxi“, wie LEIBNIZ geschrieben hat (GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ (1646–1716)). Nun wird in der Praxis meistens von der Hypothese ausgegangen, dass das Verhalten der Querverformung unabhängig von Druck und Zug ist, was bei präziser Betrachtung aber nicht stimmt. Unter der Annahme aber, dass die Hypothese gilt, ist das Verhalten in Querrichtung in erster Näherung eine konstante Materialeigenschaft, die dann konsequenterweise als Querverformung beschrieben und quantitativ einheitlich mit der **Querverformungszahl** festgelegt werden muss. Erst wenn das Verformungsverhalten in Querrichtung abhängig ist von Zug oder Druck, dann ist zu unterscheiden in Querdehnung und Querkontraktion. Das ist zum Beispiel der Fall bei Faserverbundwerkstoffen. Mit hinreichend praktischer Genauigkeit können die makromechanisch als homogen und isotrop angenommenen Konstruktions-Baumaterialien mit konstanten Querverformungszahlen beschrieben werden. Im englischen Sprachgebrauch ist es ganz einfach geregelt. Das Verhalten in Querrichtung wird mit der Poisson-Zahl beschrieben. Sie wurde zu Ehren des Mathematikers und Physikers SIMÉON DENIS POISSON (1781–1840) benannt, der das Querverformungsverhalten erstmalig beschrieb.

**Ergebnis:** Eine Überarbeitung der Normen, Tafelwerke und Lehrbücher ist dringend geboten, um die eindeutige phänomenologische Darstellung des Materialverhaltens präzise zu beschreiben.

Analog verhält es sich mit dem Verhalten von Materialien und Bauteilen unter **Temperatureinwirkung**. In den meisten Normen wird das mit  $\alpha$  = Wärmeausdehnungskoeffizient oder Wärmedehnzahl quantitativ beschrieben. In Bautabellen findet man die Begriffe „Temperaturausdehnungskoeffizient“, „Temperaturdehnzahl“ und „Wärmedehnzahl“. Es wird also begrifflich suggeriert, dass sich unter Temperatureinwirkung das Material ausdehnt. Das stimmt aber nur für den Fall, dass es wärmer wird. Wenn es kälter wird, dann zieht sich das Material natürlich zusammen. Konsequenterweise müsste man also ebenso von einem „Wärmezusammenziehungskoeffizienten“ sprechen. Was für ein Wortungetüm. Es wäre also sinnvoll und viel kürzer und klarer, von einem Temperaturkoeffizienten zu sprechen oder eventuell auch von einem Temperaturverformungskoeffizienten.

## 2.3 Kriechen und Schwinden

In der DIN EN 1992-1-1:2011-01 (EC2) steht (Zitat):

### 3.1.4 Kriechen und Schwinden

(1) *P Kriechen und Schwinden des Betons hängen hauptsächlich von der Umgebungfeuchte, den Bauteilabmessungen und der Betonzusammensetzung ab. Das Kriechen wird auch vom Grad der Erhärtung des Betons beim erstmaligen Aufbringen der Last sowie von der Dauer und der Größe der Beanspruchung beeinflusst. (Zitat Ende)*

Diese Darstellung ist zunächst einmal verwirrend und mechanisch nicht korrekt. Kriechen und Schwinden sind mechanisch zwei völlig unterschiedliche Phänomene. So haben wir es im zweiten Semester in der Baumechanik gelernt. Kriechen ist die zeitabhängige Verformung unter konstanter Last. Schwinden ist die zeitabhängige Verkürzung bzw. Volumenverkleinerung des Betons (gilt natürlich auch für Holz), bedingt durch die Feuchtigkeitsabgabe und durch chemische Reaktionen während des Aushärtens. So wird es in der Mechanik gelehrt und so sollte es im Sinne einer präzisen Fachdidaktik auch im Massivbau dargestellt werden. Erst dann kann werkstoffspezifisch auf Besonderheiten eingegangen werden. Gemäß der Festigkeitslehre ist zu unterscheiden in „Kriechen und Relaxation“ einerseits sowie in „Schwinden und Quellen“ andererseits.

