

KTA 3413

Ermittlung der Belastungen für die Auslegung des Volldrucksicherheitsbehälters gegen Störfälle innerhalb der Anlage

Inhalt

	Seite
Grundlagen	2
1 Anwendungsbereich.....	3
2 Begriffe.....	3
3 Belastungsarten	3
4 Zu ermittelnde Belastungen	3
4.1 Globale Belastungen.....	3
4.2 Großflächige Belastungen.....	3
4.3 Lokale Belastungen.....	3
5 Berechnungsverfahren.....	4
5.1 Rechenmodelle	4
5.2 Randbedingungen und Annahmen	5
5.3 Verifikation und Nachweise.....	6
6 Lastangaben	7
6.1 Globale Belastungen.....	7
6.2 Großflächige Belastungen.....	7
6.3 Lokale Belastungen.....	7
6.4 Überlagerungen	7
Anhang A Wärmeübergang.....	8
Anhang B Strukturunterteilung	9
Anhang C Bestimmungen, auf die in dieser Regel verwiesen wird (Verwiesene Bestimmungen gelten nur in der in diesem Anhang angegebenen Fassung).....	10
Anhang D Literaturangaben.....	10
Stichwortverzeichnis.....	11

Grundlagen

(1) Die Regeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA) haben die Aufgabe, sicherheitstechnische Anforderungen anzugeben, bei deren Einhaltung die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb der Anlage getroffen ist (§ 7 Abs. 2 Nr. 3 Atomgesetz), um die im Atomgesetz und in der Strahlenschutzverordnung festgelegten sowie in den "Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke" und den "Leitlinien zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktoren gegen Störfälle im Sinne des § 28 Abs. 3 Strahlenschutzverordnung (Störfall-Leitlinien)" weiter konkretisierten Schutzziele zu erreichen.

(2) Kriterium 8.2 der Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke legt als Auslegungsgrundlagen für den Sicherheitsbehälter die Erfüllung der Forderungen

- a) Standhalten gegenüber den größten Druck- und Temperaturbelastungen, die bei Störfällen auftreten können, ohne daß die der Auslegung zugrunde gelegte Leckrate überschritten wird oder sicherheitstechnisch wichtige Anlageile zerstört werden, und
- b) Erhaltung der Funktionsfähigkeit des Sicherheitseinschlusses gegen Folgeschäden durch ausströmende Medien, Strahlkräfte, Reaktionskräfte und Bruchstücke

fest. Die dementsprechende Auslegung des Sicherheitsbehälters selbst wird in KTA 3401.2 (6/85) geregelt. Dort werden die für die Auslegung, Konstruktion und Berechnung zugrundezulegenden Lastfälle klassifiziert und durch sie kennzeichnende Belastungen (z.B. Eigenlast, Druck, Temperatur, Kraft u.a.) spezifiziert. In der vorliegenden Regel werden die An-

nahmen und Verfahrensweisen zur Ermittlung der orts- und zeitabhängigen Belastungen festgelegt.

(3) Zur Ermittlung der Belastungen als Folge von Störfällen werden solche Lecks mit Querschnitten bis zu 2A postuliert, die zu den ungünstigsten und damit auslegungsbestimmenden Beanspruchungen des Sicherheitsbehälters führen. Das aus diesen Lecks austretende Wasser-Dampf-Gemisch führt zu Druck- und Temperaturbelastungen des Sicherheitsbehälters. Diese Größen wirken gegebenenfalls je nach der Lage des Lecks auf räumlich unterschiedliche Bereiche des Sicherheitsbehälters ein. Ferner können die Strömungskräfte unmittelbar oder durch ihre Reaktionskräfte auf den Sicherheitsbehälter einwirken. Die Fehlfunktion von Lüftungssystemen kann ebenfalls zu Belastungen des Sicherheitsbehälters führen die denjenigen bei Kühlmittelverluststörfällen ähnlich sind, und die deshalb in dieser Regel auch behandelt werden.

(4) Je nach Problemstellung werden die wesentlichen physikalischen Vorgänge bei angenommenen Ereignissen durch analytische Modelle simuliert und in Rechenprogrammen zusammengefaßt. Zu den Modellen wie auch zu den Rechenprogrammen werden detaillierte Festlegungen möglichst vermieden, um insbesondere der Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik Rechnung zu tragen. In dieser Regel werden auch Zuschläge festgelegt, um Unsicherheiten bei der Berechnung oder Nichtübereinstimmungen zwischen Rechenannahmen und Bauausführung entgegenzuwirken. Ferner werden Randbedingungen angegeben.

(5) Der Zusammenhang zwischen Störfällen und den daraus folgenden Belastungen des Sicherheitsbehälters ist aus **Bild G-1** zu ersehen.

