

**KTA 3401.2**  
**Reaktorsicherheitsbehälter aus Stahl**  
**Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung**

**Fassung 2016-11**

Frühere Fassungen der Regel: 1980-06 (BAnz. Nr. 188a vom 8. Oktober 1980)  
1985-06 (BAnz. Nr. 203a vom 29. Oktober 1985)

**Inhalt**

	Seite
Grundlagen .....	2
1 Anwendungsbereich .....	2
2 Begriffe .....	2
3 Allgemeine Grundsätze .....	2
4 Lastfälle und Beanspruchungsstufen .....	3
4.1 Allgemeines .....	3
4.2 Lastfälle (Anlagenzustände) .....	3
4.3 Belastungen .....	3
4.4 Beanspruchungsstufen .....	5
4.5 Zuordnung von Lastfällen, Belastungen, Beanspruchungsstufen und durchzuführende Spannungs- und Stabilitätsnachweise .....	5
5 Konstruktive Gestaltung .....	5
5.1 Allgemeines .....	5
5.2 Beanspruchungsgünstige Gestaltung .....	5
5.3 Werkstoff-, fertigungs- und prüfgerechte Konstruktion .....	5
5.4 Wartungsfreundliche Konstruktion .....	5
5.5 Konstruktionsdetails .....	5
6 Tragsicherheitsnachweis .....	6
6.1 Allgemeines .....	6
6.2 Isotrope Flächentragwerke .....	6
6.3 Anisotrope Flächentragwerke und Stabwerke .....	8
6.4 Geschraubte Verbindungen .....	9
6.5 Ermüdungsanalyse .....	13
6.6 Formabweichungen .....	13
Anhang A: Bestimmungen, auf die in dieser Regel verwiesen wird .....	14

## 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 -AtG-), um die im AtG und in der Strahlenschutzverordnung (StriSchV) festgelegten sowie in den „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ (SiAnf) und den „Interpretationen zu den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ weiter konkretisierten Schutzziele zu erreichen.

(2) Die Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke enthalten in der Anforderung Nr. 3.6 „Anforderungen an den Sicherheitseinschluss“ sowie im Abschnitt 6 „Sicherheitsbehälter“ der Interpretation I-2 „Anforderungen an die Ausführung der Druckführenden Umschließung, der Äußeren Systeme sowie des Sicherheitsbehälters“ grundlegende Anforderungen an den Sicherheitsbehälter.

Die genannten Sicherheitsanforderungen werden für Sicherheitsbehälter aus Stahl mit den Regeln

KTA 3401.1	Werkstoffe und Erzeugnisformen,
KTA 3401.2	Auslegung, Konstruktion und Berechnung,
KTA 3401.3	Herstellung
KTA 3401.4	Wiederkehrende Prüfungen
KTA 3405	Dichtheitsprüfung des Reaktorsicherheitsbehälters
KTA 3413	Ermittlung der Belastungen für die Auslegung des Volldrucksicherheitsbehälters gegen Störfälle innerhalb der Anlage
sowie für die	Durchführungen und Schleusen mit den Regeln
KTA 3402	Schleusen am Reaktorsicherheitsbehälter von Kernkraftwerken - Personenschleusen
KTA 3403	Kabeldurchführungen im Reaktorsicherheitsbehälter von Kernkraftwerken
KTA 3407	Rohrdurchführungen durch den Reaktorsicherheitsbehälter
KTA 3409	Schleusen am Reaktorsicherheitsbehälter von Kernkraftwerken - Materialschleusen

konkretisiert.

Für die Abschlüßung der den Reaktorsicherheitsbehälter durchdringenden Rohrleitungen von Betriebssystemen im Falle einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen in den Reaktorsicherheitsbehälter gilt KTA 3404.