Weiter im Text des EC2 steht: (6) *Die Gesamtschwinddehnung setzt sich aus zwei Komponenten zusammen: der Trocknungsschwinddehnung und der autogenen Schwinddehnung.* Hier wird im Zusammenhang mit Schwinden von Dehnung geschrieben. Schwinden führt aber zu einer Verkürzung, also zu einer Stauchung, um in der Terminologie Dehnung und Stauchung zu bleiben. Quellen (Feuchtigkeitsaufnahme) führt zu einer „Dehnung“.

**Ergebnis:** Die fachdidaktische Zusammenführung von Materialwissenschaft, Mechanik und Massivbau und die richtige Verwendung von Begrifflichkeiten, die zu richtigen gedanklichen Bildern führen, wäre äußerst wünschenswert, ja mehr noch, sie ist dringend erforderlich.

## 2.4 Stabilität, Theorie II. Ordnung

In der DIN EN 1992-1-1:2011-01 steht unter 5.1.4 – Auswirkungen von Bauteilverformungen (Theorie II. Ordnung): (1) *P Die Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung (siehe auch EN 1990, Kapitel 1) müssen berücksichtigt werden, wenn sie die Gesamtstabilität des Bauwerks erheblich beeinflussen oder zum Erreichen des Grenzzustands der Tragfähigkeit in kritischen Querschnitten beitragen.* Und unter 5.8.2 steht: (6) *Die Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung dürfen vernachlässigt werden, wenn sie weniger als 10 % der entsprechenden Auswirkungen nach Theorie I. Ordnung betragen.* Regelungen dieser Art kommen aus den 1950er-Jahren, als die Berechnungsmethoden und Hilfsmittel noch sehr eingeschränkt waren. Schaut man sich die Regelungen an, dann stellt man fest, dass man die Forderungen erst erfüllen kann, wenn eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung durchgeführt wurde. Man kann die Regelungen auch umformulieren, um deren Sinnhaftigkeit zu prüfen. Nämlich: „Rechne zunächst nach Theorie I. Ordnung. Rechne dann nach Theorie II. Ordnung. Wenn die Auswirkungen kleiner als 10 % sind, dann hättest du dir die Berechnung nach Theorie II. Ordnung sparen können“. Da darf man sich getrost fragen, was das soll. Darüber hinaus ist es ja so,

dass durch die geometrisch nichtlineare Berechnung (Theorie II. Ordnung in erster Näherung) Zustandsgrößen sowohl kleiner als auch größer gegenüber der Theorie I. Ordnung werden können.

**Ergebnis:** Stabilitätsuntersuchungen und Berechnungen nach Theorie II. Ordnung sind zunächst zwei unterschiedliche Nachweise. Eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung kann mit Zusatzbedingungen den Stabilitätsnachweis beinhalten, ohne Zusatzbedingungen enthält sie ihn nicht [3].

## 2.5 Dehngeschwindigkeit, Dehnrate, Belastungsgeschwindigkeit

In der Strukturdynamik spielen nicht nur die Festigkeit und die Steifigkeit des Materials eine Rolle, sondern auch das Verhalten des Materials, wenn es beschleunigt oder geschwindigkeitsabhängig beansprucht wird. Dann verändern sich die Festigkeit und die Steifigkeit des Materials in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, mit der das Material beansprucht wird. Darüber hinaus muss unbedingt unterschieden werden, ob es sich um Zug-, Druck- oder Schubbeanspruchungen handelt. Sie werden völlig unterschiedlich beeinflusst. In der Literatur liest man leider fast immer nur von Dehngeschwindigkeiten oder Dehnraten, selbst wenn Druck oder Schub gemeint ist. Darüber hinaus wird häufig die Belastungsgeschwindigkeit mit der Dehngeschwindigkeit gleichgesetzt, was falsch ist. Wie sieht es nun präzise und eindeutig aus? Warum sind die Belastungsgeschwindigkeit und die Verzerrungsgeschwindigkeit zwei unterschiedliche Dinge? Zum einen sieht man es schon an den Einheiten. Die Belastungsgeschwindigkeit beschreibt die Einwirkung üblicherweise in der Einheit m/s (km/h, km/s). Die Verzerrungsgeschwindigkeit beschreibt die lokale Materialbeanspruchung. Ein Beispiel möge das verdeutlichen: Ein Prüfkörper von 1 m Länge wird in einer Sekunde um 1 m langgezogen. Dann beträgt die Belastungsgeschwindigkeit

$$v_{\text{bel}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Die Verzerrung (hier Dehnung) beträgt