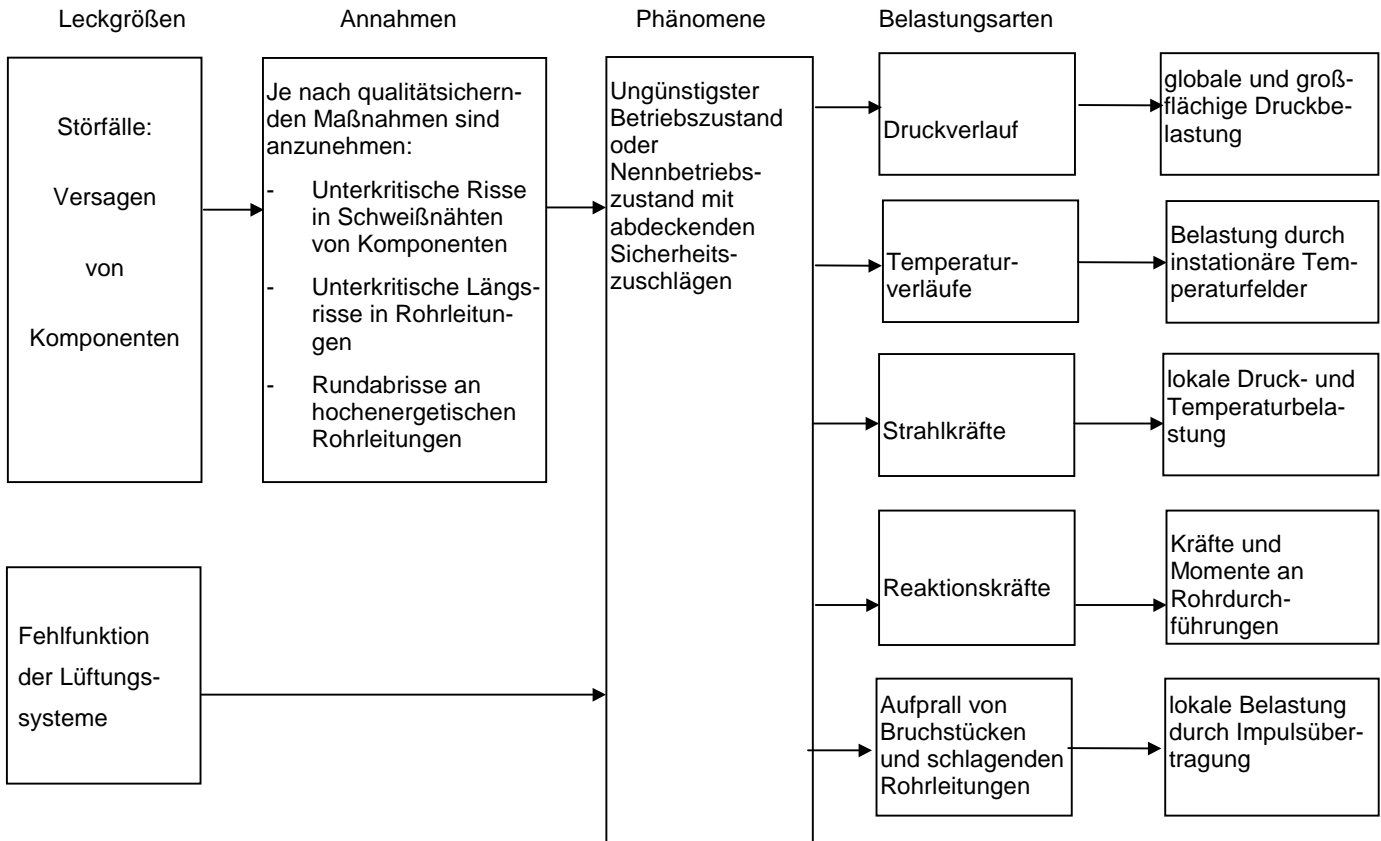


Bild G-1: Zusammenhang zwischen Störfällen und daraus folgenden Belastungen des Sicherheitsbehälters

1 Anwendungsbereich

Diese Regel ist auf die Ermittlung der Belastungen für die Auslegung eines Volldrucksicherheitsbehälters aus Stahl für wassergekühlte Reaktoren, einschließlich der mit diesem Sicherheitsbehälter fest verbundenen Stützen und Schleusen, im folgenden Sicherheitsbehälter genannt, gegen Störfälle innerhalb der Anlage durch Kühlmittelverlust anzuwenden. Sie ist ferner anzuwenden auf die Ermittlung von Belastungen, die aus einer Fehlfunktion der Lüftungsanlage resultieren können. Diesen Belastungen werden die Lastfälle nach KTA 3401.2

- a) Dimensionierungsfall mit Dimensionierungsüberdruck (DF 1),
- b) Dimensionierungsfall mit Dimensionierungsunterdruck (DF 2),
- c) Kühlmittelverluststörfall mit Freisetzung von Radioaktivität (ST 1)
- d) Rohrleitungsbruch innerhalb des Sicherheitsbehälters (ST 4)
- e) Rohrleitungsbruch außerhalb des Sicherheitsbehälters (ST 5)
- f) Vorgänge, die zum Unterdruck im Sicherheitsbehälter führen: Ausfall der Lüftung, Vorgänge am Ende von Kühlmittelverluststörfällen und kleinen Leckagen (ST 2) zugeordnet.

Die Ermittlung der Belastungen für die Auslegung der inneren baulichen Strukturen des Sicherheitsbehälters ist nicht Gegenstand dieser Regel.

2 Begriffe

(1) Komponente

Eine Komponente ist ein nach baulichen oder funktionellen Gesichtspunkten abgegrenzter Teil eines Systems.

Hinweis:

Eine Komponente kann noch Teilfunktionen ausführen.

(2) Reaktionskraft

Reaktionskraft ist eine Kraft, die durch das transiente oder stationäre Ausströmen von Fluid aus einer Öffnung einer druckführenden Komponente auf diese verursacht und von dieser weitergeleitet wird.

Hinweis:

Als Reaktionskräfte wirken auch die durch transiente Strömungsvorgänge in einem Leitungssystem erzeugten Kräfte.

(3) Strahlkraft

Strahlkraft ist eine Kraft, die von einem aus einer Öffnung austretenden Freistrahle eines Fluids (Flüssigkeit, Dampf oder Gemisch von beidem) verursacht wird und vom Fluid auf die dem Freistrahle ausgesetzten Komponenten, Systeme oder baulichen Anlagenteile übertragen wird.

(4) Volldrucksicherheitsbehälter

Ein Volldrucksicherheitsbehälter umschließt die nicht absperrbaren Teile des Primärsystems einschließlich des Sekundärsystems bis zu den ersten Absperrarmaturen und nimmt den Masse- und Energieaustrag aus diesen Systemen ohne unmittelbare Niederschlagung des austretenden Dampfes auf.

3 Belastungsarten

(1) Für jeden die Auslegung des Sicherheitsbehälters bestimmenden Störfall ist der zeitliche Verlauf von Drücken, Temperaturen und Kräften zu ermitteln.

(2) Hierbei ist zwischen

- a) globalen Belastungen, die auf alle Bereiche der Wand des Sicherheitsbehälters gleichmäßig wirken,
- b) großflächigen Belastungen, die auf unterschiedliche Bereiche der Wand des Sicherheitsbehälters ungleichmäßig wirken, und
- c) lokalen Belastungen, die nur auf örtlich eng begrenzte Bereiche der Wand des Sicherheitsbehälters wirken,

zu unterscheiden. Es ist zu beachten, daß für globale, großflächige und lokale Belastungen jeweils andere Störfälle auslegungsbestimmend sein können.

4 Zu ermittelnde Belastungen

4.1 Globale Belastungen

4.1.1 Globaler Überdruck

Für die anzunehmenden Leckgrößen an druckführenden Komponenten innerhalb oder außerhalb des Sicherheitsbehälters ist die maximal mögliche Druck- und Temperaturerhöhung der Atmosphäre aufgrund der Massen- und Energiefreisetzung zu ermitteln.

4.1.2 Unterdruck oder äußerer Überdruck

Die maximale Druckbelastung von außen auf den Sicherheitsbehälter aufgrund der Verringerung des Luftpartialdruckes innerhalb des Sicherheitsbehälters oder aufgrund von Fehlfunktion der Lüftungssysteme ist zu ermitteln.