(3) Dem Reaktorsicherheitsbehälter fällt die Aufgabe zu, den zugrunde zu legenden Druck- und Temperaturbelastungen, die bei Störfällen der Anlage mit Freisetzung radioaktiver Stoffe innerhalb des Reaktorsicherheitsbehälters, insbesondere bei den zu unterstellenden Leckquerschnitten an der Hauptkühlmittelleitung auftreten können, so standzuhalten, dass eine unzulässige Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung verhindert wird. Deswegen ist der Reaktorsicherheitsbehälter einschließlich aller Durchführungen und Kühleinrichtungen, soweit ihre Funktion zur Beherrschung der Störfallfolgen notwendig ist, so zu gestalten und auszulegen, dass er unter Einhaltung der zugrunde gelegten Leckrate den statischen, dynamischen und thermischen Belastungen standhält, die im Zusammenhang mit den obengenannten Störfällen und ihren Folgen auftreten können. Dem Reaktorsicherheitsbehälter fällt weiterhin die Aufgabe der Lüftungsführung während des Normalbetriebs zu.

(4) Für ortsfeste Leichtwasserreaktoren wird der Reaktorsicherheitsbehälter z. B. als technisch gasdichte Stahlkugel konzipiert, in die die erforderlichen Rohr- und Kabeldurchführungen sowie Schleusen für Personen und Material eingefügt sind. Um diese Aufgabe erfüllen zu können, müssen technische, organisatorische Maßnahmen, wie z. B.

- Auswahl und Verwendung von Werkstoffen großer Zähigkeit und guter Verarbeitbarkeit,

- Festigkeitsmäßige Auslegung und entsprechende konstruktive Gestaltung,
- Auswahl von Fertigungs- und Prüfverfahren sowie Dokumentation von Prüfschritten und Ergebnissen,
- eindeutige Anweisungen für Tätigkeiten bei der Herstellung des Werkstoffs und dessen Verarbeitung geregelt werden.

(5) Diese genannten Maßnahmen werden in den vier Regeln KTA 3401.1, KTA 3401.2, KTA 3401.3 und KTA 3401.4 behandelt. Durch Einhaltung der in dieser Regel getroffenen Festlegungen

- zu Lastfällen und Beanspruchungsstufen,
- zur konstruktiven Gestaltung,
- zum Tragsicherheitsnachweis,

ist sichergestellt, dass die sicherheitstechnischen Anforderungen an die Auslegung, Konstruktion und Berechnung des Reaktorsicherheitsbehälters erfüllt werden.

## 1 Anwendungsbereich

Diese Regel gilt für die Auslegung, Konstruktion und Berechnung von Reaktorsicherheitsbehältern aus Stahl für ortsfeste Leichtwasserreaktoren einschließlich der mit dem Reaktorsicherheitsbehälter fest verbundenen Stützen und für drucktragende Teile von Schleusen.

## 2 Begriffe

- (1) Auslegungsdruck (Dimensionierungsüberdruck) des Reaktorsicherheitsbehälters

Der Auslegungsdruck des Reaktorsicherheitsbehälters ist der nach den Vorgaben in KTA 3413 Abschnitt 6.1 ermittelte Druck.

- (2) Auslegungstemperatur des Reaktorsicherheitsbehälters  
Die Auslegungstemperatur des Reaktorsicherheitsbehälters ist die nach den Vorgaben in KTA 3413 Abschnitt 6.1 ermittelte, beim Störfall auftretende maximale Ausgleichstemperatur der Reaktorsicherheitsbehälteratmosphäre.

- (3) Dimensionierungsunterdruck  
Der Dimensionierungsunterdruck ist der nach den Vorgaben in KTA 3413 Abschnitt 6.1 (6) ermittelte maximale Unterdruck.

- (4) Nennspannungen  
Nennspannungen sind Spannungen, die durch Berechnungen bestimmt werden (z. B. analytische Berechnungen), bei denen die Kerbwirkungen von örtlichen Diskontinuitäten infolge der Bauteilgeometrie nicht berücksichtigt werden.

