Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 91 (1973)
Heft: 6

Artikel: Ein Bewertungssystem der Bruchsicherheit
Autor: Varga, T.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-71800

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

helfen, die gemäss dem Gesetzesentwurf im Rahmen eines Umlegungsverfahrens angeordnet werden kann. Auch kann als äusserstes Mittel einem Eigentümer die im Entwurf zum Raumplanungsgesetz vorgesehene *Enteignung* angedroht werden, die im Dienste der Durchführung von Nutzungsplänen steht. Die Enteignung soll insbesondere zulässig sein, wenn das Angebot an baureifem Land ungenügend ist und der Eigentümer, ohne dass er wichtige Gründe nachweisen kann, sein Grundstück nicht zur Überbauung zuführt.»

Im weiteren erklärte P. D. Kuttler: «Die dargestellten Massnahmen, die es ermöglichen sollen, den Bauboden der erwünschten Nutzung zuzuführen, bedürfen freilich der Ergänzung durch eine richtige fiskalische Erfassung des *Bodenwertes,* des *Wertzuwachses* und des *Ertrages,* wie schon wiederholt gefordert wurde. Die weitverbreitete steuerliche Privilegierung des Grundbesitzes, die zu stossenden Rechtsungleichheiten führt, ist untragbar und begünstigt die Bodenhortung.» *VLP*

Ein Bewertungssystem der Bruchsicherheit

DK 539.42.001.2

Von Dr. **T. Varga,** Zürich

Schluss von H. 4/1973, S. 69–83

6. Schlagartige Beanspruchung des Werkstoffs

Vorausgesetzt, dass die Zunahme der Belastungsgeschwindigkeit eine entsprechende Zunahme der Verformungsgeschwindigkeit im Werkstoff erzeugt, ergibt sich als einziger Unterschied zwischen der quasistatischen und der schlagartigen Belastung eine quantitative Änderung der Verformungsgeschwindigkeit. Im übrigen können zur Beurteilung des Bruchverhaltens ähnliche Überlegungen angestellt werden wie in Kapitel 2.

Diese Überlegungsart ergibt eine hinreichende Annäherung an das Bruchverhalten von sich wenig verformenden Werkstoffen. Bei ferritischen Baustählen sind indessen die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Verformbarkeit und in der Folge der Mechanismus der Risseinleitung anders, und es sind auch andere Phänomene, welche den Beginn der Trennung massgebend beeinflussen.

6.1 Risseinleitung

Die Ausbildung der Rissfront und damit der eigentliche Rissbeginn sowie die dazu führenden Bedingungen werden nachfolgend als die Grundlage der Beurteilung der Sprödbruchsicherheit von quasistatisch belasteten Bauteilen untersucht.

Die Auslegung auf Sicherheit gegen Risseinleitung ist weniger streng als jene auf Rissauffang. Das bedeutet geringere Anforderungen in den Sprödbruchprüfungen und damit auch der Kerbschlagzähigkeit, welche wiederum die Verwendung billiger Stahlsorten, Schweisszusatzwerkstoffe und -verfahren erlauben. Im nachfolgenden sollen daher einige Eigenheiten der Risseinleitung erläutert werden. Bedenken sind gegenüber der Anwendung bei Belastungen wenig unter der Streckgrenze sowie bei grossen gespeicherten elastischen Energien anzumelden. Diese Beschränkungen gelten vor allem für hochfeste Stähle, weiterhin bei Bauteilen wie Pipelines und Druckgasbehälter.

Auf das Werkstoffverhalten an einer Diskontinuität übt neben den in Kapitel 2 diskutierten Einflussgrössen das zu verformende Volumen einen wesentlichen Einfluss aus. Bei grossen Kantenradien ist das zu verformende Volumen ebenfalls verhältnismässig gross. Erst nach der Erschöpfung der Verformbarkeit oder – gemäss einer anderen Überlegung – beim Zusammenlaufen der Verformungsbahnen im Werkstoffinneren kann sich ein Riss ausbilden.

Bei gegebener Belastungsgeschwindigkeit wird die örtliche Verformungsgeschwindigkeit an grossen Kerbradien verhältnismässig gering sein. Bei der Bildung der Rissfront tritt ein relativ sehr starkes Anwachsen der örtlichen Verformungsgeschwindigkeit auf.

An scharfen Kanten ist das beanspruchte Volumen von Anfang an verglichen mit dem Riss klein; eine plötzliche grosse Zunahme der Verformungsgeschwindigkeit ist daher nicht anzunehmen.

Hingegen ist eine Zunahme der örtlichen Verformungsgeschwindigkeit aus einem weiteren Grund möglich: das verformte Volumen am Kantenradius weist eine Spannung in der Höhe der örtlich gültigen Fliessgrenze auf, welche infolge der Mehrachsigkeit und der Kaltverfestigung wesentlich über der einachsigen Fliessgrenze liegen kann. Bei der inneren Rissbildung kann durch die plötzliche Zunahme der Spannungsversprödung ein schlagartiger Trennbruch dieser Zonen eintreten. Die Trennung kann wiederum zu einer schlagartigen Belastung an der anderen Risskante führen, so dass für das weitere Bruchverhalten nicht die Risseinleitung, sondern der Rissauffang massgebend wird.

Aber auch der eigentliche Trennbruch im kaltverfestigten und verformungserschöpften Bereich an Kanten erscheint möglich. Dieser Effekt wurde von Schnadt als Endoschock bezeichnet. Einen Umschlag von quasistatischer in örtlich schlagartige Beanspruchung scheinen auch eigene grosse Bruchmechanikversuche im Übergangsbereich zu bestätigen.

Bei hoher Plastizität des Werkstoffes an der Kante erfolgt nach starker Dehnung eine schrittweise Trennung durch Hohlraumbildung und Abgleitungen, welche nach und nach in kleinen Bereichen auftreten und das Aussehen ähnlich einem Grübchenbruch ergeben. Die Speicherung elastischer Energien kann in diesem Fall vernachlässigt werden; eine Zunahme der Verformungsgeschwindigkeit bei konstanter Belastungsgeschwindigkeit ist lediglich auf die Abnahme des zu verformenden Volumens bis zur Ausbildung der Rissfront zurückzuführen.

Eine Sprödbruchprüfung mit Proben abgestufter Kantenradien und konstanter Belastungsgeschwindigkeit kann demnach für die Beurteilung des Sprödbruchverhaltens von Bauteilen mit entsprechenden Diskontinuitäten empfohlen werden. Die Proben sollten die volle Wanddicke des Bauteils aufweisen.

6.2 Rissfortpflanzung und Rissauffang

Die Auslegung auf Rissauffang stellt gegenüber jener auf Risseinleitung das strengere Kriterium dar. Chronologisch gesehen waren die Rissauffangprüfungen die ersten; in Ländern, die rasch auf moderne Beurteilungsmethoden übergegangen sind, wurden solche Verfahren zur Bewertung der Werkstoffe und der Bauteile eingesetzt. Für Reaktordruckgefässe sind in den USA die Fallgewichtsproben vorgeschrieben; in Japan wurde auf Rissfortpflanzungsprüfungen die gesamte Klassifikation der schweissbaren Baustähle aufgebaut. Die hauptsächlich in England entwickelten statischen Risseinleitungsprüfungen bieten eine günstigere und besonders für verhältnismässig gut verformbare Baustähle in den meisten Fällen eine hinreichende Beurteilungssicherheit. Bei scharfkantigen Diskontinuitäten, relativ geringer Verformbarkeit des Werkstoffs, im Verhältnis zur Streckgrenze relativ hoher Belastung sowie grossen gespeicherten Energien erscheint die Bewertung auf Rissauffang hingegen weiterhin notwendig.

