

KTA 3413

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

Fassung 2016-11

Frühere Fassung der Regel: 1989-06 (BAnz. Nr. 229 vom 7. Dezember 1989)

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 Validierung und Nachweise	6
6 Lastangaben	6
6.1 Globale Belastungen	6
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	10
Anhang D: Literaturangaben	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 (§ 7 Absatz 2 Nr. 3 Atomgesetz - AtG) getroffen ist, um die im AtG und in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) festgelegten sowie in den „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ (SiAnf) und den „Interpretationen zu den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ weiter konkretisierten Schutzziele zu erreichen.

(2) In den „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ sind folgende Anforderungen festgelegt, die als Auslegungsgrundlage für den Sicherheitsbehälter dienen:

- Gemäß SiAnf 2.2 (1) und (4) ist der Einschluss der im Kernkraftwerk befindlichen radioaktiven Stoffe durch gestaffelte Barrieren sicherzustellen. Zur Erfüllung der radiologischen Sicherheitsziele auf der Sicherheitsebene 3 ist die durch den Sicherheitsbehälter gegebene Barriere wirksam zu halten.
- Gemäß SiAnf 3.6 (1) muss das Kernkraftwerk einen Sicherheitseinschluss besitzen, bestehend aus dem Sicherheitsbehälter sowie weiteren zugehörigen Systemen. Der Sicherheitsbehälter muss seine sicherheitstechnischen Aufgaben in den Betriebszuständen, in denen dieser plangemäß geschlossen ist, auf den Sicherheitsebenen 1 bis 3 erfüllen.

Die dementsprechende Auslegung des Sicherheitsbehälters selbst wird in KTA 3401.2 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 Annahmen 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 2F 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 ebenfalls in dieser Regel 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.