- (5) Prüfdruck (Überdruck) bei der Erstdruckprüfung  
Der Prüfdruck (Überdruck) bei der Erstdruckprüfung ist gleich dem 1,1fachen Auslegungsdruck multipliziert mit dem Verhältnis der Streckgrenzen bei Prüf- und Auslegungstemperatur.

- (6) Prüfdruck (Unterdruck) bei der Erstdruckprüfung  
Der Prüfdruck (Unterdruck) bei der Erstdruckprüfung ist der nach den Vorgaben in KTA 3401.3 Abschnitt 10.7 festgelegte Prüfdruck.

- (7) Störfalldruck, maximaler  
Der maximale Störfalldruck ist der nach den Vorgaben in KTA 3413 Abschnitt 6 zu ermittelnde maximale Überdruck im Kühlmittelverluststörfall (KMV-Störfall).

## 3 Allgemeine Grundsätze

Sofern nachstehend nicht besondere Festlegungen getroffen werden, muss die Auslegung, Konstruktion und Berechnung eines Reaktorsicherheitsbehälters nach den Grundsätzen des Maschinen- und Behälterbaus sowie unter Beachtung der allgemein anerkannten Regeln der Bautechnik erfolgen.

## 4 Lastfälle und Beanspruchungsstufen

### 4.1 Allgemeines

- (1) Lastfälle sind gemäß Abschnitt 4.2 zu klassifizieren.
- (2) Für den Reaktorsicherheitsbehälter sind die maßgebenden Lastfälle den Beanspruchungsstufen gemäß Abschnitt 4.4 zuzuordnen.

### 4.2 Lastfälle (Anlagenzustände)

#### 4.2.1 Allgemeines

(1) Im Hinblick auf die Einhaltung der Schutzziele sind verschiedene Anlagenzustände zu unterscheiden, die zu den in **Tabelle 4-1** angegebenen Belastungen führen. Die aus der Kombination von Belastungen resultierenden Lastfälle werden wie folgt klassifiziert:

- a) Dimensionierungsfälle (DF)
- b) Montagefälle (MF)
- c) Fälle des bestimmungsgemäßen Betriebs
  - ca) Normale Betriebsfälle (NB)
  - cb) Anomale Betriebsfälle (AB)
  - cc) Prüffälle (PF)
- d) Störfälle (ST)
- e) Übergreifende Einwirkungen von außen (EVA)

(2) Aus diesen werden spezifisch für den Reaktorsicherheitsbehälter die maßgebenden Lastfälle den Beanspruchungsstufen gemäß Abschnitt 4.4 zugeordnet.

#### 4.2.2 Dimensionierungsfälle (DF)

(1) Dimensionierungsfälle sind solche Lastfälle, die einer ersten Bemessung der Wanddicken der Bauteile des Reaktorsicherheitsbehälters dienen. Hierfür sind der Auslegungsdruck (Dimensionierungsüberdruck) und der Dimensionierungsunterdruck maßgebend.

Hinweis:

Zur endgültigen Bemessung der Wanddicken siehe Abschnitt 5.1 (2).

(2) Bei Innendruckbelastung sind Auslegungsdruck und Auslegungstemperatur als gleichzeitig wirkend zugrunde zu legen.

#### 4.2.3 Montagefälle (MF)

Alle aus Standort, Konstruktion und Montageablauf bedingten Belastungen sind als Montagefälle für den jeweiligen Montagezustand zu berücksichtigen. Transport- und Reparaturvorgänge sind gegebenenfalls als zulässig nachzuweisen.

