

# Kenngrößen zur festigkeitsmäßigen Beurteilung von Bauteilen

H. Göldner, S. Sähn

Bei der festigkeitsmäßigen Beurteilung tragender Konstruktionen werden rechnerisch oder experimentell gefundene Beanspruchungskenngrößen mit an genormten Proben ermittelten Werkstoffkenngrößen verglichen. Es ist dabei darauf zu achten, daß der Charakter der Beanspruchung in der Probe dem des realen Bauteils ähnlich ist. Auf Umstände, die die gefährliche Trennbruchneigung begünstigen, wird verwiesen. Mit konventionellen Bruchkriterien und den Methoden der Rißbruchmechanik können einige Fragen des Bauteilverhaltens erklärt werden.

## 1. Einleitung

Die Funktionstüchtigkeit eines Bauteils in festigkeitsmäßiger Hinsicht wird nachgewiesen, indem die zu untersuchende Konstruktion in ein Berechnungsmodell überführt und eine Beanspruchungskenngröße mit einer entsprechenden Werkstoffkenngröße verglichen wird. Die an genormten Proben ermittelten Werkstoffkenngrößen sind nicht immer auf andere Geometrien übertragbar; dazu müssen bestimmte Forderungen erfüllt sein. Bereits die Berechnung der Beanspruchungen erfordert Kenntnisse über das Werkstoffverhalten (Materialgesetz), das den Zusammenhang zwischen den wichtigsten Festigkeitskenngrößen, den Spannungen und Verzerrungen herstellt. Elastisches, plastisches und viskoses Verhalten ist (zumindest innerhalb kleiner Bereiche) allen Werkstoffen gleichzeitig zu unterstellen, aber es wird i. a. nur auf die dominierende Eigenschaft orientiert, um das Problem für den Konstrukteur rechenfähig zu gestalten.

Für statische Belastung und einachsige homogene Zugspannungsverteilung muß dieser Spannungswert unterhalb der am Zugprobekörper ermittelten Streckgrenze oder einem einer bestimmten bleibenden Dehnung zuzuordnenden Wert (z. B.  $\sigma_{0,2}$ ) liegen, damit die Konstruktion „sicher“ ist. Mit  $\sigma_{0,2}$  wird aber bereits ein Vergleichswert benutzt, der außerhalb der Gültigkeit des linear-elastischen Materialverhaltens liegt. Eine bis zum Bruch beanspruchte Probe zeigt bereits für diese einfachste Beanspruchungsart werkstoffabhängig sehr unterschiedliches Verhalten.

Der Festkörpermechaniker unterscheidet Trennbrüche, fast ohne Einschnürung an der Bruchstelle; Mischbrüche mit mehr oder weniger ausgebildeten Scherlippen am Rande und einer Bruchfläche senkrecht zur Stabachse im mittleren Bereich und ausgesprochene Scherbrüche mit starker Einschnürung. Trennbrüche sind besonders gefährlich, weil sie ohne vorher erkennbare Anzeichen eintreten.

Bei linear veränderlicher Spannungsverteilung über dem Querschnitt (z. B. bei reiner Biegung gerader Träger) wird der Spannungsgrößtwert am Außenrand meist auch mit der am Zugprobekörper ermittelten Werkstoffkenngröße verglichen. Für diesen ebenfalls einachsigen Spannungszustand besteht bei einem verformungsfähigen Werkstoff die Möglichkeit einer Spannungsumlagerung, und unter Annahme eines linearelastisch-idealplastischen

Werkstoffverhaltens liegt z. B. beim Rechteckträger das Traglastmoment 50 % über dem Grenzbiegemoment, bei dem gerade noch alle Teile des Querschnitts elastisch bleiben.

Bei mehrachsigen Spannungszuständen wird der Vergleich i. a. auch zwischen der am Zugprobekörper ermittelten Werkstoffkenngröße ( $\sigma_S, \sigma_{0,2}$ ) und einem auf der Basis von Hypothesen gefundenen „Vergleichswert“ geführt. Bleibt das Werkstoffverhalten auch bei der mehrachsigen Beanspruchung duktil, d. h. ist der Werkstoff bei erhöhter Beanspruchung auch noch verformungsfähig, so können durch Plastifizierung gewisser Bereiche ebenfalls Spannungsumlagerungen erfolgen und Tragreserven mobilisiert werden. Andernfalls kann plötzlich Spröbruch eintreten.