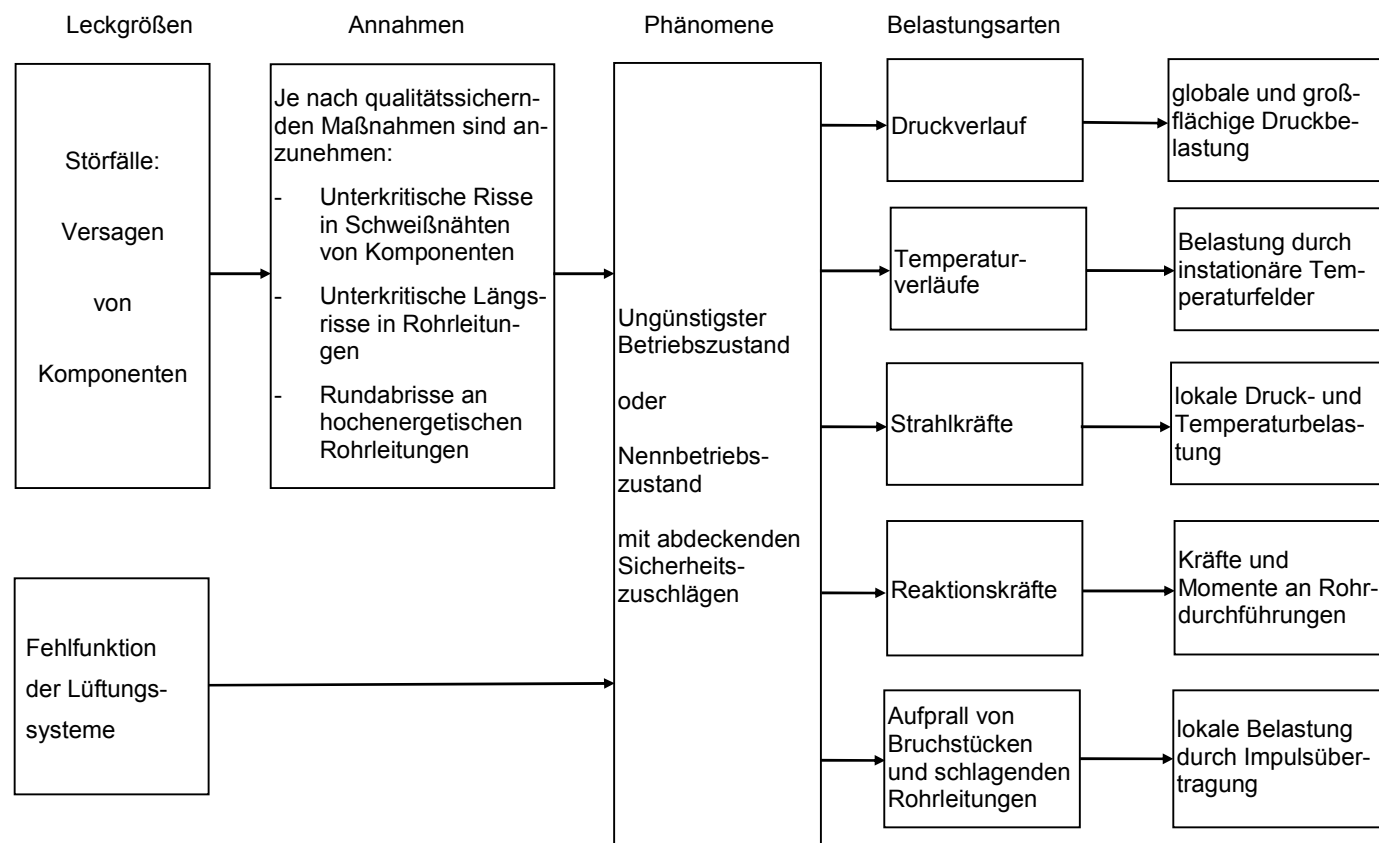


Bild G-1: Zusammenhang zwischen Störfällen und daraus folgenden Belastungen des Sicherheitsbehälters

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 Stutzen 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 folgende Lastfälle nach KTA 3401.2 zugeordnet:

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

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 Energieaustausch 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 tangentielle Temperaturverteilung in dessen Wand - durch unterschiedliche Temperatureinflüsse zwischen isolierenden und nichtisolierenden Wandbereichen (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 Nodalisation (Aufteilung eines Gesamtraumes in Teilräume) gewählt werden.

Hinweis:

Erfahrungsgemäß führen Berechnungen mit einfachen Nodalisationen gegenüber solchen mit feineren Nodalisationen 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 sind der obere Toleranzwert für die Dicke und der untere Toleranzwert für die 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 4-fache Wert des **Anhangs A** oder hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit abgesicherte Werte anzuwenden. Hinsichtlich der wärmeeinleitenden Wirkung von etwaigen Lackanstrichen sind 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 Nodalisation 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 Nodalisation 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 5.1.1.2 Absatz (1) zu verfahren, wobei bei Anwendung von **Anhang A** die 4-fachen Werte für α_{Stag} zu verwenden sind. Eine wärmeisolierende Wirkung von Lack-schichten 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:

- 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

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

5.2.2 Leckgrößen und Öffnungscharakteristiken

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

- a) bis zum doppelten des Rohrinnenquerschnittes (2F) bei einer Hauptkühlmittelleitung.
b) Rundabriss 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 Absperrung, deren Größe auf der Basis der Bruchmechanik zu ermitteln ist. Ersatzweise darf das 0,1-fache des inneren Rohrquerschnitts (0,1F) 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 0,1-fache des inneren Rohrquerschnitts

(0,1 F) angenommen werden (quasistationär). Für hochenergetische Leitungen, in denen aufgrund der niedrigen Betriebsspannung (kleiner als 50 N/mm²) kein überkritischer Rundabriss 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 0,1-fache 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 0,1-fache des inneren Rohrquerschnittes entspricht der 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.

		Belastungsarten				
		innerhalb Sicherheitsbehälter			außerhalb Sicherheitsbehälter	
		global	großflächig	lokal	global	großflächig
Leckgrößen nach 5.2.2 (1)	a)	x	x	-	-	-
	b)	x	x	x	x	x
	ca)	x	x	-	- 1)	- 1)
	cb)	x	x	x	x	x
	cc)	x	x	-	x	x
	cd)	-	-	x	-	-
1) Hinweis:		Belastungen des Sicherheitsbehälters werden durch konstruktive Maßnahmen verhindert.				

Tabelle 5-1: Zuordnung der Belastungsarten zu den Leckgrößen

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 Bauleranzen sind anzusetzen:
 - 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
- (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 2,5-jähriger Einsatzzeit bei Nennbetriebszustand nach DIN 25463-1 oder DIN 25463-2 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.
- (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 eingetragenen 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 Validierung 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 Validierung 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 in den sicherheitstechnischen Nachweisen zugrunde gelegten Werten dieser Größen zu überprüfen.
- (5) Die Ergebnisse der Prüfungen sind zu dokumentieren und mit den in den sicherheitstechnischen Nachweisen zugrunde gelegten Werten zu vergleichen.
- (6) Bei Abweichungen der Bauausführung von den der Berechnung zugrunde gelegten 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 Bauleranzen 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 4-1 KTA 3401.2 einzusetzen.
- (4) Zur Berechnung des Drucks für den Lastfall ST 1 nach Tabelle 4-1 KTA 3401.2 ist dieser Ermittlungsvorgang zu wiederholen. Hierbei darf jedoch von der Erhöhung um 15 % abgesehen werden.