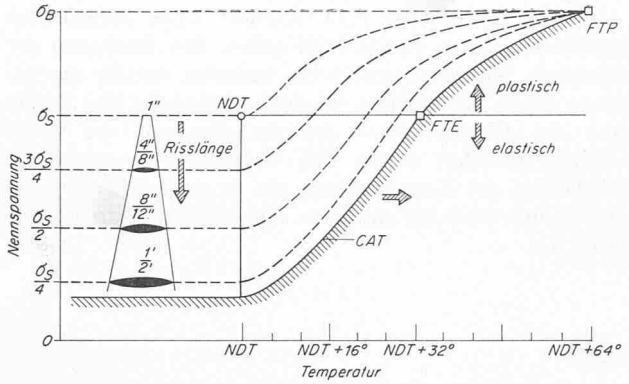


Bild 65. Das Bruchanalysendiagramm (Fracture Analysis Diagram, FAD) nach Pellini. Für technische Anwendungen ist der Bereich über NDT+16 °C bedingt zugelassen. Über NDT+32 °C soll ein Bauteil mit Wanddicken unter 75 mm gegen spröden Bruch sicher sein

Das Fortschreiten einer verformungsarmen Materialtrennung erfolgt mit grosser Geschwindigkeit. Ob es nun in Stufen oder kontinuierlich fortläuft, ist für die Tragfähigkeit von zweitrangiger Bedeutung; wesentlich ist, ob es aufgefangen werden kann. Unter Auffangen ist der Umschlag vom spröden bzw. Trennbruch in Verformungsbruch zu verstehen. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit nimmt dann beträchtlich ab, und in den meisten Fällen bleibt der Riss stecken.

Ob die Materialtrennung gestoppt wird oder als Verformungsbruch weiterläuft, hängt von der Höhe der Belastung und insbesondere von deren Verlauf über der Verformung ab. Bleiben beim Rissfortlauf die Spannungen gleich oder nehmen sie sogar zu, so sind Überlegungen entsprechend den Bereichen II und III in den Kihara-Diagrammen (Kapitel 3.3) anzustellen. Bei rascher Abnahme der Spannungskonzentration mit der Verformung wird der Riss aufgefangen.

Die bekanntesten Prüfungen zur Ermittlung der Rissauffangbedingungen wurden in Kapitel 5 angeführt. Nachfolgend sollen noch halbquantitative Verfahren von Pellini [79] kommentiert werden.

Im Übergangsbereich ist, wie schon früher erläutert, ein Kriterienpaar für die Tragfähigkeit massgebend. Bei Anwendung der Robertson-Prüfung ist das in der Spannungs-Temperaturkurve dargestellt: Verlauf der Rissauffangstemperatur (Robertson crack arrest temperature, CAT) über der statischen Vorspannung. Die mittels Pellini-Proben ermittelte Versprödungstemperatur (Nil ductility transition, NDT) gibt die Temperaturgrenze zwischen dem elastischen und dem Übergangsbereich an.

Bis zur FTE-Temperatur sind elastische bruchmechanische Betrachtungen bei schlagartiger Belastung nötig. Oberhalb der FTE-Temperatur ist der Übergangsbereich mit steigender Verformung über der Temperatur zu finden.

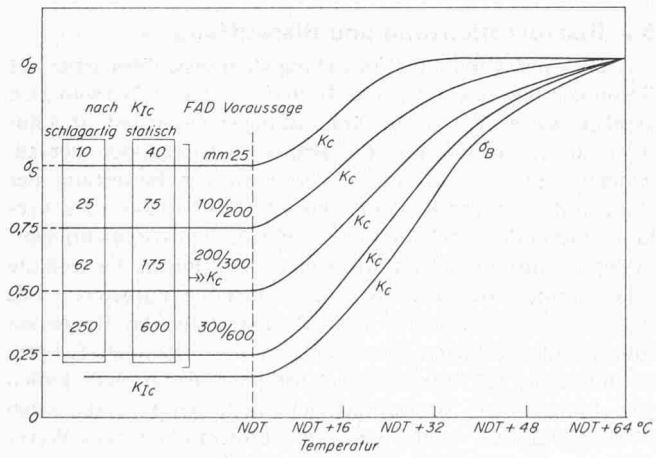


Bild 66. Bruchanalysendiagramm nach Pellini mit Eintragung von kritischen Fehlergrössen für die statische und schlagartige Werkstoffbeanspruchung

6.3 Das Bruchanalysendiagramm

Im Bruchanalysendiagramm (fracture analysis diagram, FAD) gab Pellini schon vor einigen Jahren den spannungsabhängigen spröd-zähen Übergang über der Temperatur mit Fehlergrössen als Parameter an, siehe Bild 65. Dieser halbquantitativen Darstellung fügte er unlängst eine Auswertung für statische und schlagartige Beanspruchung gemäss der Bruchmechanik bei.

Unter der Voraussetzung, dass bei einer statischen Beanspruchung das Verhältnis der Reisszähigkeit zur Streckgrenze mit $K_{Ic}/\sigma_s = 1{,}2$ bzw. bei schlagartiger Beanspruchung mit $K_{Id}/\sigma_{sd} = 0{,}7$ angenommen wird, ergeben sich für Stähle mit Streckgrenzen unter 85 kp/mm² die in Bild 66 angegebenen kritischen Fehlergrössen.

Der Vergleich der von Pellini ursprünglich angegebenen kritischen Fehlerlängen mit den berechneten zeigt bei Belastungen in der Nähe der Streckgrenze eine ziemlich gute Übereinstimmung. In diesem Bereich scheint in Schiffen für Schadenfälle die schlagartige Beanspruchung massgebend zu sein: die Liberty-Schiffe zeigten brucheinleitende Fehlstellen von 10 mm oder sogar darunter. In diesen Fällen war nach Pellini eine örtliche Versprödung, wie sie besonders an Schweissungen auftreten kann, mit ungünstigen Eigenspannungsfeldern ein mitbestimmender Faktor.

Bei niedriger Mittelspannung wachsen die kritischen Fehlerlängen wesentlich an. Bei 75 % der Streckgrenze scheint nicht mehr der Rissauffang massgebend zu sein. Mit weiterer Spannungssenkung wird die statische Risseinleitung bestimmend.

Als Folgerung aus den Bildern 65 und 66 ist festzuhalten, dass die kritische Fehlerlänge bei Beanspruchung in Fliessgrenzenhöhe nicht weit von 25 mm liegt. Etwa 10 mm müssen bei schlagartiger Rissausbreitung (Rissauffangkriterium) und etwa 40 mm bei statischer Risseinleitung angenommen werden.

Die bei Spannungen von unter 50 % der Streckgrenze ermittelten kritischen Risslängen weisen auf eine statische Risseinleitung hin.

Entsprechend den Erläuterungen am Anfang dieses Abschnittes dürfen also die Begriffe «statische» oder «schlagartige» Werkstoffbeanspruchung nicht ohne weiteres statischer bzw. schlagartiger Belastung zugeordnet werden.

An Beschränkungen sind zu nennen: die Gültigkeit des FAD-Diagramms ist auf Blechdicken von 25 bis 75 mm beschränkt. Die FTE-Temperatur gibt lediglich die obere Temperaturgrenze des elastischen (spröden) Bruchbereiches an.

Pellini vertritt nachdrücklich den Standpunkt, dass der lineare, mässige Anstieg der Reisszähigkeit über der Temperatur im elastischen Bereich nicht auf höhere Temperaturen extrapoliert werden darf. Oberhalb der FTE-Temperatur tritt nämlich eine Änderung in den Verformungsmechanismen und damit den Verformbarkeitseigenschaften ein, welche die Anwendung der linear elastischen Bruchmechanik nicht mehr rechtfertigt. Damit wird die in Kapitel 4 vorgeschlagene Anwendung von Temperaturkriterien im plastischen sowie im Übergangsbereich gestützt.