Zu beachten ist, daß plötzliche Querschnittsänderungen in einem einachsigen Zugspannungsfeld zwar die Zugspannungen beträchtlich anheben ( $\sigma_{zmax} = \alpha_K \cdot \sigma_{zn}$ ,  $\alpha_K$  Formzahl), daß aber vor allem Mehrachsichtigkeit initiiert wird, d. h. sich dadurch der Charakter des Spannungszustandes ändert – die Spröbruchneigung wird begünstigt (Bild 1).

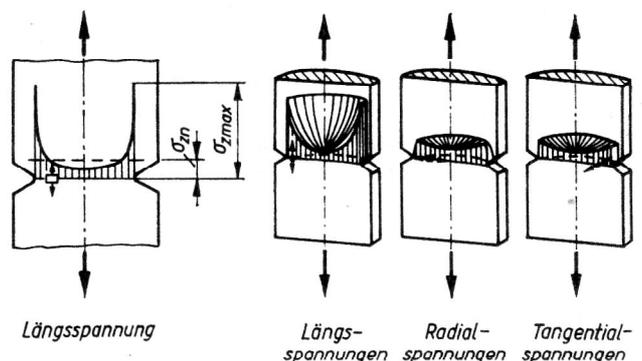


Bild 1  
Spannungsverteilung im Zugstab mit Umlaufkerbe

Die ständig steigenden Leistungsparameter von Maschinen und Anlagen sowie die Forderung nach rationeller Verwendung von Werkstoff und Energie verlangen gründliche Berechnungsmethoden, die das Werkstoffverhalten für den geforderten Betriebszustand möglichst

genau erfassen, um eine Konstruktion hoher Zuverlässigkeit garantieren zu können. Um diesem Anliegen zu entsprechen, müssen vor allem die Kenntnisse über das Verhalten der Werkstoffe unter komplexer Beanspruchung bis zum Bruch erweitert werden. Mit Einführung der EDV hat der Berechnungsingenieur ein Mittel in der Hand, das ihm ermöglicht, auch für das reale Werkstoffverhalten in komplizierten Bauteilen den Beanspruchungszustand zu ermitteln. Zur Beurteilung benötigt er aber vergleichbare Werkstoffkenngrößen. Natürlich bleibt deshalb die Forderung nach berechnungs- und werkstoffgerechten Konstruktionen bestehen.

Im Folgenden werden ausschließlich für statische Belastungen einige Erkenntnisse zur Beurteilung tragender Konstruktionen ohne Kriecheinfluß mitgeteilt.

## 2. Festigkeitskenngrößen zur Beurteilung bei statischer Belastung

Bauteile versagen beim Erreichen kritischer Zustände. Diese können u. a. angezeigt werden durch Grenzwerte in

- den Spannungen
- den Dehnungen
- den Verformungen
- den Kräften
- den Energien
- rißbruchmechanischen Kenngrößen, wie Spannungsintensitätsfaktor, Rißöffnungsverschiebung usw.

Grundlage für eine konventionelle Beurteilung des Bruchverhaltens von Bauteilen bilden Werkstoffkenngrößen aus Versuchen an meistens einachsigen beanspruchten Proben wie

- Zug- und Biegeversuch
- Zeitstandzugversuch (bei kriechfähigem Material)

Als Bruchkenngrößen werden vom Ingenieur ausschließlich Spannungen und Dehnungen benutzt.

Bei duktilem Werkstoffverhalten wird die Traglast als Dimensionierungsgrundlage verwendet. Darüber hinaus muß die Stabilität im engeren Sinne (Knicken bei Stäben, Kippen und Beulen bei Flächentragwerken) in den Konstruktionen nachgewiesen werden. Auf die zuletzt genannten und andere Versagensursachen wird in diesem Artikel nicht weiter eingegangen.

In den letzten 30 Jahren hat sich die Rißbruchmechanik (kurz Bruchmechanik) rasch entwickelt. Sie geht von dem mit Rissen behafteten Bauteil aus und untersucht

- bei welchen Beanspruchungen ein Riß wächst und ein wachsender Riß zum Stillstand kommt.