Hinweis:

Eine Verringerung des Luftpartialdruckes kann entstehen bei Leckagen und gleichzeitigem Weiterbetrieb der Unterdruckhaltung.

4.2 Großflächige Belastungen

4.2.1 Druckbelastungen

Die bei Druckausgleichvorgängen innerhalb oder außerhalb des Sicherheitsbehälters auf unterschiedliche Bereiche der Wand des Sicherheitsbehälters ungleichmäßig wirkenden Drücke sind zu ermitteln.

4.2.2 Temperaturverteilung

Die für die Beanspruchung des Sicherheitsbehälters ungünstigste tangential Temperaturverteilung in dessen Wand durch unterschiedliche Temperatureinflüsse zwischen isolierenden und nichtisolierenden Wand erreichen (z. B. Einspannzone), Wanddickenänderungen und unterschiedliche Anströmung bei Druckausgleichsvorgängen ist zu ermitteln.

4.2.3 Druckwellen

Druckwellen in der Atmosphäre von innen oder außen auf die Wand des Sicherheitsbehälters brauchen nicht betrachtet zu werden.

4.3 Lokale Belastungen

4.3.1 Strahlkräfte

(1) Es sind diejenigen Komponenten festzulegen, deren Versagen zu Belastungen des Sicherheitsbehälters durch Strahlkräfte führen kann.

(2) Strahlkräfte mit der Druckverteilung über der Auftrefffläche und die Temperatur im Auftreffbereich sind zu ermitteln.

4.3.2 Reaktionskräfte

(1) Es sind die Auswirkungen der über einen gebrochenen Rohrleitungsstrang auf die zugehörige Rohrdurchführung durch den Sicherheitsbehälter übertragenen dynamischen Kräfte und Momente zu ermitteln.

(2) Kommen als auslegungsbestimmende Belastungen auch instationäre Strömungsvorgänge, z. B. infolge schnellen Schließens oder Öffnens von Armaturen, in Betracht, sind die daraus resultierenden Reaktionskräfte und Momente auf die zugehörige Druckführung durch den Sicherheitsbehälter in ihrem zeitlichen Verlauf zu ermitteln.

4.3.3 Bruchstücke und schlagende Rohrleitungen

Falls das Auftreffen von Bruchstücken und schlagenden Rohrleitungen auf die Wand des Sicherheitsbehälters nicht ausgeschlossen werden kann, sind deren Masse, Abmessungen, Geschwindigkeit und Auftreffwinkel zu ermitteln.

5 Berechnungsverfahren

5.1 Rechenmodelle

5.1.1 Globale Belastungen

5.1.1.1 Globaler Überdruck

(1) Zur Berechnung des Druck- und Temperaturaufbaus im Sicherheitsbehälter soll bei der Modellabbildung eine einfache Nodalisierung (Aufteilung eines Gesamtraumes in Teilräume) gewählt werden.

Hinweis:

Erfahrungsgemäß führen Berechnungen mit einfachen Nodalisierungen gegenüber solchen mit feineren Nodalisierungen zu konservativen Ergebnissen.

(2) Wärmeabgabe an die Bauteile, wie z. B. Wände, Komponenten, Gitterroste, darf nur dann berücksichtigt werden, wenn entweder die Wärmeübergangskorrelationen gemäß Anhang A oder hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit abgesicherten Werte verwendet werden. Zur Berechnung des Wärmestroms sind die Strukturen entsprechend Anhang B zu unterteilen. Hinsichtlich der wärmeisolierenden Wirkung von etwaigen Lackanstrichen ist der obere Toleranzwert für die Dicke und der untere Toleranzwert für Wärmeleitfähigkeit anzusetzen.

(3) Thermisches Nichtgleichgewicht zwischen Sumpfwasser und Luft-Dampfgemisch ist entweder bei der Modellabbildung oder entsprechend Abschnitt 6.1 zu erfassen.

5.1.1.2 Unterdruck oder äußerer Überdruck

(1) Zur Bestimmung der maximal möglichen Druckabsenkung im Sicherheitsbehälter aufgrund der Verringerung des Luftpartialdruckes innerhalb des Sicherheitsbehälters (siehe Abschnitt 4.1 Absatz 2) ist eine möglichst große Wärmeabgabe an die Bauteile anzusetzen. Hierbei sind bei den Wärmeübergangskorrelationen entweder der 4fache Wert des Anhangs A oder hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit abgesicherte Werte anzuwenden. Hinsichtlich der wärmeeinleitenden Wirkung von etwaigen Lackanstrichen ist der untere Toleranzwert für die Dicke und der obere Toleranzwert für die Wärmeleitfähigkeit anzusetzen. Für die Durchmischung zwischen dem Leckdampf und der Luft sind Modelle zugrunde zu legen, die die Durchmischung von Leckdampf und Luft so berücksichtigen, daß sich ein möglichst kleiner Wert für den Druck ergibt. Ohne weitere Nachweise darf ein Kolbenmodell, bei dem nur Luft aus dem Sicherheitsbehälter ausgeschoben wird, angesetzt werden.

(2) Bei der Berechnung des Druckaufbaus im Ringraum darf die Ringraumlüftung nur dann berücksichtigt werden, wenn diese nachweislich während des Störfalls mit der angesetzten Kapazität fördert. Die Nodalisierung ist gemäß den räumlichen Verhältnissen für den Wärmeentzug aus der Atmosphäre des Ringraumes und der Wirkung der Ringraumlüftung festzulegen.

(3) Zur Ermittlung des maximalen Differenzdrucks zwischen der Atmosphäre des Ringraums und der Atmosphäre des Sicherheitsbehälters bei Fehlfunktionen der Lüftungssysteme sind grundsätzlich die Nullförderhöhen der Lüfter anzusetzen. Hiervon darf abgewichen werden, wenn Sicherheitseinrichtungen zur Begrenzung des maximalen Differenzdrucks vorgesehen werden.

5.1.2 Großflächige Belastungen

(1) Es sind die Lecks nach Komponente und Lage festzulegen und zu untersuchen, die aufgrund der räumlichen Gegebenheiten zu einer abdeckenden unsymmetrischen Belastung des Sicherheitsbehälters führen. Zur Ermittlung dieser Belastung ist im Hinblick auf den Druckaufbau im Wandbereich des Sicherheitsbehälters eine Nodalisierung zu verwenden, die geeignet ist zur Erfassung von Überströmvorgängen zwischen den einzelnen Räumen innerhalb oder außerhalb des Sicherheitsbehälters, von Wassertransport- und Wasserabscheidevorgängen und der Wärmeabgabe an Bauteile nach Abschnitt 5.1.1.1 Absatz 2, wobei bei Anwendung von Anhang A die Werte für α_{Stag} zu verwenden sind.

