

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 90 (1972)
Heft: 41

Artikel: Bruchsicherheit und Komponenten von Kernkraftwerken
Autor: Redaktion
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-85329>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 14.03.2025

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

brutreaktor. Die Studien der Strahlungsschäden, die für die Schnellbrutreaktoren durchgeführt werden, können auch wichtige Grundlagen zum Studium der Materialprobleme in Fusionsreaktoren liefern. Die Neutronenenergie liegt allerdings beim Fusionsreaktor etwas höher als beim Schnellbrüter, die Materialfragen sind aber bei beiden Systemen durchaus vergleichbar.

Die Handhabung von Tritium

Die Handhabung und Wiedergewinnung von Tritium wirft wichtige Fragen auf beim Entwurf eines Fusionsreaktors. Das im Brutmantel entstehende Tritium wird in das Plasma als Brennstoff zurückgeführt. Da es ein radioaktives Element ist, muss jedoch beim Umgang damit und bei dessen Trennung vom Kühlmittel äusserst sorgfältig vorgegangen werden. Hier tauchen drei wichtige Problemgruppen auf. Die erste ist das langsame Entweichen von kleinen Tritium-Mengen während des Betriebes. Die zweite ist die mögliche Freisetzung von grösseren Tritium-Mengen beim sogenannten «grössten noch denkbaren Unfall», zum Beispiel beim Absturz eines Flugzeuges auf den Reaktor. Die dritte ist die Möglichkeit einer Anreicherung der Weltatmosphäre mit Tritium, insbesondere wenn alle Energiebedürfnisse der Erde durch Fusionsenergie gedeckt würden.

Diese Probleme wurden von *Fraas* und *Postma* in Oak Ridge untersucht. Sie kamen zur Schlussfolgerung, dass mit normalen technischen Mitteln der langsame Ausfluss von Tritium während des Normalbetriebes zuverlässig unterhalb der empfohlenen jährlichen Strahlungs-Grenzmengen gehalten werden kann. Bezüglich des grössten denkbaren Unfalls kamen sie zum Schluss, dass diese Gefahr mindestens 10000mal kleiner sei als beim entsprechenden Unfall in einem Spaltreaktor. Bezüglich der Anreicherung der Atmosphäre bei einer weltweiten Fusionskraftkapazität von $6 \cdot 10^6$ MW kamen sie zum Schluss, dass die sich daraus ergebende, auf den menschlichen Körper wirkende Dosis sich ungefähr auf 1/500 der Dosis der natürlichen Radioaktivität auf der Erde belaufen würde.

Induzierte Radioaktivität

Ein weiteres Problem ist die von Neutronen im Material des Reaktors induzierte Aktivität. Obschon die Abfallprodukte der Fusionsreaktoren nicht radioaktiv sind, bewirken die durch

die Verschmelzung entstehenden Neutronen, dass das Material des Reaktors radioaktiv wird. Dieser Frage wurde neuerdings grosse Aufmerksamkeit gewidmet. Man erwartet, dass bei Verwendung von Vanadium sich diese Probleme bewältigen lassen.

Ein erheblicher Vorteil der Fusionsreaktoren ist, dass die freigesetzte Energie fast ausschliesslich direkt im Kühlmittel abgelagert wird und nicht etwa im Inneren eines Brennstoffelements wie im Spaltreaktor. Diese Tatsache lässt einen hohen thermischen Wirkungsgrad von über 50% erwarten.

Ein Überblick über die Kernfusion und deren Aussichten wäre unvollständig, ohne auf die Möglichkeit einer direkten Umwandlung der Nuklearenergie in elektrische Energie – ohne Zwischenschritt einer Dampfphase – hinzuweisen. Erste Untersuchungen im Livermore-Laboratorium der AEC lassen erwarten, dass sogar gegen 90% der nuklearen Energie direkt in elektrische Energie umgewandelt werden könnte. Diese Schätzungen beruhen auf der Anwendung der Reaktion ${}^2\text{D} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^1\text{H} + 18,3 \text{ MeV}$, bei der die Fusionsenergie vollständig in Form von aufgeladenen Teilchen erscheint. Diese Teilchen sind im Plasma enthalten, und die Energie wird dem Plasma elektrisch entzogen. Sollte diese Entwicklungsrichtung Erfolg haben, würde das Problem der Abfallwärme wesentlich verringert.