Man kann davon ausgehen, daß die meisten technischen Bauteile fehlerbehaftet sind. Für das Sprödbuchverhalten dieser Bauteile konnte erst die Bruchmechanik eine befriedigende Erklärung geben.

Die zu verwendenden Bruchhypothesen hängen vom Bruchmechanismus ab, der sich auch im Bruchflächenaussehen widerspiegelt. Für eine Festkörpermechanische Bruchbetrachtung ist die Klassifizierung in

- trennflächige Brüche (Bruchfläche senkrecht zur größten Hauptdehnungs-  $\epsilon_1$  bzw. Hauptspannungsrichtung  $\sigma_1$ ) und scherflächige Brüche (Bruchfläche in Ebenen größter Schubspannung  $\tau_{\max}$ )

zweckmäßig, da sie mit kontinuumsmechanischen Kenngrößen (Dehnungen, Spannungen) korrelieren.

Weitere Klassifizierungen der Brüche [1], die aus der Sicht des Werkstofffachmanns oder des Metallphysikers nützlich sein können, sind möglich nach der Größe der Bruchverformungen

- spröde Brüche (mit geringen Bruchverformungen)
- zähe Brüche (mit großen Bruchverformungen)

nach dem Bruchvorgang (mikroskopisch)

- spaltflächige Brüche
- grübchenflächige Brüche

nach dem Rißverlauf bezüglich der Kristallite

- transkristalline Brüche
- interkristalline Brüche.

Da die Bruchbeurteilung aus Festkörpermechanischer Sicht erfolgt, wird im weiteren nur von der Klassifizierung in

- trennflächige Brüche und
- scherflächige Brüche

Gebrauch gemacht.

Einflüsse auf den Bruchcharakter:

Der Bruchcharakter wird nicht nur vom Werkstoff, sondern auch von den Belastungs- und Beanspruchungsbedingungen bestimmt.

Ein Bauteil (Probekörper), das bei einem einachsigen homogenen Zugspannungszustand (genormter Zugversuch) scherflächig bricht, kann unter zu Versprödungen neigenden Umständen einen trennflächigen Bruch ergeben. Auch die Umkehrung ist möglich. Wenn sich der Bruchmechanismus im Bauteil gegenüber dem Experiment (Zugversuch) ändert, sind die Vergleichsgrößen aus dem jeweiligen Experiment für die Beurteilung der Bauteile i. a. ungeeignet. Zusätzliche Versuche mit „ähnlichem“ Bruchmechanismus sind dann unbedingt erforderlich. In einigen Fällen kann die zu erwartende Bruchform vorhergesehen werden, da bekannt ist, welche Einflüsse das Werkstoffverhalten verändern.

So führen gegenüber dem genormten Zugversuch

zu Versprödungen (Trennbruchneigung)

zu zäherem Werkstoffverhalten (Scherbruchneigung)

mehrachsig Zugspannungen und große örtliche Spannungs- (Dehnungs)gradienten  
(durch Kerbwirkung, große Temperaturgradienten, Eigen- spannungen . . . )  
große zeitliche Spannungs- (Dehnungs)gradienten

Bruch-  
mecha-  
nik

Kerbschlag-  
versuch,  
Thermo-  
schock-  
verhalten

Druckspannungen  
mehrachsig Druck-  
spannungen

i. a. Temperaturniedrigung  
(Ausnahmen z. B. Warmver-  
sprödung – bei unlegierten Stählen  
in Bereichen (300 – 400) °C  
Wechselbeanspruchungen  
Chemische Veränderungen der  
Oberfläche durch Korrosion u. ä.  
Neutronenbestrahlung

i. a. Temperatur-  
erhöhung

Tabelle 1 Bruchkriterien für statische Belastungen

Bruchart	Beurteilungsgröße	Vergleichsgröße (bei gleicher Bruchart) des Zugversuches
Trennflächiger Bruch	Größte pos. Dehnung $\epsilon_1$	Gleichmaßdehnung $\delta_g = 2\delta_{10} - \delta_5$
	Größte Normalspannung $\sigma_1$	Zugfestigkeit $\sigma_B$ Streckgrenze $\sigma_S$
Scherflächiger Bruch	Vergleichsdehnung	Einschnürdehnung $\delta_e = \frac{A_0 - A_B}{A_B} = \frac{\psi}{1 - \psi}$
	$\epsilon_v = \frac{\sqrt{2}}{2(1+\nu)} \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_3 - \epsilon_1)^2}$	$\psi$ – Einschnürung $A_0$ – Anfangsquerschnitt $A_B$ – Bruchquerschnitt
	Größte Tangentialspannung $\tau_{\max}$ $\sigma_v = 2\tau_{\max} = \sigma_1 - \sigma_3$	Streckgrenze $\sigma_S, \sigma_{0,2}$
	Vergleichsspannung (elast. Potential, . . . )	
	$\sigma_v = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$	