Literaturverzeichnis

[79] *W. S. Pellini:* Advances in Fracture Toughness Characterization Procedures. NRL Rep. 6713 v. 3. April 1968.

7. Zur Anwendung des Bewertungssystems

Das vorgeschlagene Bewertungssystem ermöglicht ein systematisches Vorgehen und die Beurteilung des Bruchverhaltens mit minimalem Aufwand. Die Einordnung der üblichen Sprödbruchprüfungen in die Klassen der herkömmlichen, der statistisch gestützten, der Grenzwert- und der angepassten Prüfungen sowie quantitativen Verfahren ergibt die bisher vermisste Abstufung nach dem Aussagewert. Die gewonnene Übersicht erleichtert weiterhin die Wahl der Prüfungen.

Das Bewertungssystem kann vor allem dem einigermassen in der Materie Bewanderten praktischen Nutzen bringen; es wurde auch bewusst auf die Mitteilung der zugeordneten zahlenmässigen Kriterien verzichtet, ausser wo diese für bestimmte Prüfverfahren bzw. Anwendungsbereiche sowieso allgemein bekannt sind. Solche Angaben bergen immer eine Gefahr der Anwendung über ihre Gültigkeitsgrenzen hinaus in sich. Diese Gefahr kann mit Anfertigung eines detaillierten Kochbuches eingeschränkt werden; das war jedoch nicht Ziel der Arbeit.

Dem mit den Sprödbruchproblemen Vertrauten wird hingegen offensichtlich, dass mit sinngemässer Anwendung der gewonnenen Übersicht das System sich für jede Aufgabe abwandeln bzw. den verschiedenen Problemkreisen anpassen lässt. Dies wird vor allem notwendig, falls bestimmte Werkstoffkennwerte bzw. Prüfergebnisse schon vorhanden sind und über zusätzliche Prüfungen zur Erlangung der Sicherheit gegen spröden Bruch entschieden werden muss.

Eine wichtige Aufgabe ist weiterhin die Festlegung der Kriterien. Diese werden bei den statistisch gestützten Verfahren der Erfahrung, d.h. am einfachsten bestehenden Normen und Codes, entnommen. Bei Nichtgenügen des Werkstoffes oder der Verfahren sowie falls grössere Sicherheit erforderlich ist, können die Grenzwertverfahren mit ihren Kriterien eingesetzt werden. Werden letztere nicht erreicht oder sollen aus anderen Gründen, beispielsweise zwecks Ermittlung von Korrelationen zu anderen Prüfarten, die angepassten Verfahren eingesetzt werden, so müssen wiederum deren Kriterien festgelegt werden. Das Kriterienpaar wird aus einer Grenzspannung oder einer minimalen Verformung bei der Prüftemperatur bestehen. Im ersten Fall kann die Überschreitung der Fliessgrenze über den gesamten Querschnitt, im zweiten einige Prozente Bruchdehnung an der Kante der Diskontinuität oder einige Zehntel Prozent Verformung über die gesamte Probe gefordert werden.

Die quantitativen Verfahren erlauben die exakteste Bestimmung von Spannungs- oder entsprechenden Fehlergrössen-Kriterien. Bei der Bewertung dürfen Eigenspannungen sowie örtliche metallurgische Schädigungen nicht ausser acht gelassen werden.

Die Bruchgefahr wechselnd beanspruchter Bauteile besteht im Anwachsen von Ermüdungsrissen bis zur kritischen Grösse. Der Restquerschnitt wird bei plastischem Verhalten wesentlich kleiner sein als bei sprödem Bruch. Dem subkritischen Risswachstum ist demnach besonders im verformungsarmen Werkstoffzustand vermehrte Aufmerksamkeit zu widmen.

7.1 Fehlergrössen-Kriterien

Besonders auf Ermüdung beanspruchte geschweisste Konstruktionen sind betreffend ihrer Belastbarkeit bzw. der Grenzlastspielzahl primär von der Ausgangsfehlergrösse abhängig. Es sind hauptsächlich scharfkantige flache Diskontinuitäten massgebend, wie Risse und Bindefehler.

Mit der Schweisstechnik verbundene Fachleute wählten daher als Beurteilungsgrundlage von geschweissten Verbindungen die Fehlergrössen, so dass sie fast von der anderen Seite zur Ermittlung der Bruchsicherheit kommen.

Diesen Weg beschritt *A.A. Wells* [80] zur Beurteilung der Sicherheit gegen spröden Bruch. *J.D. Harrison, F.M. Burdekin* und *J.G. Young* [81], deren Arbeit hauptsächlich der Ermüdungsbeanspruchung gewidmet ist, gingen ähnlich vor.

Tabelle 6. Zulässige Fehlergrössen in geschweissten Bauteilen bei ebener Schubverformung nach Wells [80]

mittlere effektive Dehnung ϑ_v / elastische Grenzdehnung ϑ_{el}	1	2	5	10
Fehlermass a / Wanddicke s	0,84	0,24	0,074	0,034

Bei nicht spannungsarm geglühten Schweisskonstruktionen gilt

$$\frac{\vartheta_v}{\vartheta_{el}} \geqslant 2. \tag{44}$$

Wells schlägt als Vorprüfung und zur Qualitätskontrolle die Charpy-V-Prüfung vor. Als Bedingung für den ebenen Schub, d.h. Verformungsbruch, muss die Kerbschlagzähigkeit folgendem Kriterium genügen (Carpy-V-Proben):

$$a_k \geq \frac{4\,\pi\,\sigma_S{}^2\,s}{10\,E}\ [\mathrm{mkp/cm^2}], \tag{42}$$

worin a_k die Kerbschlagszähigkeit, σ_s die Fliessgrenze, s die Werkstoffdicke und E den Elastizitätsmodul bedeuten. Ist die Kerbschlagszähigkeit kleiner, so befindet sich der Werkstoff im Übergangsbereich oder im Gebiet der ebenen Dehnung.

Wells verlangt anschliessend einen Nachweis der Fehlergrössen sowohl für den Verformungsbereich als auch im Gebiet der ebenen Dehnung mit scharfgekerbten Biegeproben oder CTT-Proben voller Wanddicke.

Im Falle der ebenen Schubverformung, d.h. des Verformungsbruchs, muss die Kerbaufweitung vor dem Bruch, C.O.D., folgendem Kriterium genügen:

$$\vartheta_c \geq \frac{2\,\pi\,\sigma_s\,s}{E} \tag{43}$$

worin ϑ_c den C.O.D.-Wert angibt. Entsprechend dem Verhältnis der auf den Gesamtquerschnitt bezogenen, durch die Belastung verursachten mittleren Dehnung zur elastischen Verformung bis zur Streckgrenze werden die zulässigen Fehlergrössen im Verhältnis zur Werkstoffdicke gemäss Tabelle 6 festgelegt.