(2) Für die Fälle nach Abschnitt 4.2.2 sind grundsätzlich Berechnungen des örtlichen und zeitlichen Druck- und Temperaturverlaufs in der Atmosphäre des Sicherheitsbehälters und des Ringraums und in der Wand des Sicherheitsbehälters durchzuführen. Zur Ermittlung der Wärmeübergangskoeffizienten ist wie nach Abschnitt S.1.1.2 Absatz 1 zu verfahren, wobei bei Anwendung von Anhang A die 4fachen Werte für α_{Stag} zu verwenden sind. Eine wärmeisolierende Wirkung von Lackschichten darf nur dann angesetzt werden, wenn deren Beständigkeit bei Störfallbedingungen nachgewiesen ist. Vereinfachte und hinsichtlich der großflächigen Belastungen abdeckende Berechnungen sind zulässig.

5.1.3 Lokale Belastungen

5.1.3.1 Strahlkräfte

(1) Zur Ermittlung der Strahlkräfte sind die Ausströmmodelle und Rechenprogramme mit den zugehörigen Randbedingungen und Annahmen so zu wählen, daß sich nachweisbar für die einzelnen Leckorte die höchsten Strahlkräfte ergeben.

(2) Bei der Ermittlung von Auftreffflächen und der dort herrschenden Druckverteilung dürfen nur experimentell belegte Modelle unter Beachtung der meßtechnischen Fehlergrenzen und der jeweiligen Gültigkeitsbereiche verwendet werden.

(3) Bei der Ermittlung der Temperatur des Strahls im Bereich der Auftrefffläche sind die herrschenden thermodynamischen Zustände zu berücksichtigen.

5.1.3.2 Reaktionskräfte

(1) Reaktionskräfte sind unter Anwendung der Erhaltungssätze für Masse, Energie und Impuls mit Berücksichtigung der thermodynamischen Zustandsgleichungen zu berechnen.

(2) Für die Berechnung der Reaktionskräfte mit Rückwirkung auf den Sicherheitsbehälter ist der Leckort zugrunde zu legen, der die größten Belastungen, wie z. B. Momenten-, Kraftbelastung, zur Folge hat. Folgende Fälle sind zu unterscheiden:

- a) Lecks, die aufgrund ihrer Größe zu geringen Rückwirkungen auf den Systemdruck führen sowie größere Lecks, die als langsam öffnend anzusetzen sind: Für die Ermittlung der am Leckort eingeleiteten Kraft ist die Differenz zwischen dem Ausgangsdruck des Fluids und dem Umgebungsdruck sowie als Angriffsfläche der lichte Rohrquerschnitt oder der lichte Leckquerschnitt zugrunde zu legen. Bei Rundabrissen ist zusätzlich die Beaufschlagung des Rohrwandquerschnitts mit dem in der Bruchmündung herrschenden Druck zu berücksichtigen.
- b) Lecks, die aufgrund ihrer Größe zu großen Rückwirkungen auf den Systemdruck führen: Für die Ermittlung der am Leckort eingeleiteten Kraft darf abweichend vom Fall a von der zeitlichen Änderung des Ausgangsdrucks ausgegangen werden. Zusätzlich sind dynamische Effekte in Form von Druckwellen im Medium, die durch den Lecköffnungsvorgang ausgelöst werden, zu berücksichtigen.
- (3) Kommen als Auslegungsbestimmende Belastungen auch instationäre Strömungsvorgänge, z. B. infolge schnellen Schließens oder Öffnens von Armaturen, in Betracht, sind die daraus resultierenden Reaktionskräfte und Momente in ihrem zeitlichen Verlauf zu ermitteln. Bei der Berechnung sind der Ausgangszustand bezüglich Druck, Temperatur und Durchsatz, die schnellstmöglichen Stellzeiten der Armaturen sowie die örtlichen Druckverlustbeiwerte im Hinblick auf die maximalen Belastungen anzunehmen.

5.1.3.3 Bruchstücke und schlagende Rohrleitungen

Hinweis:

Falls Belastungen des Sicherheitsbehälters infolge auftretender Bruchstücke und schlagender Rohrleitungen berücksichtigt werden müssen, wird ihre Berechnung im Einzelfall festgelegt.

5.2 Randbedingungen und Annahmen

5.2.1 Allgemeines

(1) Die Randbedingungen, Annahmen und Eingabedaten zur Ermittlung der Belastungen sind zu begründen und zu dokumentieren.

(2) Betriebliche Systeme oder Einrichtungen dürfen bei der Ermittlung der Belastungen dann berücksichtigt werden, wenn deren Funktionsfähigkeit und Wirksamkeit für den betreffenden Anforderungsfall in dem angenommenen Umfang sichergestellt sind.

Hinweis:

Ein Beispiel ist im Abschnitt 5.1.1.2 Absatz 2 angegeben.

(3) Wird bei der Festlegung der zu betrachtenden Lastfälle oder bei der Ermittlung der globalen Belastungen die Funktion von Systemen oder Einrichtungen berücksichtigt, sind grundsätzlich auch Annahmen für deren Ausfall zu treffen, die nach Art und Umfang dem Einzelfehlerkonzept entsprechen. Damit soll sicher erstellt werden, daß die sicherheitstechnisch erforderliche Funktionsfähigkeit des Sicherheitseinschlusses nicht vom Ausfall eines einzelnen Systemteils abhängt.

Hinweis:

Eine Konkretisierung des Einzelfehlerkonzepts im Hinblick auf NWA-Systeme enthält Abschnitt 5.2 KTA 3301.

(4) Gemäß der Zielsetzung nach Absatz 3 sind daher solche Ausfälle immer dann zusätzlich zum betreffenden Störfall oder Lastfall anzunehmen, wenn deren Auswirkungen von wesentlichem Einfluß auf die Höhe der Belastungen sind. Als Orientierungsmaßstab sind dabei die sicherheitstechnische Relevanz und der für den betreffenden Lastfall vorgesehene Zuschlag gemäß Abschnitt 6 heranzuziehen.