## 2.1. Konventionelle Methoden

Die Mehrachsichtigkeit eines Spannungszustandes wird durch

$$\text{einen Mehrachsichtigkeitsgrad } M = \frac{\sigma_v}{\sigma_1} \quad \text{oder}$$

$$\varphi = \frac{\sigma_1}{\sigma_v}$$

bzw. durch

$$\text{eine Mehrachsichtigkeitszahl } \kappa = 1 - M = 1 - \frac{1}{\varphi}$$

ausgedrückt [1], [5]. Hierin sind

$\sigma_1$  größte Hauptnormalspannung

$\sigma_v$  Vergleichsspannung

$$\sigma_v = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$

oder

$$\sigma_v = 2\tau_{\max} = \sigma_1 - \sigma_3$$

Wie Untersuchungen von Schnadt zeigen [5], besteht eine Korrelation zwischen dem Mehrachsichtigkeitsgrad bzw. der Mehrachsichtigkeitszahl und dem Bruchcharakter (Trennbruch bzw. Scherbruch). In den Bildern 2 und 3 sind auf der Grundlage eines Spannungsbruchkriteriums die Bruchgrenzlinien dargestellt [5].

Aus dem werkstoffabhängigen Schnadt-Diagramm kann man den zu erwartenden Bruchmechanismus ermitteln und damit die für die Beurteilung geeigneten Bruchkriterien festlegen.  $M$ ,  $\varphi$  und  $\kappa$  sind keine Bruchkriterien, so daß aus ihnen weder der Ort für die Rißentstehung im Bauteil noch der Bruch hergeleitet werden kann.

In Tabelle 1 sind abhängig vom Bruchmechanismus Bruchkriterien für statische Belastungen auf der Basis von Spannungen und Dehnungen dargestellt, während in den Bildern 2 und 3 nur auf der Grundlage von Span-

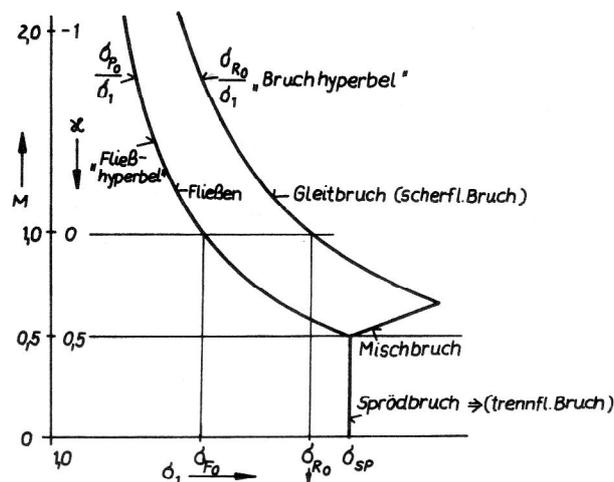


Bild 2

Schnadt-Diagramm für „duktilen“ Werkstoff

$$\text{Zugfestigkeit } \sigma_B = \frac{F_{\max}}{A_0}$$

$\sigma_{SP}$  = Sprödbruchspannung (Trennfestigkeit)

$$\sigma_{R0} = \text{Reißspannung } \sigma_{R0} = \frac{F_R}{A_B}$$

$\sigma_{F0}$  = Fließspannung bei einachsiger Beanspruchung  
 $A_B$  = Bruchquerschnitt

nungsbruchkriterien die Bruchkurven konstruiert wurden.