Im Übergangsbereich sowie im Gebiet der ebenen Dehnung wird die kritische Fehlergrösse in Abhängigkeit der Reisszähigkeit und der angelegten Spannung aus der Grundgleichung der Bruchmechanik definiert:

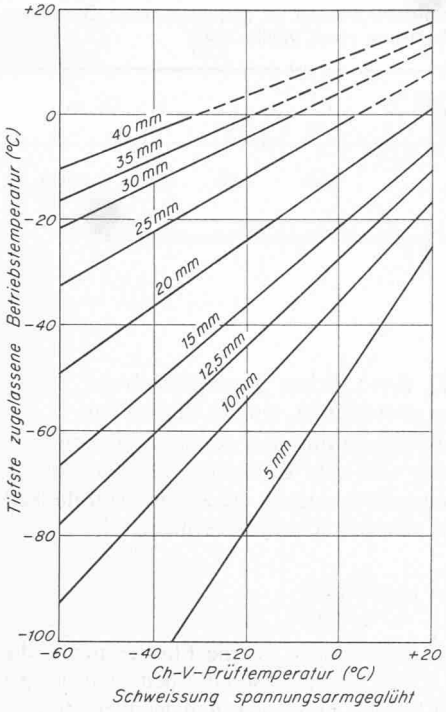
$$a_c = \frac{2}{\pi}\left(\frac{K_c}{\sigma}\right)^2 \tag{45}$$

Wells gibt demnach für den Verformungsbereich verhältnismässig strenge Fehlerkriterien an, von denen lediglich runde Fehler ausgenommen werden. Letztere müssen nur als Schwächung des tragenden Querschnittes in Rechnung gestellt werden.

Im Fall der ebenen Dehnung verlangt Wells eine Spannungsarmglühung geschweisster Bauteile sowie eine zerstörungsfreie Prüfung nach der Wärmebehandlung. Ein Fliessen darf an konstruktiven Kerben nicht auftreten.

Im wesentlichen schlägt Wells also eine dreistufige Prüfung vor: der Beweis des plastischen Verhaltens kann durch die Charpy-V-Prüfung bzw. bei Nichtgenügen noch durch die C.O.D.-Prüfung erbracht werden. Werden die unter in den Gleichungen (42) bzw. (43) angeführten Kriterien nicht erfüllt, so wird nach den Bedingungen der ebenen Dehnung, d.h. des Bruchverhaltens bei vollkommen elastischem Verhalten, bewertet.

Die in [80] angeführten Kriterien werden von anderer Seite angezweifelt [82], da dem relativ grossen Kerbradius der



Bilder 67 und 68. Auf Grund von Wells Wide Plate Tests ermittelte tiefste zulässige Betriebstemperaturen in Abhängigkeit der Charpy-V-Prüftemperatur für verschiedene Wanddicken

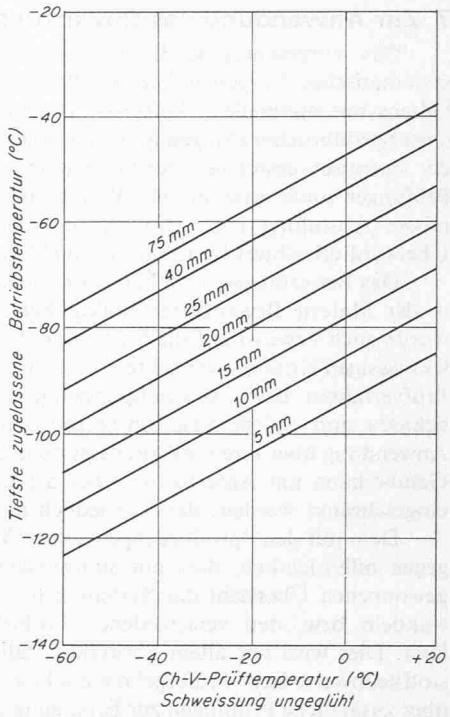


Bild 67 (links). Schweissung ungeglüht, nach Burdekin

Bild 68 (rechts). Schweissung spannungsarmgeglüht, nach Burdekin

Charpy-V-Probe und in der Folge der Rissfrontbildung und der Risseinleitung nicht Rechnung getragen wird. (Eine Anwendung der Grenzwertverfahren könnte hier von Vorteil sein.)

Das Vorgehen von Wells bedeutet gegenüber den Denkmodellen einen Spezialfall der Folgeprüfungen, wobei drei der vier Stufen nach der eigenen Definition, die statistischen, die angepassten und die quantitativen Verfahren erwähnt werden.

Mit der Angabe von Fehlergrössenkriterien im vollzähen Bereich ist keine Rückführung möglich, lediglich bei runden Fehlern ist eine ähnliche Bewertung, wie in den Denkmodellen, vorhanden.

Harrison, Burdekin und Young [81] behandeln neben Fehlerkriterien für Wechselbeanspruchungen auch solche bei statischer Belastung. Bei Betriebstemperaturen über 100 °C nehmen die Autoren im letzten Fall bis zu einer Werkstoffdicke von 75 mm ein vollkommen plastisches Verhalten als gesichert an. Aus diesem Grund werden Fehler in der Grössenordnung der Wanddicke toleriert. Dies gilt, wie auch die folgenden Ausführungen, für Kohlenstoff-Manganstähle.

Es wurden C.O.D.-Prüfungen durchgeführt und mit Charpy-V-Werten korreliert. Aus den Bildern 67 und 68 sind die tiefsten zulässigen Betriebstemperaturen mit den zugehörigen Prüftemperaturen ersichtlich. Es sind zwei Festigkeitsklassen vorgesehen: Bei Fliessgrenzen über 26 kp/mm² werden 5,2 mkp/cm² im Mittel aus 3 Proben, unter 26 kp/mm² 3,5 mkp/cm² gefordert.

Als Kriterium wurde das Vierfache der Grenzdehnung an der Fliessgrenze über den ganzen Querschnitt der C.O.D.-Proben gesetzt. Die Anwendung der Diagramme ist auf die untersuchte Stahlqualitätsklasse, Schweisszusätze und ähnliche Schweissbedingungen wie im Prüfling beschränkt.

Ausserhalb der Gültigkeitsbereiche der Diagramme in den Bildern 67 und 68 werden Verfahren der Bruchmechanik vorgesehen. Je nach teilplastischem bzw. nahezu vollelastischem Bruchverhalten werden angepasste bzw. quantitative Verfahren vorgeschlagen, siehe Tabellen 7 und 8. Interessant ist die Ergänzung mit dem Kerbfaktor von 3,0 der einen Begriff über die Bewertung von konstruktiven Kerben gibt.

Der Vergleich mit den eigenen Denkmodellen zeigt, dass bei vollplastischem Verhalten das Fehlerkriterium praktisch entfällt und damit von Harrison, Burdekin und Young ein der Rückführung entsprechender Schritt vorgeschlagen wird. Die Charpy-V-Prüfung wird nur in Korrelation und als Ersatz zur C.O.D.-Prüfung durchgeführt. Dies bedeutet, dass eine Folgeprüfung übersprungen und gleich zu einer aussagefähigeren Prüfung geschritten wird. Anderseits bringt es die Substitution mit sich, dass die Charpy-V-Prüfung nur bei Vorhandensein der Korrelation eingesetzt werden kann, ansonsten eine angepasste Prüfung notwendig wird.

Die Kriterien der angepassten Prüfung werden einfacher als bei Wells, vermutlich in Anlehnung an jene der linear-elastischen Verfahren, formuliert, siehe Tabellen 7 und 8. Zu bemerken ist noch, dass bei der Notwendigkeit einer Beurteilung der Rissauffangfähigkeit ein Grenzwertverfahren, die Ermittlung der NDT-Temperatur bzw. ein angepasstes Verfahren, das drop weight tear test, DWTT, empfohlen wird. Im ersteren Fall muss die Betriebstemperatur mindestens 32 °C über NDT, im zweiten Fall über dem spröd-zähen Übergang bei voller Wanddicke der Probe liegen.