5.2.2 Leckgrößen und Öffnungscharakteristiken

(1) Für die Auslegung des Sicherheitsbehälters sind folgende Leckgrößen anzusetzen:

- a) bis zum doppelten des Rohrrinnenquerschnittes (2A) bei einer Hauptkühlmitteleitung.
- b) Rundabrisse bei hochenergetischen Rohrleitungen mit Durchmessern kleiner als oder gleich DN 50.
- c) Für die Rohrleitungen mit Durchmessern größer als DN 50, die die Anforderungen der Rahmenspezifikation Basissicherheit erfüllen, gelten folgende Leckannahmen:
- ca) Langsam öffnende, unterkritische Risse in Frischdampf- und Hauptspeisewasserleitungen jeweils zwischen Dampferzeuger und erster äußerer Absperung, deren Größe auf der Basis der Bruchmechanik zu ermitteln ist. Ersatzweise darf das 0,1fache des inneren Rohrquerschnitts (0,1A) angenommen werden (quasistationär).
- cb) Rundabriss an hochbelasteten Rundnähten bei hochenergetischen Rohrleitungen, wenn die hochenergetischen Bedingungen länger als 2 % der Betriebszeit anstehen und die Betriebsnennspannung größer als 50 N/mm² ist. Abweichungen hiervon, z. B. aufgrund verfahrenstechnischer Maßnahmen, sekundärer Schutzmaßnahmen oder weitergehender Qualitätssichernder Maßnahmen, müssen begründet werden.
- cc) Langsam öffnende, unterkritische Risse für Leitungen mit einer Betriebsnennspannung kleiner als 50 N/mm² oder wenn hochenergetische Bedingungen weniger als 2 % der Betriebszeit anstehen. Die Leckgröße ist auf der Basis der Bruchmechanik zu ermitteln. Ersatzweise darf das 0,1fache des inneren Rohrquerschnitts (0,1 A) angenommen werden (quasistationär). Für hochenergetische Leitungen, in denen aufgrund der niedrigen Betriebsspannung (kleiner als 50 N/mm²) kein überkritischer Rundabrisß unterstellt wird, ist zusätzlich sicherzustellen, daß das gesamte betriebliche Spannungsniveau (Eigengewicht, Innendruck und behinderte Wärmedehnung) ausreichend niedrig ist (kleiner als $3 \times S_m$ gemäß Abschnitt 7.7 KTA 3201.2, ermittelt über eine linear elastische Berechnung).
- cd) Langsam öffnende, unterkritische Risse für alle hochenergetischen Rohrleitungen, deren Größen unabhängig von der bruchmechanischen Begründung das 0,1fache des inneren Rohrquerschnitts beträgt (quasistationär).
- d) Für alle Komponenten, die nicht die Anforderungen der Rahmenspezifikation Basissicherheit erfüllen (oder nicht durch diese erfaßt werden), sind die Leckannahmen nach den jeweiligen Qualitäts- und Auslegungsmerkmalen im Einzelfall festzulegen.

Hinweise:

1. Die Bedingung "hochenergetisch" gilt als erfüllt, wenn ein Betriebsdruck größer als oder gleich 20 bar oder eine Betriebstemperatur größer als oder gleich 100° C vorliegt.

2. Die Festlegung einer Leckgröße auf das 0,1fache des inneren Rohrquerschnittes entspricht der derzeitigen Praxis auf der Grundlage der Leitlinie 21.1 (6/84) und der Leitlinie 21.2 (6/83) und der Rahmenspezifikation-Basissicherheit.

(2) Bei Rohrleitungen größer als DN 250 ist bei schnellöffnenden Rundabrissen eine lineare Lecköffnungscharakteristik mit einer Lecköffnungszeit von 15 ms anzusetzen. Abweichungen hiervon sind zu begründen. Für alle kleineren Rohrleitungen sind Öffnungszeit und Öffnungscharakteristik im Einzelfall festzulegen.

Hinweis:

Die Öffnungscharakteristik ist für die Ermittlung der Belastungen

des Sicherheitsbehälters nur im Hinblick auf die lokalen Belastungen von Bedeutung.

(3) Die Leckgrößen, die zur Ermittlung der globalen, großflächigen und lokalen Belastungen jeweils zu untersuchen sind, sind aus **Tabelle 5-1** zu entnehmen; gemäß Abschnitt 5.2.2.1 Punkt d im Einzelfall festzulegende Leckgrößen sind in der Tabelle nicht enthalten.

Hinweis:

In Tabelle 5-1 werden die zu berücksichtigenden Belastungen und Belastungsarten, die aus den nach Abschnitt 5.2.2 Absatz 1 anzunehmenden Leckgrößen resultieren, dargestellt. Die Ermittlung kann auf die jeweils auslegungsbestimmenden Leckgrößen beschränkt werden. So ist zu erwarten, daß aus den Fällen nach Absatz 1 Punkte ca und cc keine relevanten Belastungen resultieren.

5.2.3 Anlagenzustände

(1) Für die Ermittlung der Belastungen ist grundsätzlich vom jeweils ungünstigsten Betriebszustand auszugehen. Beim Druckwasserreaktor darf jedoch bei Lecks in der Hauptkühlmitteleitung vom Nennbetriebszustand ausgegangen werden.

(2) Zur Abdeckung von Bautoleranzen sind

- a) das berechnete Volumen der druckführenden Umschließung des Reaktorkühlmittels und des Sekundärkreises gemäß Abschnitt 5.2.4 Absatz 1 um 2 % erhöht
- b) das berechnete freie Volumen im Sicherheitsbehälter um 2 % verringert und
- c) sowohl die innere als auch äußere Oberfläche des Sicherheitsbehälters um 2 % und die berechnete Oberfläche der als Wärmesenke wirkenden Einbauten innerhalb und außerhalb des Sicherheitsbehälters um 10 % verringert

anzusetzen.

(3) Als Zustand der Atmosphäre im Reaktorgebäude vor Störfalleintritt sind die unteren Betriebsgrenzwerte für Temperatur und Feuchte anzunehmen. Für die Temperatur der Metall- und Betoneinbauten sind die oberen Betriebsgrenzwerte anzunehmen.

(4) Zur Ermittlung des maximalen Druck- und Temperaturaufbaus im Sicherheitsbehälter ist anzunehmen, daß keine Luft aus dem Sicherheitsbehälter entweicht.

5.2.4 Energiefreisetzung

(1) Zur Ermittlung des maximalen Drucks und der maximalen Temperatur im Sicherheitsbehälter ist bei Kühlmittelverlust im Primärsystem zu unterstellen, daß während der Ausströmzeit des Reaktorkühlmittels auch die gesamte Masse und Energie des Kühlmittels auf der Sekundärseite eines Dampferzeugers - soweit Dampferzeuger vorhanden sind - einschließlich der Systembereiche, die nicht abgesperrt werden, freigesetzt werden.

(2) Zusätzlich ist die Wärmeabgabe der Dampferzeuger an das ausströmende Primärkühlmittel zu berücksichtigen, soweit sie nicht durch die Ermittlung nach Absatz 1 bereits erfaßt worden ist.