Die mögliche Änderung des Bruchmechanismus bei Druckbeanspruchung gegenüber Zugbeanspruchung führte zur Entwicklung verallgemeinerter Bruchhypothesen. Als Bruchbedingung (Bruchgrenzfläche) werden unter Benutzung der Bruchspannung bei Zug  $\sigma_{zB}$  und der Bruchspannung bei Druck  $\sigma_{dB}$  verwendet vgl. z. B. [6]

$$\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\gamma(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1) - (\sigma_{dB} + \sigma_{zB})(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) + \sigma_{dB}\sigma_{zB} = 0$$

mit  $\gamma = 1$  Bruchgrenzfläche – Rotationshyperboloid

$$= \frac{1}{2} \quad \text{Bruchgrenzfläche – Rotationsparaboloid}$$

$$= \frac{1}{2} - \frac{3}{8} \frac{(\sigma_{dB} + \sigma_{zB})^2}{\sigma_{dB}\sigma_{zB}} \quad \text{Bruchgrenzfläche – Kegel}$$

oder rein empirische Beziehungen, die den Versuchswerten angepaßt werden

$$\text{z. B. [6]} \quad \frac{\sigma_1}{\sigma_{dB}} = 1 + (K_1 \sqrt{\frac{\sigma_2}{\sigma_{dB}}} - K_2 \frac{\sigma_2}{\sigma_{dB}}) - \nu \frac{\sigma_2}{\sigma_{dB}}$$

mit  $K_1 = 0,84$

$K_2 = 0,45$  für Beton der Serie B 300

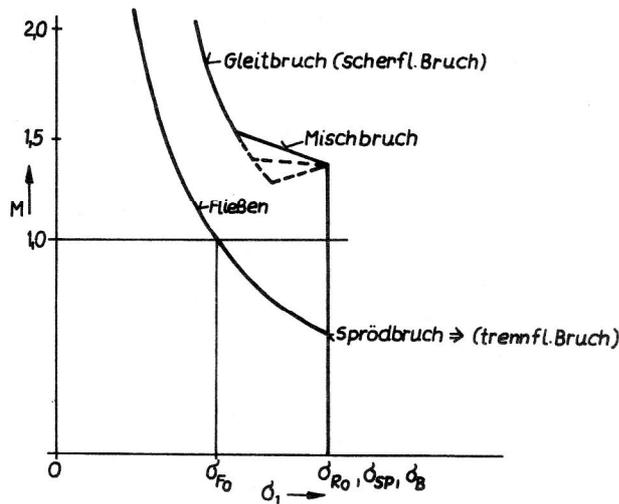


Bild 3  
Schnadt-Diagramm für „spröden“ Werkstoff

In [3], [2] wird ein Bruchkriterium auf der Basis von Dehnungen diskutiert und auf die mehrachsige Beanspruchung von Beton mit Erfolg angewandt. Wesentlich dabei ist, daß zwischen den beiden genannten Brucharten unterschieden wird, was zu einer beträchtlich vereinfachten Beschreibung der Bruchgrenzfläche aus wenigen „geeigneten“ Versuchen führt.

### 2.2. Grenzen konventioneller Bruchkriterien

Die unter kontinuumsmechanischen Voraussetzungen ermittelten Spannungen und Dehnungen können nur mit den unter ähnlichen Bedingungen ermittelten Bruchkenngrößen verglichen werden. Es ist seit langem bekannt, daß nicht nur die Spannungen, Verzerrungen oder Energien an einem Punkt, sondern der Beanspruchungszustand über ein bestimmtes vom Werkstoff abhängiges Volumen maßgebend für den Bruch ist. Deshalb sind konventionelle Bruchkriterien nur für relativ homogene Beanspruchungszustände anwendbar. Allgemeiner muß man formulieren:

Bruchkenngröße =  $F$  (Festigkeitskenngröße ( $\sigma, \epsilon, \dots$ )  
und geometrische Größe)

In verschiedenen Arbeiten wurde bereits in der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts darauf hingewiesen [7]: So benutzen

Wieghardt (1907)

als Bruchkriterium bei rißbehafteten Bauteilen (ebene Risse) die mittlere Spannung über eine bestimmte vom Werkstoff abhängige und von der Rißspitze ausgehende endliche Strecke;

Ludwig (1909)

als Bruchkriterium einen mittleren Wert der Spannung, der über einem bestimmten Volumen gebildet wird;

Weibull, W. (1939)

als Bruchkriterium eine Größe

$$R_{\sigma} = \int_V f(\sigma) dV$$

mit

$$f(\sigma) = \left( \frac{\sigma - \sigma_u}{\sigma_o} \right)^m \quad \text{für } \sigma > \sigma_u$$