Hinweis:

Da der Lastfall ST 1 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 ST 4 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 ST 4 nach Tabelle 4-1 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:

- a) 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 ST 5 nach Tabelle 4-1 KTA 3401.2. Für die Temperatur ist die Atmosphärentemperatur der vorwiegend beaufschlagten Bereiche des Sicherheitsbehälters anzusetzen.
- b) Die Druckabsenkung im Sicherheitsbehälter gemäß Abschnitt 5.1.1.2 für den Lastfall DF 2 nach Tabelle 4-1 KTA 3401.2.
- c) Der maximal mögliche Druck durch Fehlfunktion der Lüftungssysteme gemäß Abschnitt 5.1.1.2 für den Lastfall ST 2 nach Tabelle 4-1 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 DF 2 nach Tabelle 4-1 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 ST 1 nach Tabelle 4-1 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 ST 1, ST 4 und ST 5 nach Tabelle 4-1 KTA 3401.2 sind die folgenden, gemäß Abschnitt 5.1.2 ermittelten Werte anzugeben:

- a) Druckunterschiede, um 15 % erhöht, mindestens 10 000 Pa, entsprechend SiAnf, Anhang 5, Anlage 2, und
- b) Temperaturverteilung in der Wand des Sicherheitsbehälters.

6.3 Lokale Belastungen

Für die Lastfälle ST 1, ST 4 und ST 5 nach Tabelle 4-1 KTA 3401.2 sind die gemäß Abschnitt 5.1.3.1 und 5.1.3.2 ermittelten Strahl- und Reaktionskräfte um 15% erhöht, entsprechend SiAnf, Anhang 5, Anlage 3 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 $\text{W/m}^2\text{K}$

t : Zeit in s vom Beginn des Störfalls

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

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

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

V : Freies Sicherheitsbehälter-Volumen in m^3

ab) für Zeiten $t > t_p$

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

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 $\text{W/m}^2\text{K}$

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 $\text{W/m}^2\text{K}$

bb) für Zeiten: $t > t_p$

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

Hinweis:

Nähere Angaben zu den Beziehungen nach den Buchstaben a) und b) 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:

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

l : Dicke der Oberflächenschicht in m

λ : Wärmeleitfähigkeit in W/mK

$\alpha_{\max}$: 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:

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

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 Buchstaben a), b) und e) finden sich in /4/, /5/ (**Anhang D**).

Anhang C

Bestimmungen, auf die in dieser Regel verwiesen wird

(Die Verweise beziehen sich nur auf die in diesem Anhang angegebene Fassung. Darin enthaltene Zitate von Bestimmungen beziehen sich jeweils auf die Fassung, die vorlag, als die verweisende Bestimmung aufgestellt oder ausgegeben wurde.)

AtG		Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz – AtG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 26. Juli 2016 (BGBl. I S. 1843) geändert worden ist
StrlSchV		Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714; 2002 I S. 1459), die zuletzt durch Artikel 8 des Gesetzes vom 26. Juli 2016 (BGBl. I S. 1843) geändert worden ist
SiAnf	(2015-03)	Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. März 2015 (BAnz AT 30.03.2015 B2)
Interpretationen zu den SiAnf	(2015-03)	Interpretationen zu den „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke vom 22. November 2012, geändert am 3. März 2015 (BAnz AT 30.03.2015 B3)
Rahmenspezifikation Basis-sicherheit	(1979-01)	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)
KTA 3201.2	(2013-11)	Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren; Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung
KTA 3401.2	(2016-11)	Reaktorsicherheitsbehälter aus Stahl; Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung (Regeländerungsentwurf)
DIN 25463-1	(2014-02)	Berechnung der Zerfallsleistung der Kernbrennstoffe von Leichtwasserreaktoren - Teil 1: Uranoxid-Kernbrennstoff für Druckwasserreaktoren
DIN 25463-2	(2014-02)	Berechnung der Zerfallsleistung der Kernbrennstoffe von Leichtwasserreaktoren - Teil 2: Uran-Plutonium-Mischoxid (MOX)-Kernbrennstoff für Druckwasserreaktoren

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)