(3) Zusätzlich ist der Energie des in den Sicherheitsbehälter eingetragenen Kühlmittels die während der Ausströmzeit erzeugte Nachzerfallswärme zuzuschlagen. Dabei ist die Nachzerfallsleistung nach 2,5jähriger Einsatzzeit bei Nennbetriebszustand nach DIN 25 463 mit einem Fehlerzuschlag in Höhe der doppelten Standardabweichung ($2 \times \sigma$) zu ermitteln. Es darf angenommen werden, daß nach Beendigung des Wiederauffüllvorganges Dampfabgabe aus der druckführenden Umschließung langfristig vermieden wird.

		Belastungsarten				
		innerhalb Sicherheitsbehälter			außerhalb Sicherheitsbehälter	
		global	großflächig	lokal	global	großflächig
Leckgrößen nach Abschnitt 5.2.2 Absatz 1 Aufzählung	a)	×	×	-	-	-
	b)	×	×	×	×	×
	ca)	×	×	-	- 1)	- 1)
	cb)	×	×	×	×	×
	cc)	×	×	-	×	×
	cd)	-	-	×	-	-

¹⁾ Hinweis: Belastungen des Sicherheitsbehälters werden durch konstruktive Maßnahmen verhindert.

Tabelle 5-1: Zuordnung der Belastungsarten zu den Leckgrößen

(4) Die von Reaktorkern, Reaktordruckbehälter, dessen Einbauten und von übrigen Teilen der druckführenden Umschließung des Reaktorkühlmittels abgegebene Speicherwärme ist der Energie des in den Sicherheitsbehälter eingebrachten Kühlmittels zuzuschlagen.

(5) Im Rahmen der Leckannahmen nach Abschnitt 5.2.2 sind die verfahrenstechnischen und systemtechnischen Annahmen zum Störfallablauf anzusetzen, die

- a) bei einem Leck im Primärkreis zu der kürzestmöglichen Ausströmzeit bei höchstmöglichem Energieeintrag in den Sicherheitsbehälter führen,
- b) bei einem Leck im Sekundärkreis zum maximalen Energieeintrag in den Sicherheitsbehälter führen und
- c) bei Lecks in Systemen außerhalb des Sicherheitsbehälters zum maximalen Energieeintrag in den Ringraum unter Berücksichtigung der Energieabfuhr führen.

Hinweis:

Bei einem Leck im Sekundärkreis wird abhängig vom Anlagenausgangszustand sowie von Größe und Lage des Lecks der maximale Energieeintrag in den Sicherheitsbehälter wesentlich von dem jeweiligen verfahrenstechnischen und leittechnischen Konzept der Anlage zur Leckageerkennung, Leckabspernung und Dampferzeugerbespeisung bestimmt.

5.3 Verifikation und Nachweise

(1) Es ist grundsätzlich durch Voraus- und Nachrechnungen von Experimenten nachzuweisen, daß die verwendeten Modelle und zugehörigen Rechenprogramme in der Lage sind, physikalische Vorgänge im Hinblick auf die zu ermittelnden Belastungen in Größe und funktionalem Verlauf zu beschreiben.

(2) Falls in Einzelfällen eine solche Verifikation nicht gegeben ist, sind die Annahmen für die Einflußgrößen und Modelle so zu treffen daß deren möglicher Beitrag zu den zu ermittelnden Belastungen insgesamt abgedeckt wird.

(3) Für folgende Größen ist der Ist-Wert nach Bauausführung nachzuweisen:

- a) Freies Volumen des Sicherheitsbehälters,
- b) Freies Volumen der druckführenden Umschließung des Reaktorkühlmittels,
- c) Freies Volumen der Sekundärseite der Dampferzeuger bis zur ersten Absperrung.

(4) Darüber hinaus ist die Oberfläche und Dicke der wärmeaufnehmenden Strukturen und die Dicke der Anstriche auf

Übereinstimmung mit den den sicherheitstechnischen Nachweisen zugrundegelegten Werten dieser Größen zu überprüfen.

(5) Die Ergebnisse der Prüfungen sind zu dokumentieren und mit den den sicherheitstechnischen Nachweisen zugrundegelegten Werten zu vergleichen.

(6) Bei Abweichungen der Bauausführung von den der Berechnung zugrundegelegten Werten, die zu größeren als den berechneten Belastungen führen würden, ist die Zulässigkeit der Abweichung zu überprüfen.

6 Lastangaben

6.1 Globale Belastungen

(1) Dem nach Abschnitt 5.1.1.1 berechneten Druck- und Temperaturverlauf im Sicherheitsbehälter ist der jeweilige Maximalwert zu entnehmen. Falls das thermische Nichtgleichgewicht bei der Modellabbildung nicht erfaßt wird, ist dieser Druck um 0,3 bar zu erhöhen. Der so ermittelte Überdruck ist zur Abdeckung von Rechenunsicherheiten und ungünstigen Betriebszuständen um 15 % zu erhöhen. Druckabweichungen infolge von Bautoleranzen gemäß Abschnitt 5.2.3 Absatz 2 und gegebenenfalls Abweichungen davon dürfen durch diesen Zuschlag nicht ausgeglichen werden.

(2) Übersteigt der so erhaltene Wert des Druckes 7 bar, so ist statt der Erhöhung um 0,3 bar für nicht erfaßtes thermisches Nichtgleichgewicht die Erhöhung neu zu ermitteln.

(3) Das Ergebnis dieser Ermittlungen ist als Auslegungsdruck zusammen mit dem Maximalwert des Temperaturverlaufs in der Atmosphäre des Sicherheitsbehälters als Auslegungstemperatur für den Lastfall DF 1 nach Tabelle 3.5-1 KTA 3401.2 einzusetzen.

(4) Zur Berechnung des Drucks für den Lastfall ST 1 nach Tabelle 3.5-1 KTA 3401.2 ist dieser Ermittlungsvorgang zu wiederholen. Hierbei darf jedoch von der Erhöhung um 15 % abgesehen werden.

Hinweis:

Da der Lastfall ST1 wie ein Betriebsfall in die Beanspruchungsstufe 1 eingeordnet ist und damit einer gleich hohen Spannungsabsicherung unterliegt, braucht ein Zuschlag zur Abdeckung von Rechenunsicherheiten und ungünstigen Betriebszuständen nicht gesondert angesetzt werden. Im übrigen wird eine ausreichende Funktionserhaltung des Sicherheitsbehälters auch bei Annahme des Auslegungsdrucks gemäß der Absicherung nach dem Lastfall ST4 nachgewiesen.