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{1,00 \text{ m}}{1,00 \text{ m}} = 1.$$

Wird die Belastungsgeschwindigkeit durch die Probenlänge dividiert, so erhält man die Verzerrungsrate (hier Dehnrate) zu

$$\dot{\varepsilon} = \frac{1}{1} = 1 \frac{1}{\text{s}}.$$

Bei gleichbleibenden Versuchsbedingungen, aber um die Hälfte gekürztem Prüfkörper, also 0,5 m, ergibt sich eine Verzerrungsrate von

$$\dot{\epsilon} = \frac{1}{0,5} = 2 \frac{1}{s}.$$

Man sieht, dass mit ein und derselben Belastungsgeschwindigkeit, in Abhängigkeit von der Länge des Probekörpers, beliebig unterschiedliche Verzerrungsraten erhalten werden können. Da es für diese Versuche keine Norm gibt, ist die Festlegung der maßgeblichen „Probenlänge“ nicht einheitlich. Das macht die Reproduktion von Versuchsergebnissen schwierig. Darüber hinaus sind die Festigkeitssteigerungen und die Versteifungen in Abhängigkeit von Verzerrungsraten völlig unterschiedlich in Abhängigkeit davon, ob es sich um Zug-, Druck- oder Schubbeanspruchungen handelt. Deshalb muss unbedingt differenziert werden in Dehnraten, Stauchraten oder Scherraten. Die Phänomenologie wird mit dem Oberbegriff Verzerrungsraten beschrieben. Hin und wieder wird der Begriff Verzerrungsraten auch gleichgesetzt mit dem Begriff Beanspruchungsraten. Auch dies ist nicht präzise genug, weil es sich bei Beanspruchungsraten um Verzerrungsraten oder um Spannungsraten handeln kann. Synonym werden in der Literatur auch die Begriffe Belastungsgeschwindigkeit und Abzugsgeschwindigkeit verwendet. Die Abzugsgeschwindigkeit deutet darauf hin, dass es sich um Zugversuche handelt. Man müsste konsequent also auch von Abdrucksgeschwindigkeit oder Abschergeschwindigkeit sprechen. Die beiden letzteren Begriffe haben wir aber noch nie gelesen.

**Ergebnis:** Diese Beispiele zeigen, dass die unpräzise Sprache und eine schlechte Fachdidaktik zu tatsächlichen Fehlern führen. Spätestens hier müssen wir die „Reißleine“ ziehen.

## 2.6 Wort-Ungetüme, Bezeichnungen und wundersame Formulierungskünste

Nur im Deutschen findet man Wort-Ungetüme und Bandwurm-Sätze, die keineswegs zur Klarheit und Einfachheit beitragen. Man findet in der Literatur zum Beispiel: Spannungsverzerrungsbeziehung, Spannungs-Verzerrungsbeziehung oder Spannungs-Verzerrungs-Beziehung. Drei Varianten! Warum? Wir müssen uns fragen, was wir eigentlich beschreiben wollen? Tatsächlich geht es hier um die Beschreibung eines mathematischen Zusammenhanges im mathematischen Raum von Spannungen und Verzerrungen. Werden die Spannungen auf der Ordinate abgetragen und die Verzerrungen auf der Abszisse, dann ergibt sich logisch eine Ordinaten-Abszissen-Beziehung. Wird diese Vereinbarung eingehalten, dann ist immer klar: Erst steht die Ordinate, dann die Abszisse; eine Spannungs-Verzerrungs-Beziehung ist also klar zu unterscheiden von einer Verzerrungs-Spannungs-Beziehung.