$\sigma_u, \sigma_o, m$  – Werkstoffkenngrößen

die aus einer statistischen Theorie des Fließens abgeleitet wird und wo die Integration nur über alle Zugspannungen ( $\sigma > \sigma_u$ ) erstreckt wird [8];

Neuber, H. (1936)

als Bruchkriterium eine mittlere Spannung, die über einer Ersatzstrukturlänge  $\rho^*$ , die vom Werkstoff abhängt, gebildet wird. Neuber führte diesen Struktureffekt als Hypothese der Mikrostützwirkung ein. Abhängig von  $\sigma_{0,2}$  gibt Neuber in [8] an

$$\begin{aligned} \text{mit } \rho^* &= (0,03 - 0,15) \text{ mm für Stahl} \\ &= (0,1 - 0,2) \text{ mm für Al-Cu-Ms-Leg.} \\ &= (0,3 - 0,35) \text{ mm für Austenit. Stähle} \\ &= (0,35 - 0,45) \text{ mm für Stahlguß} \end{aligned}$$

$$\sigma_m = \frac{1}{\rho^*} \int_0^{\rho^*} \sigma_y(y=0) dr$$

Siebel, E. [10]

führte das bezogene Spannungsgefälle als geometrische Größe

$$\chi = \frac{1}{\sigma} \frac{d\sigma}{dx} \quad \text{zusammen mit } \rho^*$$

neben der Festigkeitskenngröße  $\sigma$  als Bruchkenngröße (allerdings bei zyklischer Belastung ein).

$$\sigma_{W\chi} = \sigma_{W0} (1 + \sqrt{\rho^* \chi})$$

$\sigma_{W\chi}$  Dauerschwingfestigkeit bei Bauteilen mit Spannungsgefälle

$\sigma_{W0}$  Dauerschwingfestigkeit bei Proben ohne Spannungsgefälle

Die angegebenen Erweiterungen von Festigkeitskenngrößen zu Bruchkenngrößen sind gleichermaßen auch für eine dehnungsbezogene Bruchbetrachtung möglich. Einen echten Fortschritt bei der Bauteilbeurteilung hat die Bruchmechanik gebracht. Die Bruchmechanik verknüpft

Spannungen (bzw. zul. Spannungen) mit Fehlern (zul. Dehnungen (bzw. zul. Dehnungen) Fehlern) des Bauteils

und ist in besonderem Maße geeignet, das Sprödbuchverhalten zu klären, das sich auch bei Bauteilen (mehrachsig beansprucht, z. B. durch vorhandene Risse) mit Fehlern zeigt, die sich sonst (bei homogener einachsiger Beanspruchung) duktil verhalten. Im rißspitzennahen Gebiet wird der Spannungs- und Verformungszustand wesentlich durch die Nennspannung  $\sigma_n$  (Spannung ohne Beachtung der Kerbwirkung durch den Riß nach elementarer Theorie), die Rißlänge  $a$  und die Geometrie des Bauteils bestimmt, so daß bei linear-elastischem Materialverhalten der gesamte Spannungs- und Verformungs-

zustand im für die Beurteilung maßgebenden risspitzen-nahen Gebiet durch einen sog. Spannungsintensitätsfaktor

$$K = \sigma_n \cdot \sqrt{\pi a} \cdot f(\text{Geometrie})$$

beschrieben ist. Beim Erreichen eines kritischen Wertes tritt Rißausbreitung ein. Dieser Wert kann experimentell an Proben mit ähnlicher Rißanordnung und ähnlichem Nennspannungszustand ermittelt werden. Der Bruchmechanismus (trennflächiger bzw. scherflächiger Bruch) und damit das Werkstoffverhalten wird aber entscheidend auch durch den Nennspannungszustand bestimmt, der z. B. durch Eigenspannungen (Schweiß-, Guß-, Wärmeeigenspannungen) des mit Riß behafteten Bauteils mit beeinflusst wird. Deshalb ist die Vergleichbarkeit der Kenngrößen aus Experimenten an einachsigen beanspruchten Proben mit Rissen leider nicht mit anderen mehrachsigen Spannungszuständen, die denen an den Rissen nicht mehr ähnlich sind, möglich. Für eine weitere Forschung scheinen Bruchkenngrößen wie

mittlere Spannung über ein bestimmtes Volumen  
(Fläche, Länge)

mittlere Dehnung über ein bestimmtes Volumen  
(Fläche, Länge)

in Korrelation mit der Mehrachsigsigkeitszahl bzw. dem Mehrachsigsigkeitsgrad von Bedeutung zu sein.