#### 4.2.4 Fälle des bestimmungsgemäßen Betriebs

- a) Normale Betriebsfälle (NB)  
Normale Betriebsfälle sind Betriebsvorgänge, für die die Anlage bei funktionsfähigem Zustand der Systeme (ungestörter Zustand) bestimmt und geeignet ist. Alle zugehörigen Belastungen sind zu berücksichtigen.
- b) Anomale Betriebsfälle (AB)  
Anomale Betriebsfälle sind Betriebsvorgänge, die bei Fehlfunktion von Anlagenteilen oder Systemen (gestörter Zustand) ablaufen, soweit hierbei einer Fortführung des Betriebes sicherheitstechnische Gründe nicht entgegenstehen. Alle zugehörigen Belastungen sind zu berücksichtigen.
- c) Prüffälle (PF)  
Prüffälle sind die Druckprüfung, die Dichtheitsprüfung und die wiederkehrenden Prüfungen.

Hinweis:

In KTA 3401.3 ist die Höhe des Prüfdrucks der Druckprüfung im Abschnitt 10.2.2, die Höhe der Prüftemperatur ist dort im

Abschnitt 10.2.3 festgelegt. Diese Festlegungen sind für die Belastungen maßgebend.

### 4.2.5 Störfälle (ST)

Störfälle sind Ereignisabläufe, bei deren Eintreten der Betrieb der Anlage aus sicherheitstechnischen Gründen nicht fortgeführt werden kann und für die die Anlage ausgelegt ist. Alle zugehörigen Belastungen sind zu berücksichtigen.

### 4.2.6 Übergreifende Einwirkungen von außen (EVA)

Als übergreifende Einwirkungen von außen sind Bemessungserdbeben, Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwelle zu betrachten.

Hinweis:

Aufgrund der Anforderungen an die Anlage zum Schutz gegen übergreifende Einwirkungen von innen (anlageninterne Überflutung, Brände und Explosionen), die u.a. in den KTA-Regeln der Reihe KTA 2101 „Brandschutz in Kernkraftwerken“ und KTA 2103 „Explosionsschutz in Kernkraftwerken ...“ geregelt sind, ergeben sich aus übergreifenden Einwirkungen von innen keine zu berücksichtigenden Lasten auf den Reaktorsicherheitsbehälter.

## 4.3 Belastungen

(1) Unter Belastungen werden alle Einwirkungen auf den Reaktorsicherheitsbehälter verstanden, die eine Beanspruchung in diesem hervorrufen. Hierbei sind zu unterscheiden:

- a) Ständige Lasten  
Eigenlast des Reaktorsicherheitsbehälters, Eigenlast der mit ihm verbundenen Bauteile und sonstige ständig vorhandene Lasten.
- b) Druckdifferenzen und Temperaturdifferenzen für
  - ba) Normalbetrieb
  - bb) Anomaler Betrieb
  - bc) Prüffälle (Erstdruckprüfung, Dichtheitsprüfung)
  - bd) Störfälle
  - be) Übergreifende Einwirkungen von außen

Bei den Druckdifferenzen sind Drücke in örtlicher und zeitlicher Abhängigkeit einschließlich lokal wirkender Drücke (z. B. Strahlkräfte infolge Rohrleitungsbruch in Wandnähe) zu erfassen.

Bei den Temperaturdifferenzen sind der örtliche und zeitliche Temperaturverlauf einschließlich lokal begrenzter Temperaturfelder (z. B. im Bereich von Rohrdurchführungen oder bei Rohrleitungsbruch in Wandnähe) sowie Temperaturgradienten im Bauteilquerschnitt unter Beachtung des Einflusses von Wärmeisolierungen zu berücksichtigen.
- c) Statische und dynamische Lasten aus An- und Einbauten sowie aus Rohrleitungen und Füllungslasten  
Hinweis:  
Die Zuordnung der Rohrleitungsbelastungen zu den Lastfällen dieser Regel ist in KTA 3407 geregelt.
- d) Verkehrslasten
- e) Windlasten (Montagezustand)
- f) Schneelasten (Montagezustand)
- g) Sonstige dynamische Lasten (z. B. Einwirkungen aus dem Bemessungserdbeben)

(2) Behinderungen von Verformungen (Zwängungen, verursacht z. B. durch Stützkonstruktionen, An- und Einbauten sowie Rohrdurchführungen) sind zu berücksichtigen.