Forschungszeitplan

In dem Culham-Laboratorium in England fand kürzlich eine Konferenz über die konstruktive Seite der thermonuklearen Energieproduktion statt. Eine Arbeitsgruppe hat nachher folgenden Zeitplan der Entwicklung von gesteuerten thermonuklearer Kraft vorgeschlagen bzw. geschätzt:

Etappe I: 1970 bis 1975. Experimente von zunehmender Grösse zum Beweis der Durchführbarkeit der gesteuerten thermonuklearen Energieerzeugung und Untersuchungen der erfolgversprechenden Entwicklungswege.

Etappe II: 1975 bis 1985. Bau von grossen Prototypen thermonuklearer Reaktoren, welche Versuche verschiedener wissenschaftlicher und konstruktiver Konzepte in grossem Massstab ermöglichen sollen.

Etappe III: 1985 bis 1995. Bau erster Reaktoren zur Erzeugung gesteuerter thermonuklearer Kraft für kommerzielle Zwecke.

M. K.

Bruchsicherheit und Komponenten von Kernkraftwerken

DK 539.42 : 621.039.5

Die Art, in der sich die riesigen Energien der Kernspaltung der Menschheit offenbaren, liess in der Öffentlichkeit ein Unbehagen, ja ein Angstgefühl vor den latenten Gefahren aufkommen, die der friedlichen und nutzbringenden Anwendung der Kerntechnik innewohnen können. Die Furcht vor den unheimlichen Energiemengen und – vielleicht noch mehr – vor den Folgen einer radioaktiven Verseuchung von Luft und Wasser haben letzten Endes dazu beigetragen, dass man erstmals nicht nach Unfällen klug geworden ist, sondern von Anfang an ein Verfahren entwickelt hat, bei dem der Begriff *Sicherheit* eine absolute *Vorrangstellung* einnahm.

Die sich aus den zahlreichen und strengen Sicherheitsvorschriften ergebenden Fragen haben die gesamte Industrie befruchtet, so dass auch viele Gebiete, die nicht direkt mit der Kerntechnik in Verbindung stehen, Nutzen daraus ziehen.

Mit der industriellen Anwendung der Kernenergie haben auch die *Materialprüfverfahren* zusätzliche Bedeutung erlangt; einige wurden neu entwickelt, andere mussten verfeinert werden. War die Sprödbrechtsicherheit von Behältern (beispielsweise von Druckrohrleitungen für hydraulische

Kraftwerke) schon immer wichtig, so erhielt sie im Lichte der Kerntechnik, insbesondere durch die Forderung, radioaktive Produkte *sicher zurückzuhalten*, eine lebenserhaltende Bedeutung.

Beim spröden Bruch werden Bauteile bei Belastung unterhalb der einachsigen Fließgrenze oder sogar unterhalb der zulässigen Spannung teilweise oder ganz getrennt. Die Gefährlichkeit dieses schlagartigen Bruches weist auf die Notwendigkeit einer zusätzlichen Bewertung der Sprödbrechtsicherheit hin.

Für bestimmte Anwendungen wurden schon früher sorgfältige Prüf- und Bewertungstechniken entwickelt, zu denen die Beurteilung der Sprödbrechtsicherheit der erwähnten Druckleitungen durch *W. Felix* und *W. Müller* als Beispiel dienen kann.

Die unterschiedlichen Betriebsbedingungen und in der Folge die vielfältigen Abmessungen und Wanddicken, Stahlsorten, Technologie und Fertigungsqualität machten indessen das Bedürfnis nach einer systematischen Bewertung der Sprödbrechtsicherheit deutlich. Dieses Bedürfnis wurde durch die andererseits fast unübersehbare Mannigfaltigkeit der Sprödbbruchprüfverfahren weiter vergrössert.