### 3. Ausblick

Konstrukteure fordern Werkstoffe, die u. a. die nachfolgenden Eigenschaften aufweisen sollen

- hohe statische Festigkeit
- gute Schwingfestigkeitseigenschaften
- große Dehnbarkeit
- geringe Sprödbrechneigung
- gute Temperaturbeständigkeit und Warmfestigkeit
- geringe Streuung der Werkstoffkennwerte
- hohe Korrosionsbeständigkeit
- hohen Verschleißwiderstand
- geringe Dichte.

Alle Eigenschaften lassen sich zugleich nicht realisieren. Es müssen deshalb vorher gründlich die Betriebsbedingungen der Konstruktionen analysiert und damit möglichst genaue Kenntnisse des Werkstoff- und Bauteilverhaltens unter den tatsächlichen Beanspruchungen beigebracht werden [4], [11].

Das Bruchverhalten hängt, wie dargelegt wurde, sehr stark von den Belastungs- und Beanspruchungsbedingungen ab, die ihrerseits wesentlich von der Bauteilgeometrie, den Umweltbedingungen usw. bestimmt werden. Deshalb sind zu den bekannten genormten Versuchen ergänzende Experimente an Bauteilen (oder bauteilähnlichen Proben) unter einsatzähnlichen Bedingungen notwendig.

Eine gründliche Analyse und Sammlung der leider immer noch auftretenden Havarien ist zur Erkenntnisgewinnung unbedingt notwendig.

Zur Zeit können einige wichtige Fragen des Bauteilverhaltens mit den konventionellen Bruchkriterien und den Methoden der Bruchmechanik erklärt werden. Anwendungsgrenzen bei der statischen Belastung und weitgehend elastischem Werkstoffverhalten wurden vorgestellt.

### LITERATUR

- [1] Kochendörfer, A.: Die Bruchvorgänge in Experiment und Theorie. Z. Metallkunde 1971, S. 1 – 12; 71 – 85; 173 – 185; 255 – 269.
- [2] Göldner, H., Sähn, S.: Konstruktionsgerechte Werkstoffe. 13. Metalltagung in der DDR „Mechanisches Verhalten von Eisenwerkstoffen“ Dresden 1979, S. 307 – 320.
- [3] Sähn, S.: Ein Bruchkriterium auf der Basis von Dehnungen. Problemseminar Bruchmechanik, Weifig 1979.
- [4] Göldner, H.: Dimensionierung von Bauteilen unter Berücksichtigung komplexer Beanspruchungen. Aus der Arbeit vor Plenum und Klassen der AdW der DDR 2/1978.
- [5] Schnadt, H. M.: Neue Prüfmethoden von Stählen und Schweißwerkstoffen für große Schweißkonstruktionen. Oerlikon Schweißmitt. 15 (1957), Nr. 26 S. 5 – 87.
- [6] Opitz, H.: Ein Beitrag zum Festigkeitsverhalten des Betons bei mehrachsiger Beanspruchung. Diss. Techn. Univ. Dresden, Fak. Bau-, Wasser- und Forstwesen 1969.
- [7] Radaj, D.: Zur Didaktik und Geschichte der Bruchmechanik. Materialprüfung 12 (1970), S. 236 – 237.
- [8] Weibull, W.: Statistical Theory of Strength of Materials. Proc. Rog. Acad. Eng. S. 151 (1939).
- [9] Neuber, H.: Über die Berücksichtigung der Spannungs-konzentration bei Festigkeitsberechnungen. Konstruktion 20 (1968), S. 245 – 251.
- [10] Siebel, E.: Handbuch der Werkstoffprüfung: Die Prüfung der metallischen Werkstoffe. Springer-Verlag Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1955, S. 231.
- [11] Blumenauer, H.: Stand und Aufgaben der Bruchforschung. Aus der Arbeit vor Plenum und Klassen der AdW der DDR 2/1978.

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Göldner,  
Dr.-Ing. S. Sähn,  
Technische Universität  
8027 Dresden, Mommsenstraße 13