Dass Auslassungen in den Folgeprüfungen, die Anwendung von Substitutionen und nicht genügend gesicherte Kriterien zu grossen Risiken führen, mag folgendes Beispiel illustrieren [82]: Ein Kohlenstoff-Manganstahl mit einer Fliessgrenze von 24 kp/mm² ergab bei 0 °C Charpy-V-Werte um 5,2 mkp/cm² und bei —45 °C um 0,5 mkp/cm². Bei der tieferen Temperatur betrug die Fliessgrenze rund 32 kp/mm². Nach [81] wäre im spannungsarm geglühten Zustand dieser Stahl bis —45° mit Fehler durch die ganze Blechdicke von 75 mm und einer Fehlerlänge gleich der doppelten Blechdicke noch einsetzbar. Gemäss Wells [80] hingegen ergibt sich bei derselben Temperatur die grösste Wanddicke für ebenen Schub mit 7 mm, selbst hier müssen noch Fehlertoleranzen, die unter der Wanddicke liegen, eingehalten werden.

Die Folgerung aus der Analyse beider betrachteten Konzepte ist, dass die Diskrepanz neben den unterschiedlichen Kriterien auf die verschiedene Bewertung der Bruchbereiche und der Folgeprüfungen zurückzuführen ist.

Die Beurteilung nach Wells ist wesentlich strenger, da er im Verformungsbereich schon Fehlerkriterien vorschreibt und sowohl im Übergangs- als auch im verformungsarmen Bereich die strengen Bedingungen der linear-elastischen Bruchmechanik ansetzt.

Tabelle 7. Fehlertoleranzen im Übergangsbereich in Abhängigkeit von der Rissöffnung ϑ nach [81], $\sigma_{zul} = 0{,}66\ \sigma_s$

Fehlermass a	Spannungsarmgeglüht	Nicht geglüht oder spannungsarmgeglüht $+ K_t = 3{,}0$	Nicht geglüht $+ K_t = 3{,}0$
[mm]	n	n	n
$a_{zul} \leqq n \dfrac{\vartheta}{\varepsilon_{el}}$	0,50	0,15	0,10

Tabelle 8. Fehlertoleranzen im Bereich der ebenen Dehnung nach [81], $\sigma_{zul} = 0{,}66\ \sigma_s$

Fehlermass a	Spannungsarmgeglüht	Nicht geglüht oder spannungsarmgeglüht $+ K_t = 3{,}0$	Nicht geglüht $+ K_t = 3{,}0$
[mm]	m	m	m
$a_{zul} \leqq m\left(\dfrac{K_{Ic}}{\sigma_s}\right)^2$	0,5	0,15	0,15

Die von Burdekin im Übergangsbereich vorgesehene C.O.D.-Prüfung toleriert wesentlich grössere Fehler bzw. erlaubt eine höhere Beanspruchung. Allerdings scheint die Ermittlung der Korrelation C.O.D.-Prüfung-Kerbschlagprüfung noch nicht hinreichend gesichert, da an dem oben angeführten Beispiel eines Kohlenstoff-Manganstahles eine C.O.D.-Prüfung an dem 75 mm dicken Blech bei —45 °C nur etwa 0,3 % Dehnung über die Gesamtlänge der Probe bis zum Bruch ergab. Damit ist die Bedingung, dass mindestens das Vierfache der elastischen Grenzdehnung erreicht werden muss, worauf die Diagramme der Bilder 67 und 68 beruhen, nicht erfüllt.

Gegenüber der kontinentaleuropäischen Praxis sind über rd. 20 mm Wanddicke im nicht spannungsarm geglühten Zustand die Anforderungen an die Kerbschlagzähigkeit höher, während nach Spannungsarmglühung diese viel geringer ausfallen.

7.2 Anwendung am Konzept eines ISO-Normvorschlages

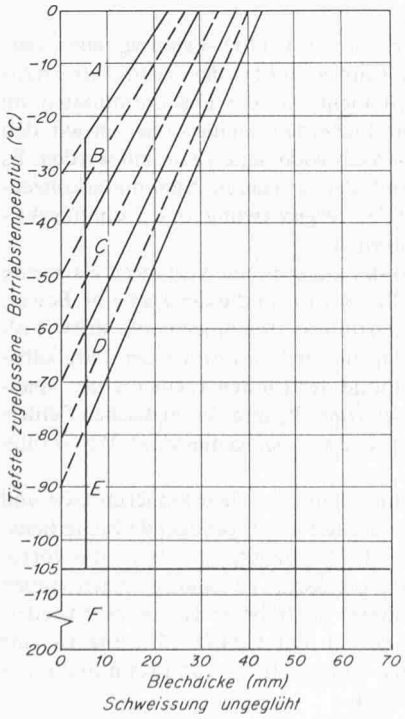
Im Herbst 1970 wurde von der ISO/TC 11/SC 2/WG 15 ein holländisches Konzept [83] zur Beurteilung der Sprödbruchgefahr diskutiert. Es wurde lediglich die statische Belastung berücksichtigt.

Ähnlich dem unter 7.1 angeführten Vorgehen wurden aufgrund von C.O.D.-Prüfungen für verschiedene Stahlqualitäten und Werkstoffdicken tiefste Betriebstemperaturen festgelegt. Die Ergebnisse von C.O.D.-Prüfungen wurden mit Charpy-V-Prüfungen korreliert, und die Kriterien der Kerbschlagprüfung nochmals mit den Erfahrungen an ähnlichen Stählen und Bauwerken der letzten 20 Jahre überprüft. Zur Bestimmung der Stahlklassen wurden Kerbschlagprüfungen bei 0, —20 und —50 °C vorgesehen. Diese Prüftemperaturen entsprechen den Stählen B, C und D in den Bildern 69 und 70. Für die Kategorien E und F sind besondere Vereinbarungen notwendig. Es sind jeweils die grösstmöglichen Werkstoffdicken im Zusammenhang mit den tiefsten Betriebstemperaturen dargestellt.

Die Abhängigkeit der Prüftemperatur der Charpy-V-Proben von der tiefsten Betriebstemperatur ist lediglich bei Wanddicken bis zu 10 mm weniger streng als in 7.1. Die sonst etwa gleichen Diagramme ermöglichen eine Verbindung der tiefsten Betriebstemperatur mit der Prüftemperatur auch ausserhalb der gewählten Stahlklassen für die verschiedenen Werkstoffdicken an Schweisskonstruktionen im ungeglühten und im spannungsarm geglühten Zustand.

Eine Bewertung gemäss dem eigenen Bewertungsschema ergibt, dass an herkömmlichen Verfahren vor allem zum allgemeinen Qualitätsnachweis an Schmiedestücken sowie in beschränktem Ausmass an gegossenen Teilen eine Rundkerbprüfung zulässig ist. Ab dem 1. Januar 1976 werden auch im Vorschlag Charpy-V-Proben eingesetzt.

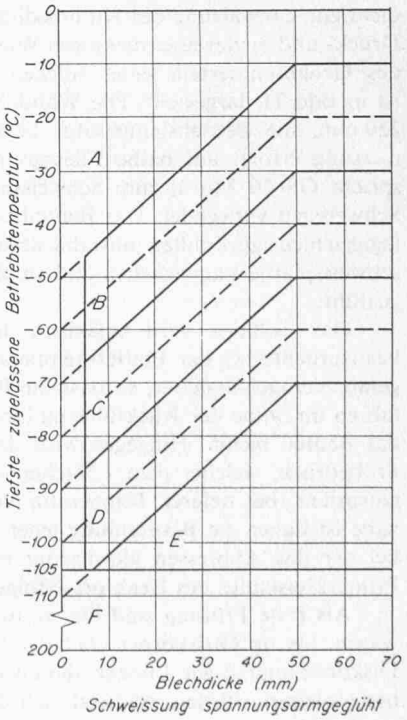
Statistisch gestützte sowie Grenzwertverfahren werden als solche nicht verwendet; es wird direkt zu den angepassten Verfahren geschritten. Mit dem Kunstgriff der Korrelation zwischen der C.O.D.-Prüfung an Grossproben zur Charpy-V-Prüfung wird letztere zur Ermittlung der Sprödbruchsicherheit eingesetzt.