Die DIN 4102 kennt das Wortungetüm Einheitstemperaturzeitkurve (ETK), gemeint ist natürlich die Einheitstemperatur-Zeit-Kurve (ETK).

In letzter Zeit sind vermehrt „neue“ Erkenntnisse in die Werkstoffkunde und in die Materialtheorie eingeflossen. Inzwischen hört man schon und konnte sogar in einem Forschungsantrag von „das E-Modul“ lesen. Bisher konnten wir doch in der Mechanik „der E-Modul“. Muss man hier wirklich den Unterschied zwischen „das Modul“ und „der Modul“ erklären? Aber es stellt sich schon die Frage, wieso, aus unserer Sicht vermehrt, derart schlampig mit Begriffen umgegangen wird?

Stellt ein Tragwerksplaner (umgangssprachlich „Statiker“) eine Rechnung auf oder eine Berechnung? Eines ist sicher, der Auftraggeber bekommt eine Rechnung für eine Berechnung. Nach DUDEN hat der Begriff „Rechnung“ folgende Bedeutungen:

- schriftliche Aufstellung über verkaufte Waren oder erbrachte Dienstleistungen mit der Angabe des Preises, der dafür zu zahlen ist
- Berechnung, Ausrechnung
- Berechnung von Soll und Haben
- Berechnung, Überlegung oder Planung

Nach unserer Ansicht sollten wir Ingenieure die Begriffe „Rechnung“ und „Berechnung“ nicht synonym verwenden, sondern deutlich machen, dass sowohl aus Sicht der Tätigkeit als auch aus Sicht der Verantwortlichkeiten die Berechnung etwas völlig anderes ist als eine Rechnung. Darüber hinaus sind heutige Berechnungen äußerst komplizierte und anspruchsvolle numerische Simulationen auf der Basis von Tragwerksplanungen und Modellbildungen in unterschiedlichen Ebenen, die mit dem umgangssprachlichen Begriff „Rechnung“ überhaupt nicht zutreffend formuliert werden. Wir möchten sogar so weit gehen, zu behaupten, dass die Verwendung des Begriffes Rechnung statt Berechnung für unseren Berufsstand schädlich ist.

Unlängst war in einer Publikation zu lesen: *Durch das Leichtern der Fahrbahnkonstruktion wird die Tragfähigkeit der Tragkabel erhöht.* Wir stutzten. Das ist etwas für das Nobelpreiskomitee, so schoss es uns durch den Kopf. Dann kamen uns Zweifel. Nein, leider doch keine Innovation. Wir ahnen, was der Autor uns sagen will, was er gemeint haben könnte. Leider ist die Aussage mechanisch falsch.

Es gab bis vor einigen Jahren die DIN 1080: Begriffe, Formelzeichen und Einheiten im Bauingenieurwesen. Sie wurde ersatzlos gestrichen. Leider. Sie war eine hervorragende Grundlage zur normenübergreifenden Terminologie. Uns ist völlig unklar, warum sie keine Beachtung fand. Aus unserer Sicht ist die Wiedereinführung der DIN 1080 zur Vereinheitlichung von Definitionen, Begriffen und Formelzeichen sehr wünschenswert, natürlich heute im internationalen Kontext.

Kommen wir zum Schluss noch einmal auf die Bilder zurück, auf die Bilder in unseren Plänen. Manchmal kann man gefühlte Stunden nach Details suchen, die laut Schnittdarstellung eigentlich leicht zu finden wären. Sie

sind dann häufig da, wo gerade noch Platz auf dem Plan war. Dabei gibt es Normen und Richtlinien für Technisches Zeichnen, bei deren Beachtung das Planlesen so einfach wäre (z. B.: ISO 128). Zukünftig planen, prüfen und bauen wir aber anders. Dann wird es einfacher. Jedes Detail ist im dreidimensionalen BIM-Modell vorhanden. Papierpläne wird es nicht mehr geben. Die 3D-Computer-Brille zeigt uns alles räumlich an der richtigen Stelle an. Auf der Baustelle sind alle Teile RFID-markiert. Quasi per Augenzwinkern liefert uns der Bauhelfer-Roboter den richtigen Bewehrungsstab, den er oder wir dann per Computer-Einbauhilfe kollisionsfrei einbaut bzw. einbauen. Zukunftsmusik? Labore in Forschungseinrichtungen dafür gibt es bereits.