(3) Für Belastungen, die in die Ermüdungsanalyse des Reaktorsicherheitsbehälters einzubeziehen sind, sind die für die jeweilige Anlage spezifizierten Lastwechselzahlen zu berücksichtigen.

Beanspruchungsstufen	Lastfälle	Belastungen nach Abschnitt 4.3										Spannungsnachweise			Stabilitätsnachweise	
		a)	b)				c)	d)	e)	f)	g)	$P_m$	$P_l$ oder $P_m+P_b$ oder $P_l+P_b$	$P_m+P_b+Q$ oder $P_l+P_b+Q$		$P_l+P_b+Q+F$ oder $P_m+P_b+Q+F$
		Ständige Lasten	Globaler Innendruck	Unterdruck oder äußerer Überdruck	Örtlicher Druckaufbau	Temperatur 1)	Äußere Lasten und Lastmomente	Verkehrslasten	Windlasten	Schneelasten	Dynamische Lasten Fußpunkt Erregung					
0	DF 1	X	X									X	X <sup>2)</sup>			
	DF 2	X		X								X	X <sup>2)</sup>			X
1	MF 1	X					X	X		X		X	X			X
	NB	X		X		X	X					X	X	X	X	X
	ST 1	X	X		X	X	X					X	X	X		
2	MF 2	X					X	X	X	X		X	X			X
	DP 1	X	X				X		X			X	X			
	DP 2	X		X			X		X			X	X			X
	ST 2	X		X		X	X					X	X	X <sup>3)</sup>		X
3	ST 4	X	X		X		X					X	X			
	ST 5	X		X	X		X					X	X			X
	EVA 1	X		X			X				X	X	X			X
	EVA 2	X		X			X				X	X	X			X

- 1) Die zugehörige Temperatur ist generell für die Bestimmung der zulässigen Spannungen maßgebend. Bei den hier in dieser Spalte angekreuzten Lastfällen sind zusätzlich Wärmespannungen zu berücksichtigen.
- 2) Anstelle des Primärspannungsnachweises sind vereinfachte Bemessungsregeln (bei DF 1 z. B. Berechnung nach den AD 2000-Merkblättern B0 und B1) zulässig.
- 3) In begründeten Fällen entfällt der Sekundärspannungs- und Ermüdungsnachweis.

#### Erläuterungen:

DF 1: Dimensionierungsfall mit Dimensionierungsüberdruck

DF 2: Dimensionierungsfall mit Dimensionierungsunterdruck

MF 1: Montagefall mit ständigen und nicht-ständigen Lasten

MF 2: Montagefall mit ständigen und nicht-ständigen Lasten sowie mit Windlast

NB: Normalbetrieb

DP 1: Druckprüfung mit Überdruck

DP 2: Druckprüfung mit Unterdruck

ST 1: Kühlmittelverluststörfälle mit Druck- und Temperaturverlauf einschließlich möglicher Strahl- und Reaktionskräfte

ST 2: Vorgänge, die zum Unterdruck im Reaktorsicherheitsbehälter führen: Ausfall der Lüftung, Vorgänge am Ende von Kühlmittelverluststörfällen und kleine Leckagen

#### Hinweis:

Der Lastfall ST 3 „Auslegungserdbeben“ ist entfallen.

ST 4: Rohrleitungsbrüche innerhalb des Reaktorsicherheitsbehälters, soweit sie nicht in ST 1 einzuordnen sind, mit Strahl- und Reaktionskräften, überlagert mit dem Normalbetrieb (NB) (ohne Wärmespannungen)

ST 5: Rohrleitungsbruch außerhalb des Reaktorsicherheitsbehälters mit Strahl- und Reaktionskräften, überlagert mit dem Normalbetrieb (NB) (ohne Wärmespannungen)

EVA 1: Bemessungserdbeben, überlagert mit dem Normalbetrieb (ohne Wärmespannungen)