A Kohlenstoff-Stähle
B, C Kohlenstoff-Mangan-Stähle
D, E Feinkornbaustähle
F Nickel-legierte und Spezialstähle

Bild 69 (links). Tiefste zugelassene Betriebstemperaturen für verschiedene Stahlklassen in Abhängigkeit der Blechdicke für ungeglühte Schweissungen. Nach dem Vorschlag des ISO/TC 11/SC 2/WG 15, 1970

Bild 70 (rechts). Tiefste zugelassene Betriebstemperaturen für verschiedene Stahlklassen in Abhängigkeit der Blechdicke für spannungsarmgeglühte Schweissungen. Nach dem Vorschlag des ISO/TC 11/SC 2/WG 15, 1970



Im Normkonzept wird demnach ein Beurteilungsverfahren mit den zugehörigen Kriterien für statische Belastung geboten. Anwendbar sind die Vorschriften nur für Stähle, die mittels C.O.D.-Prüfungen an zugbeanspruchten Grossproben mit der Charpy-V-Prüfung korreliert wurden.

Die als einzige Referenzprüfung angeführte «Wells wide plate test» sollte mit anderen geeigneten angepassten Verfahren als ersetzbar bezeichnet werden. Der Klasseneinteilung der Stähle sollte auch nur ein informatorischer Wert beigemessen und eher auf die Stahlsorten einzelner Hersteller abgestellt werden.

Die Streuung der Herstellung müsste anfänglich sorgfältig überwacht werden, zumal die Charpy-V-Probe wesentlich unempfindlicher und zum Teil qualitativ auch anders auf Änderungen des Risseinleitungsverhaltens reagiert als die mit Schlitzen versehenen Grossproben. Im Normkonzept bleibt es weiterhin unerwähnt, dass die Referenzproben künstliche Fehler definierter Geometrie aufweisen und damit die Kriterien bestimmte Fehlergrössen-Dimensionen enthalten.

Im ungeglühten Zustand wurde ein Sicherheitszuschlag von 10 °C gemacht, im spannungsarm geglühten Zustand hingegen – wegen der Möglichkeit von zusätzlichen Spannungen und nicht voll gelösten Eigenspannungen – ein solcher von 60 °C angewendet.

Das ausschliessliche Denken in Temperaturkriterien zeigt sich in Bild 70, wo die Temperaturkriterien über 50 mm Werkstoffdicke konstant gehalten und ursprünglich bei 70 mm mit Pfeilen für noch grössere Dicken versehen waren. Entsprechend dem vorgelegten Bewertungsschema ist es offensichtlich, dass eine Extrapolation konstanter Temperaturkriterien auf beliebige Wanddicken unzulässig ist. Ein diesbezüglicher Hinweis wurde von der Arbeitsgruppe der ISO angenommen und die Gültigkeit des Diagramms auf maximal 70 mm Wanddicke beschränkt. Zu beachten sind weiterhin die Beschränkungen der Anwendung, welche in Kapitel 6, schlagartige Beanspruchungen im Werkstoff bei statischer Belastung eines Bauteiles, angeführt sind.

7.3 Anwendung auf ein Nuklear-Bauteil

Nachfolgend soll die Beurteilung des Bruchverhaltens entsprechend den Denkmodellen in ihren wesentlichsten Punkten verfolgt werden.

Die als Beispiel gewählte Reaktor-Hauptkühlmittelpumpe dient zur Umwälzung des Kühlmediums, welches im Fall von Druck- und Siedewasserreaktoren Wasser ist. Der Querschnitt des Gehäuseunterteils einer solchen Hauptkühlmittelpumpe ist in Bild 71 dargestellt. Die Wanddicke beträgt bis zu rund 250 mm, die Betriebstemperatur liegt über 300 °C. Die Bemessung erfolgt auf halbe Fliessgrenze. Der Werkstoff entspricht GS 20 Mo 4, zum Schweissen wird etwa artgleiches Schweissgut verwendet. Das Bauteil wird innen mit einer einlagigen niedriggekohlten, unstabilisierten, austenitischen Bundschweissplattierung versehen und anschliessend spannungsarm geglüht.

Das Gehäuse wird anlässlich der Druckprobe statisch beansprucht; bei der Betriebstemperatur ist die Sprödbruchgefahr vernachlässigbar, so dass die üblichen Bemessungsverfahren im Sinne der Rückführung hinreichende Sicherheit für das Bauteil bieten. Hingegen wird das Abpressen mit einem Probedruck, welcher dem 1,5fachen des Berechnungsdruckes entspricht, bei tieferer Temperatur vorgenommen. Die Aufgabe ist daher die Bestimmung jener minimalen Temperatur, bei der das Abpressen gleichzeitig mit jenem des gesamten Primärkreislaufes des Reaktors erfolgen kann.

Als erste Prüfung sind die statistischen Verfahren zu erwägen. Da im Gusskörper über der Nachweisgrenze liegende Diskontinuitäten wie Lunker, die auch scharfkantig sein können, toleriert wurden, schliesst sich die Anwendung der statistischen Prüfungen aus. Diese können lediglich zur Qualitätskontrolle eingesetzt werden, indem Korrelationen zu den in diesem Fall gültigen Prüfverfahren ermittelt werden.

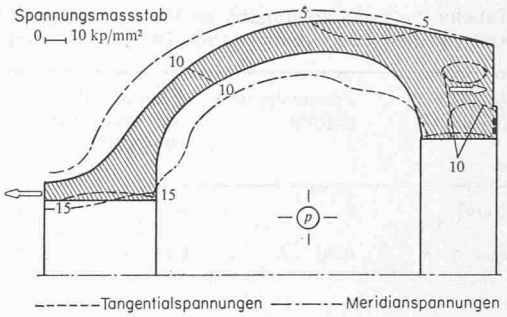


Bild 71. Schematische Darstellung des Querschnittes eines Reaktorhauptkühlmittel-Pumpenunterteils. Werkstoff GS 20 Mo 5. Es sind die Tangentialspannungen (Umfangsspannungen) und die Meridianspannungen (Längsspannungen) für den Probedruck von 267 atü dargestellt

$p = 267$ atü, $E = 20\,750$ kp/mm², $\nu = 0{,}3$

Die erste Folgeprüfung gemäss den Grenzwertverfahren zeigt folgendes Bild: die Fallgewichtsprüfung nach Pellini gibt streng genommen nur bis zu Wanddicken von 75 mm eine gesicherte Aussage über das Bruchverhalten im Bauteil. Bei grösseren Wanddicken und mit Vergrösserung der Sicherheitsmarge von 32 auf 64 °C [84] scheint das Kriterium noch nicht hinreichend gesichert zu sein. Letzteres ist auch der Fall bei den gedrückten Scharfkerbproben nach Schnadt, wo zwar die Spannungsversprödung der im Bauteil auftretenden ähnlich erwartet werden kann, aber die Übertragbarkeit der Ergebnisse kleiner Proben auf die grossen Wanddicken noch nicht hinreichend untersucht worden ist.

Die zweite Folgeprüfung mit Anwendung der angepassten Verfahren kann mit der dritten Folgeprüfung, den quantitativen Verfahren, zusammengefasst werden, indem eine Probenart verwendet wird, welche im Fall der hinreichend elastischen Verformung die Ermittlung der Reisszähigkeit, im Falle einer grösseren plastischen Verformung die Messung der Rissaufweitung, C.O.D., gestattet. Da das Verhalten im voraus nicht bestimmt werden kann, werden an den Proben beide Prüfungen gleichzeitig durchgeführt.