Häufig diskutieren wir unterschiedlichste Fragestellungen in vielen Arbeitskreisen und Ausschüssen der Verbände und Kammern, natürlich auch die Verbesserung von Normen und Bildung. Für viele Kolleginnen und Kollegen ist der Übergang von der Berufsbefähigung zur Berufsfertigkeit immer mehr zu einem Problem geworden. Eine Reaktion hierauf ist nun ein neues Trainee-Programm (TRAIN-ING) der Ingenieurekammer Bau in Bayern, das im Oktober 2015 gestartet ist und sowohl technische als

auch nicht technische Weiterbildungsinhalte hat. Die Autoren – insbesondere der erstgenannte – haben hierfür sogenannte „Schreibhinweise“ formuliert, die allen Studierenden und Kolleginnen und Kollegen zur Verfügung stehen [4].

### 3 Zusammenfassung

Der Beitrag zeigt, dass es im Bauwesen keine einheitliche Fachdidaktik gibt. Wenn wir uns als exakte Wissenschaften verstehen, dann müssen wir uns eindeutig und präzise verständlich machen. Das gilt nicht nur für die Lehre, sondern auch für die Kommunikation in der Praxis zum Beispiel mithilfe der Normen. Die PRB-Initiative (Praxis Regeln Bau) gibt uns die Möglichkeit, die Normen wieder auf einer einheitlichen Mechanik zu gründen, die fachübergreifend und werkstoffübergreifend gilt. Hier liegt eine Riesenchance für die Lehre und für die Praxis. Diese müssen wir nutzen. Aus unserer Sicht kann vieles viel einfacher und dabei klarer und kürzer vermittelt werden. Die Autoren denken darüber nach, in einem weiteren Beitrag eine tabellarische Darstellung von Lösungen in Deutsch und Englisch zu veröffentlichen.

### Literatur

- [1] Eurocode 2: *Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010.
- [2] GEBBEKEN, N.: *Bulimie-Lernen*. Kolumne 2014, [http://www.bayerische-staatszeitung.de/staatszeitung/bauen/detailansicht-bauen/artikel/bulimie-lernen.html?tx\\_felogin\\_pi1\[forgot\]=1](http://www.bayerische-staatszeitung.de/staatszeitung/bauen/detailansicht-bauen/artikel/bulimie-lernen.html?tx_felogin_pi1[forgot]=1).
- [3] LUMPE, G.; GENSICHEN, V.: *Evaluierung der linearen und nichtlinearen Stabstatik in Theorie und Software – Prüfbeispiele, Fehlerursachen, genaue Theorie*. Bauingenieur-Praxis, 1. Auflage, Februar 2014, Berlin: Ernst und Sohn, ISBN 978-3-433-03053-0.
- [4] GEBBEKEN, N.: *Schreibhinweise*. [https://www.unibw.de/bauv\\_statik/aktuelles](https://www.unibw.de/bauv_statik/aktuelles) oder [norbert.gebbeken@unibw.de](mailto:norbert.gebbeken@unibw.de).

#### Autoren

Prof. Dr.-Ing. Norbert Gebbeken  
Universität der Bundeswehr München  
Institut für Mechanik und Statik  
Labor für Computational Engineering  
Forschungszentrum RISK  
Werner-Heisenberg-Weg 39  
85577 Neubiberg  
[norbert.gebbeken@unibw.de](mailto:norbert.gebbeken@unibw.de)

Dr.-Ing. Markus Wetzel  
Wetzel & von Seht, Hamburg – Berlin  
Präsident der Bundesvereinigung der Prüfen Ingenieure Deutschlands e.V.  
Friesenweg 5 E  
22763 Hamburg  
[mw@wvs.eu](mailto:mw@wvs.eu)