(5) Dieser Ermittlungsvorgang, wie in Abschnitt 6.1 Absätze 1 und 2 angegeben, ist für den Bruch einer nichtaktivitätsführenden Leitung, ausgehend vom ungünstigsten Betriebszustand, aber zur Abdeckung von Rechenunsicherheiten grundsätzlich mit einem Zuschlag von 10 % zu wiederholen. Dieser Zuschlag darf entfallen, wenn die Einflußgrößen bei der Ermittlung der Belastungen im einzelnen so festgelegt worden sind, daß bereits die Rechenunsicherheiten abgedeckt sind. Der sich ergebende Druck ist mit dem Maximalwert des Temperaturverlaufs in der Atmosphäre des Sicherheitsbehälters für den Lastfall ST4 nach Tabelle 3.1 KTA 3401.2 einzusetzen.

(6) Für die Festlegung der maximalen Belastung infolge von Druckunterschieden zwischen der Atmosphäre des Ringraums und der Atmosphäre des Sicherheitsbehälters sind folgende Werte anzugeben:

- Maximalwert des Drucks im Ringraum gemäß Abschnitt 5.1.1.2 unter Berücksichtigung des thermischen Nichtgleichgewichts und unter gleichzeitiger Angabe des zeitlichen Temperaturverlaufs in der Atmosphäre des Ringraums für den Lastfall ST5 nach Tabelle 3.5-1 KTA 3401.2. Für die Temperatur ist die Atmosphärentemperatur der vorwiegend beaufschlagten Bereiche des Sicherheitsbehälters anzusetzen.
- Die Druckabsenkung im Sicherheitsbehälter gemäß Abschnitt 5.1.1.2 für den Lastfall DF2 nach Tabelle 3.5-1 KTA 3401.2.
- Der maximal mögliche Druck durch Fehlfunktion der Lüftungssysteme gemäß Abschnitt 5.1.1.2 für den Lastfall ST2 nach Tabelle 3.5-1 KTA 3401.2.

Diese Werte sind zur Abdeckung von Rechenunsicherheiten grundsätzlich mit einem Zuschlag von 10 % zu versehen. Dieser Zuschlag darf entfallen, wenn die Einflußgrößen bei der Ermittlung der Belastungen im einzelnen so festgelegt worden sind, daß die Rechenunsicherheiten abgedeckt sind.

(7) Die Festlegung der Lastangaben für den Belastungsfall DF2 nach Tabelle 3.5-1 KTA 3401.2 muß auf der Grundlage der unter Abschnitt 6.1 Absatz 6 Punkte a, b oder c ermittelten Drücke erfolgen.

6.2 Großflächige Belastungen

(1) Falls Wärmespannungen für Lastfall ST1 nach Tabelle 3.5-1 KTA 3401.2 zu erfassen sind, ist der nach Abschnitt 5.1.2 Absatz 2 ermittelte örtliche und zeitliche Temperaturverlauf in der Wand des Sicherheitsbehälters anzusetzen.

(2) Für die Lastfälle ST1, ST4 und ST5 nach Tabelle 3.5-1 KTA 3401.2 sind die folgenden, gemäß Abschnitt 5.1.2 ermittelten Werte anzugeben:

- Druckunterschiede, um 15 % erhöht, und
- Temperaturverteilung in der Wand des Sicherheitsbehälters.

6.3 Lokale Belastungen

Für die Lastfälle ST1, ST4 und ST5 nach Tabelle 3.5-1 KTA 3401.2 sind die gemäß Abschnitt 5.1.3.1 und 5.1.3.2 ermittelten Strahl- und Reaktionskräfte anzugeben.

6.4 Überlagerungen

Für die Berücksichtigung der Spannungsüberlagerung nach KTA 3401.2 sind die Belastungen in ihrem zeitlichen Verlauf oder als Kombination ihrer Maximalwerte anzusetzen. Für den Fall eines Folgeversagens von Komponenten oder Systemen sind deren gleichzeitig wirkende Auswirkungen zu überlagern.

Anhang A Wärmeübergang

Für den Wärmeübergang von der Atmosphäre im Sicherheitsbehälter an die Einbauten (Strukturen) im Sicherheitsbehälter sind folgende Beziehungen anzusetzen:

a) Wärmeübergang an Stahloberflächen

aa) für Zeiten: $0 \leq t \leq t_p$

$$\alpha_s = \alpha_{\max} \cdot \left(\frac{t}{t_p} \right)^{0,5} \quad (\text{A-1})$$

wobei

α_s = Wärmeübergangskoeffizient zwischen Stahl und Luft/Dampfgemisch in $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$

t = Zeit in s vom Beginn des Störfalls

t_p = Zeit in s vom Beginn des Störfalls bis zum Erreichen des Druckmaximums im Sicherheitsbehälter

$$\alpha_{\max} = 48,63 \left(\frac{E}{t \cdot V} \right)^{0,6} \quad \text{in} \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

E = Energieinhalt des Primärkühlmittels (ohne Speicherwärme, Sekundärenergie usw.) in kJ

V = Freies Sicherheitsbehälter-Volumen in m^3

ab) für Zeiten $t > t_p$

$$\alpha_s = \alpha_{\text{stag}} + \left(\alpha_{\max} - \alpha_{\text{stag}} \right) \cdot \exp\left(-0,05(t - t_p)\right) \quad (\text{A-2})$$

wobei

$$\alpha_{\text{stag}} = 11,365 + 284,12 \cdot x$$

x = Verhältnis der Dampfmasse zur Luftmasse im Sicherheitsbehälter

α_{stag} = Wärmeübergangskoeffizient zwischen Beton und Luft/Dampfgemisch in $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$

b) Wärmeübergang an Betonoberflächen

ba) für Zeiten: $0 \leq t \leq t_p$

$$\alpha_B = 0,4 \cdot \alpha_s \quad (\text{A-3})$$

wobei

α_B = Wärmeübergangskoeffizient zwischen Beton und Luft/Dampfgemisch in $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$

bb) für Zeiten: $t > t_p$

$$\alpha_B = \alpha_{\text{stag}} + \left(0,4\alpha_{\max} - \alpha_{\text{stag}} \right) \cdot \exp\left(-0,05(t - t_p)\right) \quad (\text{A-4})$$

Hinweis:

Nähere Angaben zu den Beziehungen nach den Absätzen 1 und 2 finden sich in /1/, /2/, /3/ (Anhang D).