In einem Kernkraftwerk sind Druckbehälter und Rohrleitungen verschiedener Betriebsbedingungen, Abmessungen und Wanddicken vorhanden. Eine Sprödbruchgefährdung dieser Bauteile kann in den meisten Fällen ausgeschlossen werden. Indessen sind einige wesentliche Komponenten wie beispielsweise die grossen Kühlmittelpumpen für bestimmte ungünstige Bedingungen auf ihre Sprödbruchsicherheit hin zu prüfen und zu bewerten. Aus diesem Grund kann die Arbeit von T. Varga «Ein Bewertungssystem der Sprödbruchsicherheit», mit deren Abdruck nachfolgend begonnen

wird, insbesondere auch für die Nukleartechnik wertvolle Dienste leisten.

Weitere Versagensarten, welche durch die Fortpflanzung von Werkstoffehlern, durch Korrosion und Strahlenversprödung, durch plastische Instabilität, Dehnungsversprödung oder Verformungsbruch gekennzeichnet sind, müssen sowohl einzeln als auch in Zusammenhang mit der Sprödbruchgefährdung zusätzlich untersucht werden. Somit stellt die nachfolgende Arbeit nur einen – wenn auch wesentlichen – Teilbereich der Erfassung der Bruchsicherheit dar. Red.

Ein Bewertungssystem der Bruchsicherheit

DK 539.42.001.2

Von Dr. T. Varga, Zürich

1. Einleitung

Die vorgesehene Tragfähigkeit von statisch oder schlagartig belasteten Bauteilen wird bei nicht gesichert plastischem Bruchverhalten selbst nach einer geeigneten Festigkeitsrechnung erst durch die Sicherung gegen spröden Bruch gewährleistet.

Zur Beurteilung der Sprödbruchgefährdung sind – insbesondere für Baustahl – viele Prüfverfahren bekannt; es kommen jährlich neue hinzu. Alle diese Prüfungen mögen für bestimmte Werkstoff- und Anwendungsbereiche geeignet sein und damit ihre Existenzberechtigung haben – nur sind ihre Gebiete und Grenzen sehr oft unbekannt.

Es bietet sich daher eine schwer übersehbare Vielfalt an, in welcher die Wahl geeigneter Verfahren sowie die vergleichende oder absolute Bewertung im Hinblick auf die Sicherheit des Bauteils zumeist nur mühsam und mit grossen Unsicherheiten möglich ist. Die Normung kann auf diesem Gebiet, welches sich in ständigem Umbruch befindet, nur wenig Hilfe bieten, es sei denn für Bauteilgruppen, die über längere Zeit stets in gleicher Weise hergestellt werden.

Ein ganzheitliches Vorgehen, welches die Festigkeitsrechnung und die Beurteilung des Bruchverhaltens in Temperatur- und Geschwindigkeitsabhängigkeit in sich integriert, ist derzeit noch nicht möglich. Zwar erlauben die am weitesten gediehenen Erweiterungen der Versagenshypothesen vielversprechende Ausblicke, für die Anwendung sind sie derzeit jedoch noch nicht reif, wie das im nächsten Kapitel ausgeführt wird.

Es erscheint daher der systematische Ausbau der zur herkömmlichen Festigkeitsrechnung parallel durchgeführten Beurteilung der Sicherheit gegen Bruch als ein gangbarer Weg, welcher im Prinzip schon früher vorgeschlagen wurde.

Dabei ergeben sich im wesentlichen zwei Problemkreise: die Entwicklung von Denkmodellen und als Folge in Ablaufschemata fixierte Entscheidungswege sowie die Schaffung einer Systematik, welche die Aufnahme der bestehenden Prüfverfahren in eine logisch gebaute Ordnung erlaubt.