Das übliche Kriterium der C.O.D.-Prüfung, eine vierfache Dehnung am Kerbgrund gegenüber der elastischen Grenzdehnung genügt insofern nicht, als die Diskontinuitäten im Gusswerkstoff nicht mit Sicherheit kleiner oder gleich den künstlichen Fehlern im «Wells wide plate test» sein werden. Es muss daher entsprechend der grösseren Spannungskonzentration eine proportionale Vergrösserung des Dehnungskriteriums vorgenommen werden.

Wird das Kriterium der angepassten Verfahren als zweite Folgeprüfung nicht erfüllt, so wird in diesem Fall eine Bewertung gemäss der linear-elastischen Bruchmechanik, dritte Folgeprüfung, notwendig. Dazu wurde im Sinne der Parallelbewertung mittels der Methode der Finiten Elemente der Spannungsverlauf im Gehäuse ermittelt, und die kritischen Fehlergrössen könnten mit Anwendung der gemessenen Reisszähigkeit berechnet werden.

Ist zwischen den ermittelten kritischen Fehlergrössen und den möglichen Diskontinuitäten keine genügende Sicherheitsmarge vorhanden, so ist die Prüftemperatur bzw. die vorgesehene Temperatur des Abpressens zu niedrig angenommen worden; die Versuche müssen bei höherer Temperatur wiederholt werden. Im Gegensatz zu der C.O.D.-Messung ist eine Extrapolation auf höhere Temperaturen zur Bestimmung der Reisszähigkeit nicht möglich.

Falls keine bedeutende Strahlenversprödung erfolgt, muss im Unterschied zu den Reaktordruckgefässen beim allfälligen periodisch wiederholten Abpressen lediglich die Alterung und eine mögliche Ermüdungsrissbildung durch die thermischen Zyklen berücksichtigt werden.

8. Zusammenfassung

Die gängigsten Hypothesen für das Bruchverhalten werden betrachtet und insbesondere die Möglichkeiten zur Berücksichtigung des Temperatur- und Geschwindigkeitseinflusses untersucht. Ein Vorschlag zur Erweiterung der Hypothesen mit den erwähnten Einflussgrössen wird angeführt. Die entsprechende experimentelle Bestätigung und die daran anknüpfende Realisierbarkeit der ganzheitlichen Betrachtung des Bruchverhaltens stehen indessen noch aus.

Nach Diskussion dieser – über die Grundlagen der herkömmlichen Festigkeitsrechnung hinausgehenden – erweiterten Hypothesen wird ein zweigleisiges Vorgehen entwickelt. Parallel zur üblichen Festigkeitsrechnung wird eine systematische Beurteilung des Bruchverhaltens aufgebaut. Es werden prinzipielle Lösungen zur Minimalisierung des erforderlichen Prüfaufwandes angegeben: Durch die Wahl geeigneter Prüfverfahren wird bei hinreichend zähem Verhalten die Rückführung auf die übliche Festigkeitsrechnung möglich. Die Berücksichtigung plastischer Bruch- oder Kerbbruchkriterien wird damit unnötig.

Bei verformungsarmem Verhalten wird eine Parallelbewertung mit Ermittlung des Spannungsverlaufs notwendig. Auf Grund von Spannungskriterien wird im Vergleich mit der Reissfestigkeit oder der Reisszähigkeit die Bruchsicherheit ermittelt.

Im Rahmen des beschriebenen Bewertungssystems werden zur Rückführung Folgeprüfungen eingesetzt, welche die sinngemässe Einordnung der bestehenden Prüfverfahren in Klassen erfordern. Diese Einordnung der Sprödbruchprüfungen erfolgt nach deren Aussagewert in die folgenden Kategorien: herkömmliche, statistisch gestützte, Grenzwert- und angepasste Prüfungen sowie quantitative Verfahren. Damit ergibt sich eine bisher vermisste Übersicht auf diesem Gebiet.

Die angestellten Überlegungen sind zur Hauptsache materialunabhängig. Immerhin liegt das Schwergewicht bei den Metallen, vorab beim Baustahl.

Summary

The most customary hypotheses for the fracture behaviour are reviewed and in particular the possibilities investigated to allow for the consideration of the influence of temperature and velocity. A proposal for taking account of the influence of these factors is mentioned. The corresponding experimental confirmation and the subsequent possibility of the introduction of an unified treatment of the fracture behaviour are items thus still outstanding.

After discussing these hypotheses – which are extended over and above the conventional strength calculation – a two way procedure is developed. Parallel to the usual strength calculation, a systematic appraisal of the fracture behaviour is built up. Fundamental solutions for the minimising of the appropriate test work are given, viz., by the choice of suitable test procedures, the return to the usual strength calculation is possible with a sufficiently ductile behaviour. The consideration of plastic fracture or notch fracture criteria becomes thus superfluous.

With elastic behaviour until rupture a parallel evaluation becomes necessary with the determination of the stress distribution. On the basis of stress criteria, the safety against fracture is ascertained in comparison with the fracture toughness or the true tensile rupture stress.

Within the framework of the proposed systems approach sequence tests are used which call for the classification of the existing test procedures into categories. This classification of the brittle fracture tests is carried out according to their response value in the following categories: conventional, statistically based, limit-value, and adapted tests, as well as quantitative procedures. An appraisal in this field hitherto lacking is thereby obtained.

The considerations presented are chiefly material independent. Nevertheless, the emphasis is on the metals – principally on constructional steels.

Résumé

On considère les hypothèses les plus propices à l'apparition d'une cassure et on recherche en particulier comment tenir compte de l'influence de la température et de la vitesse.

On cite une extension des hypothèses aux grandeurs d'influences mentionnées. La confirmation expérimentale correspondante et la réalisation d'un traitement integral du comportement à la rupture s'y rattachant restent cependant en suspens.

Après une discussion de ces hypothèses élargies – surtout des principes du calcul d'élasticité conventionnel – on développe un procédé à double voies. On établit parallèlement au calcul d'élasticité usuel une étude systématique de comportement à la rupture. On donne des solutions de principe tendant à minimiser le nombre des essais nécessaires. Dans le cas d'un comportement suffisamment ductile, le chaix d'un procédé d'essai approprié rend possible le retour au calcul d'élasticité usuel.

La considération des critéres plastiques de résilience et d'entaille en devient ainsi superflu.

Dans le cas d'un comportement élastique jusqu'à la rupture, une évaluation parallèle est nécessaire pour la recherche des contraintes actuelles dans la pièce. Sur la base de critères de contraintes on constate le danger de la rupture fragile par comparaison avec la «fracture toughness» ou la résistance à la rupture.

Dans le cadre de l'évaluation systématique on établit une suite d'essais qui demande une classification logique des procédés existants. Les essais de fracture fragile sont classés au moyen des catégories suivantes: conventionnelle, fondée statistiquement, valeurs limites – essais adéquates et méthodes quantitatives. Il s'ensuit dans ce domaine un aperçu qui manquait jusqu'alors.

Les réflexions exposées sont pour l'essentiel indépendantes du matériau. Cependant le centre d'intérêt concerne les métaux, principalement l'acier de construction.

Die vorliegende Arbeit stimmt weitgehend mit der an der Eidg. Technischen Hochschule Zürich vorgelegten Habilitationsschrift «Denkmodelle zur Beurteilung der Bruchsicherheit von Bauteilen aus ferritischen Baustählen unter statischer oder schlagartiger Belastung» überein (einzusehen in der Hauptbibliothek der ETHZ). Den Referenten, Prof. Dr. *Theodor Erismann* und Prof. Dr. *Willfried Epprecht*, sei auch an dieser Stelle gedankt. Dr. *Werner Felix* hat die Ausführung der vorliegenden Arbeit angeregt. Mit Prof. Dr. *Adolf Slattenschek* konnten einige grundlegende Aspekte erörtert werden; er stellte Manuskripte und sonstige Unterlagen zur Verfügung. Prof. Dr. *Theodor Erismann* verfolgte die Niederschrift; seine Ratschläge betreffend Gestaltung und Formulierung waren sehr wertvoll. Allen gilt der besonders herzliche Dank des Verfassers. Die Professoren Dr. *Hanns H. Ott*, Dr. *Hans Ziegler*, Dr. *Willfried Epprecht* trugen mit ihrer Kritik zur Präzisierung von Begriffen und Bezeichnungen bei.