Anhang B Strukturunterteilung

Zur Ermittlung des transienten Wärmestromes in Strukturen des Sicherheitsbehälters sind die Strukturen nach folgendem Verfahren zu unterteilen:

- a) Die Dicke der Schicht unmittelbar an der Oberfläche einer Struktur berechnet sich wie folgt:

$$l \leq \text{Bi} \cdot \frac{\lambda}{\alpha_{\max}} \quad (\text{B-1})$$

l = Dicke der Oberflächenschicht in m

λ = Wärmeleitfähigkeit in W/mK

α_{\max} = maximaler Wärmeübergangskoeffizient nach Anhang A Punkt a

Bi = 0,2 = Biot-Zahl

- b) Die weiter innerhalb der Struktur gelegenen Schichten können nach folgendem Quotienten schrittweise vergrößert werden:

$$0,5 \leq r = \frac{l_{i+1}}{l_i} \leq 2 \quad (\text{B-2})$$

- c) Bei Strukturen, die von beiden Seiten unterschiedlich Wärme aufnehmen oder abgeben, ist das Einteilungsverfahren von beiden Seiten durchgehend bis zur hinteren Grenze anzuwenden und die jeweils kleinere Schichtdicke

zu wählen. Restschichten sind so mit benachbarten Schichten zu verbinden, daß der Quotient r eingehalten wird.

- d) Ist eine Struktur aus mehreren Lagen unterschiedlicher Materialien zusammengesetzt, so sind an der Grenze zwischen zwei Materialien die Grenzschichten so zu wählen, daß ihre Wärmeleitwiderstände gleich groß sind. Jede Lage ist in mindestens zwei Schichten zu unterteilen.

- e) Der Zeitschritt t sollte bei dieser Schichteinteilung folgendermaßen gewählt werden:

$$t = A \cdot \frac{\lambda \cdot \rho \cdot c_p}{\alpha_{\max}^2} \quad \text{in s} \quad (\text{B-3})$$

wobei

$$0,01 \leq A \leq 0,2$$

ρ = Dichte des Strukturmaterials in Kg/m^3

c_p = Spez. Wärmekapazität in J/kg K

Hinweis:

Nähere Angaben zu den Beziehungen nach den Absätzen 1.2 und 5 finden sich in /4/, /5/ (Anhang D).

Anhang C
Bestimmungen, auf die in dieser Regel verwiesen wird
(Verwiesene Bestimmungen gelten nur in der in diesem Anhang angegebenen Fassung)

KTA 3201.2	(3/84)	Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren; Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung
KTA 3401.2	(6/85)	Reaktorsicherheitsbehälter aus Stahl; Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung
DIN 25 463	(7/82)	Berechnung der Nachzerfallsleistung der Kernbrennstoffe von Leichtwasserreaktoren
Rahmenspezifikation Basissicherheit	(1/79)	RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren, 2. Ausgabe, 24. Januar 1979, Anhänge zu Kapitel 4.2 1. Auflistung der Systeme und Komponenten 2. Rahmenspezifikation Basissicherheit (BAnz. Nr. 167a vom 6.9.1979)
Einzelfehlerkonzept	(3/84)	Interpretation zu den Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke; Einzelfehlerkonzept - Grundsätze für die Anwendung des Einzelfehlerkriteriums (Stand 2. März 1984) (GMBI, 1984 S. 208)

Anhang D
Literaturangaben

- /1/ D.C. Slaughterbeck
Review of Heat Transfer Coefficients for Condensing Steam in a Containment Building Following a Loss-of-Coolant Accident
IN-1388, September 1970
- /2/ T. Tagami:
Interim Report 1) Safety Assessment and Facilities Establishment Project in Japan for Period Ending June 1965 (No. 1),
Unpublished work, referiert in /1/
- /3/ H. Uchida, A. Oyama and Y. Togo:
Evaluation of Post Incident Cooling Systems of Light-Water Power Reactors in: Proceedings of the Third International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy,
Geneva, 31. August - 9 September 1964, Vol. 13,
New York: United Nations, 1965 (A/CONF.28/P/436), May 1964, S. 93/104
- /4/ I.F. Stelzer:
Die Lösung der stationären und instationären Temperaturfeldgleichung für ebene und räumliche Körper mittels der Finite-Elemente-Methode,
Veranstaltungsunterlagen zum Seminar Nr. S-1-513-101-2,
Haus der Technik, Essen, 26.5.1982
- /5/ Z. Pammer:
Mesh Refinement Method for Transient Heat Conduction Problems solved by Finite Elements,
Int. Journal for Numerical Methods in Engng. ,
Vol. 15, 495-505 (1980)

Stichwortverzeichnis

Anlagenzustände 5.2.3	Öffnungscharakteristik 5.2.2
Annahmen 5.2; 5.2.2(1)d); 5.2.4(5)	
	Randbedingungen 5.2
Bauausführung 5.3(3), (6)	Reaktionskraft 2(2); 4.3.2; 5.1.3.2
Bautoleranzen 5.2.3(2)	Rechenmodelle 5.1
Belastungen	Risse, langsam öffnende unterkritische 5.2.2(1) ca), cc), cd)
- , globale 3(2)a); 4.1; 5.1.1; 5.2.2(3); 6.1; Tab. 5-1	Rundabrisse 5.2.2(1)b), cb); 5.2.2(2)
- , großflächige 3(2)b); 4.2; 5.1.2; 5.2.2(3); 6.2; Tab. 5-1	
Belastungsarten 3; Tab. 5-1	schlagende Rohrleitungen 4.3.3; 5.1.3.3
- , lokale 3 (2) c); 4.3; 5.1.3; 5.2.2 (3); 6.3; Tab. 5-1	Strahlkraft 2(3); 4.3.1; 5.1.3.1
Bruchstücke 4.3.3; 5.1.3.3	Strukturunterteilung 5.1.1.1(2); Anhang B
Druckbelastungen 4.2.1	Temperaturverteilung 4.2.2
Druckwellen 4.2.3; 5.1.3.2(2)b)	
	Unterdruck oder äußerer Überdruck 4.1.2; 5.1.1.2
Energiefreisetzung 5.2.4	Überdruck, globaler 4.1.1; 5.1.1.1
	Überlagerungen 6.4
Lastangaben 6	
Leckgröße 5.1.3.2(2)a), b); 5.2.2; Tab. 5-1	Verifikation 5.3
Modellabbildung 5.1.1.1(1); 6.1(1)	Wärmeabgabe an die Bauteile 5.1.1.1(2); S.1.1.2(1)
	Wärmeübergangskorrelation 5.1.1.1(2); 5.1.1.2(1); Anhang A
Nachweise 5.3	
Nodalisierung 5.1.1.1(1); 5.1.1.2(2); 5.1.2(1)	Zuschlag 6.1(1), (5), (6)