Das aus den Denkmodellen sich ergebende Bewertungssystem soll mit jeweils geringstem Aufwand die Beurteilung der Sicherheit gegen Bruch ermöglichen. Die Minimalisierung des Aufwandes wird mit der Einführung des «Rückführungsprinzips» angestrebt. Die Entscheidungswege führen über abgestufte Prüfungen. Sowohl der Aufwand als auch der Ausgabewert nehmen mit der Prüfstufenzahl zu.

Werden in der ersten Prüfstufe die gesetzten Kriterien erfüllt, so erübrigt sich eine weitere Prüfung des Bruchverhaltens. Da auf diese Weise eine hinreichende Verformbarkeit nachgewiesen wurde, kann der übliche Bemessungsgang befriedigen, die Aufgabe wurde auf den gewöhnlichen Weg zurückgeführt.

Können die Kriterien nicht erfüllt oder die Prüfung nicht angewendet werden, so ist die nächste, als «Folgeprüfung» be-

zeichnete Prüfstufe anzuwenden. Dieser Vorgang kann bis zur Erreichung der höchsten Prüfstufe wiederholt werden.

Ist die «Rückführung» nicht möglich, so wird eine zur Festigkeitsrechnung parallel durchzuführende Ermittlung des Spannungsverlaufs und die Anwendung von quantitativen Verfahren zur Feststellung der Gefährdung durch verformungsarme Brüche notwendig. Letzteres Vorgehen wird unter dem Begriff der «Parallelbewertung» diskutiert.

Die Denkmodelle und die sich ergebenden Entscheidungswege können mit Hilfe der geschaffenen Prüfverfahren-Systematik eingesetzt werden. Als Merkmale werden die zu Hauptkriterien gewählten Einflussgrössen Temperatur und Spannung eingesetzt. Das Gewicht der Prüfverfahren-Kategorien steigt von den statistisch gestützten über die Grenzwert- und angepassten Prüfungen bis zu den quantitativen Verfahren an.

Die angegebenen Denkmodelle und Entscheidungswege sowie die Systematik der Prüfverfahren, d. h. das Bewertungssystem, entstanden nicht willkürlich, sondern beruhen auf den Charakteristiken der mit dem Bruchverhalten gekoppelten Tragfähigkeit bzw. auf den Merkmalen der Prüfverfahren.

Das Ziel, die Sicherung der Tragfähigkeit, bestimmt die Behandlung sowohl der Versagenshypothesen als auch – und vielleicht noch in vermehrter Masse – die Bewertung der Brucharten und des Bruchverhaltens. Dies machte auch die Umdeutung einiger Begriffe notwendig.

2. Die Grundlagen der Bemessung

Anschliessend an die Schadenfälle der Liberty-Schiffe der USA sowie nach den Brüchen der Druckschachtpanzerung des Gerloskraftwerks in Österreich wurde an beiden Orten die Notwendigkeit einer von der Festigkeitsrechnung unabhängigen, zusätzlichen systematischen Beurteilung der Sprödbruchgefährdung von Bauteilen aus ferritischen Stählen, welche bei Umgebungstemperatur belastet werden, schon in den vierziger Jahren erkannt.

Zur Gewährleistung der Tragfähigkeit eines Bauteils entsprechend dem Betriebszweck werden heute bei Verwendung von ferritischen Stählen zusätzlich zur üblichen Bemessung zerstörende und zerstörungsfreie Prüfverfahren angewendet.

Mit den zerstörenden Prüfverfahren wird (neben der Ermittlung der Festigkeitseigenschaften) hauptsächlich die Sprödbruchgefahr, welche als Folge der temperaturbedingten Zähigkeitsabnahme auftritt, untersucht. Werkstoffe für Konstruktionen, welche bei Raumtemperatur und darunter, in einzelnen Fällen auch über Raumtemperatur arbeiten, werden also einer Sprödbruchprüfung unterzogen.

Die einschlägigen Vorschriften lassen allerdings erkennen, dass hier eine fast unübersehbare Vielfalt der Prüf- und Bewertungsverfahren besteht. Die selbst für denselben Verwendungszweck anzutreffenden Unterschiede in den verschiedenen