Zu Dank verpflichtet auch das freundliche Interesse und die Diskussionsbereitschaft von Vorgesetzten und Kollegen, von denen *Max Briner, Jean-Jacques Chêne* und *Walter Stumpp* erwähnt werden sollen.

Der Firma Gebrüder Sulzer AG und insbesondere der Direktion der Abteilung Forschung und Entwicklung ist die gewährte Unterstützung sowie die Publikationserlaubnis von Untersuchungsergebnissen bestens zu verdanken.

Prof. Dr. *A. Kochendörfer* sei für die letzte Durchsicht des Manuskriptes und seine Bemerkungen gedankt.

Adresse des Verfassers: PD Dr. sc. techn. *T. Varga*, Binzmühlestrasse 389, 8046 Zürich, in Firma Gebr. Sulzer AG, Abteilung 15/1502, 8401 Winterthur.

Literaturverzeichnis

[80] *A.A. Wells:* Notch Ductility, Design and the Specification of Permissible Defect Sizes in Welded Metal Structures. IIW/IIS Doc. X-582-70.

[81] *J.D. Harrison, F.M. Burdekin* and *J.G. Young:* A Proposed Acceptance Standard for Welded Defects based upon Suitability for Service. IIW/IIS Doc. X-583-70.

[82] *J.D. Harrison:* A Critical Review of two Approaches to the Specification of allowable Defect Sizes with Respect of Brittle Fracture. IIW/IIS Doc. X-581-70.

[83] Document ISO/TC 11/SC 2/WG 15 (Rijswijk-2) 4, February 1970.

[84] *W.S. Pellini:* Integration of Analytical Procedures for Fracture-Safe Design of Metal Structures. NRL Report 7251, March 26, 1971, S. 35.

Der Zürcher Baukostenindex am 1. Oktober 1972

DK 69.003

Der vom Statistischen Amt der Stadt Zürich berechnete Baukostenindex ist vom 1. April bis 1. Oktober 1972 um 1,0 Prozent angestiegen. Im vorangegangenen Halbjahr, Oktober 1971 bis April 1972, hatte sich der Zürcher Baukostenindex um 9,0 Prozent, erhöht. Für die Zwölfmonatsperiode Oktober 1971 bis Oktober 1972 resultierte eine Verteuerung um 10,1 Prozent. Der geringere Kostenanstieg im Sommerhalbjahr 1972 hängt vorwiegend mit der Inkraftsetzung von Lohn- und Materialpreiserhöhungen auf Jahresanfang zusammen.

Der Zürcher Baukostenindex, den das Statistische Amt der Stadt Zürich jeweils auf 1. April und 1. Oktober berechnet, ist eine Richtzahl für die Erstellungskosten von Mehrfamilienhäusern (ohne Land), die nach Bauart, Ausstattung und Lage den Indexhäusern entsprechen. Als derartige Typenhäuser dienen drei von einer Baugenossenschaft im Jahre 1954 erstellte Wohnblöcke mit 42 Wohnungen am Letzigraben 209–221 in Zürich-Albisrieden. Im Einvernehmen mit Vertretern des Baugewerbes und mit dem Hochbauamt der Stadt Zürich sind die Baubeschriebe und Pläne der Indexhäuser nachträglich dem 1966 in Zürich üblichen mittleren Standard angepasst worden.

Die Aufgliederung nach Kostenarten auf der Basis 1. Oktober 1966 = 100 erfolgt nach dem Baukostenplan (BKP) 1969 der Schweizerischen Zentralstelle für Baurationalisierung. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die im Baukostenindex aufgeführten Kostenarten nur einen Ausschnitt aus der umfassenden Systematik des Baukostenplans 1969 bilden.

Um die Bewegung der Baupreise in den grossen Linien auch über einen längeren Zeitraum verfolgen zu können, wurden die Indizes der *Gesamtkosten* für die modernisierten und für die früheren Indexhäuser miteinander verkettet. Die drei nachstehenden Indexreihen mit der Basis Juni 1939 = 100, August 1957 = 100 und Oktober 1966 = 100 beruhen für 1939 und 1946 auf dem früheren Indexhaus Zeppelinstrasse 59, vom August 1957 bis Oktober 1966 auf den drei Blöcken Letzigraben 209–221 in ihrer tatsächlichen Ausführung und ab Oktober 1966 auf den gleichen, jedoch im Baubeschrieb modernisierten Indexhäusern.

Zu Tabelle 1: Auf der *Basis Juni 1939 = 100* ergibt sich für Oktober 1972 ein Indexstand von 470,6 Punkten; die Wohnbaukosten haben sich demnach gegenüber der Zeit vor dem Zweiten Weltkrieg mehr als verviereinhalbfacht. Wird vom Zeitpunkt des Übergangs zu den Indexhäusern Letzigraben *August 1957 = 100* als Basis ausgegangen, so ergibt sich für den Oktober 1972 ein Indexstand von 221,0 Punkten, was gut einer Verdoppelung der Wohnbaukosten in den verflossenen 15 Jahren entspricht. Auf der *Basis Oktober 1966 = 100* resultiert für Oktober 1972 ein Stand von 147,7 Punkten. Demnach sind die Wohnbaukosten innert sechs Jahren um annähernd 50 Prozent gestiegen.

Tabelle 1. Index der Gesamtkosten seit 1939

	Indexhaus Zeppelinstrasse Zürich-Unterstrass		Indexhäuser Letzigraben in Zürich-Albisrieden								
Indexbasis	1. 6. 39	1. 8. 46	1. 8. 57	1. 10. 66	1. 10. 69	1. 4. 70	1. 10. 70	1. 4. 71	1. 10. 71	1. 4. 72	1. 10. 72
Juni 1939 = 100	*100,0*	176,7	212,9	318,6	318,6	374,7	384,2	421,2	427,3	466,0	470,6
August 1957 = 100	47,0	83,0	*100,0*	149,6	149,6	175,9	180,4	197,8	200,7	218,8	221,0
Oktober 1966 = 100	31,4	55,5	66,8	*100,0*	*100,0*	117,6	120,6	132,2	134,1	146,3	147,7

Tabelle 2. Kubikmeterpreise nach SIA in Franken seit 1939

Indexhäuser	1. 6. 39	1. 8. 46	1. 8. 57	1. 10. 66	1. 10. 69	1. 4. 70	1. 10. 70	1. 4. 71	1. 10. 71	1. 4. 72	1. 10. 72
Zeppelinstrasse 59, Zürich-Unterstrass[1])	50,25	89,03	110,42	—	—	—	—	—	—	—	—
Letzigraben 209–221, Zürich-Albisrieden[2])											
tatsächl. Ausführung	—	—	104,38	155,08	—	—	—	—	—	—	—
modern. Baubeschrieb	—	—	—	169,89	184,19	197,96	202,89	221,88	225,06	245,76	248,06

[1]) Eingebautes Sechsfamilienhaus, Baujahr 1932, Baubeschrieb 1948 modernisiert, Kubus 1897,45 m³

[2]) Drei Wohnblöcke mit 42 Wohnungen, Baujahr 1954, Baubeschrieb 1966 modernisiert, Kubus 12 632,69 m³