EVA 2: Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwelle, überlagert mit dem Normalbetrieb (NB) (ohne Wärmespannungen)

**Tabelle 4-1:** Zuordnung von Lastfällen, Belastungen und Beanspruchungsstufen und durchzuführenden Spannungs- und Stabilitätsnachweisen für den Reaktorsicherheitsbehälter eines Druckwasserreaktors (Beispiel)

#### 4.4 Beanspruchungsstufen

- (1) Die Lastfälle sind den Beanspruchungsstufen 0, 1, 2 und 3 zuzuordnen, deren zulässige Spannungen in Abschnitt 6 geregelt sind.
- (2) Der Beanspruchungsstufe 0 sind die Dimensionierungsfälle zuzuordnen.
- (3) Der Beanspruchungsstufe 1 sind normale Betriebsfälle, Kühlmittelverluststörfälle und Montagefälle ohne Windlasten zuzuordnen.
- (4) Der Beanspruchungsstufe 2 sind zuzuordnen:
  - a) Montagefälle mit Windlasten,
  - b) Prüffälle,
  - c) Vorgänge, die zu einem erhöhten Unterdruck im Reaktorsicherheitsbehälter führen, ausgenommen Rohrleitungsbrüche außerhalb des Reaktorsicherheitsbehälters.

Wird ein Bauteil im Montagezustand, abgesehen von seinem Eigengewicht, nur durch Windlast beansprucht, so ist dieser Lastfall der Beanspruchungsstufe 1 zuzuordnen.

- (5) Der Beanspruchungsstufe 3 sind die Lastfälle Rohrleitungsbruch innerhalb und außerhalb des Reaktorsicherheitsbehälters (außer den Kühlmittelverluststörfällen) sowie die übergreifenden Einwirkungen von außen gemäß Abschnitt 4.2.6 zuzuordnen.
- (6) Für die Lastfälle Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwelle darf der Tragsicherheitsnachweis auf ungestörte Bereiche und auf die Auflagerung beschränkt werden.

#### 4.5 Zuordnung von Lastfällen, Belastungen, Beanspruchungsstufen und durchzuführende Spannungs- und Stabilitätsnachweise

- (1) Sämtliche Lastfälle und zugeordnete Belastungen sind in einer Spezifikation anzugeben, in der neben der Eingruppierung der Lastfälle in Beanspruchungsstufen auch anzugeben ist, welche Spannungs- und Stabilitätsnachweise durchgeführt werden müssen.
- (2) **Tabelle 4-1** zeigt die Zuordnung im Falle des Reaktorsicherheitsbehälters eines Druckwasserreaktors (DWR).
- (3) Für Siedewasserreaktoren (SWR) ist die Zuordnung in Abhängigkeit von den anlagenspezifischen Gegebenheiten in Anlehnung an **Tabelle 4-1** festzulegen.

## 5 Konstruktive Gestaltung

### 5.1 Allgemeines

- (1) Bei der konstruktiven Gestaltung des Reaktorsicherheitsbehälters einschließlich Unterstützung, Ausschnitten, Ausschnittsverstärkungen, Schleusen, Deckeln, Montageöffnungen und Anbauteilen sind neben den nachstehenden Festlegungen die Teile KTA 3401.1 „Werkstoffe“ und KTA 3401.3 „Herstellung“ dieser Regel zu berücksichtigen.
- (2) Wanddickenbemessung und Formgebung sind so vorzunehmen, dass für alle Lastfälle die jeweils maßgebenden Spannungsgrenzen gemäß Abschnitt 5 eingehalten werden.

### 5.2 Beanspruchungsgünstige Gestaltung

- (1) Stellen mit Unstetigkeiten der Form und des Lastangriffs sind so auszubilden, dass die sich daraus ergebenden örtlichen Spannungserhöhungen gering gehalten werden, wobei alle Lastfälle in Betracht zu ziehen sind.
- (2) Ausschnitte und Anschweißteile sollen ausreichenden Abstand von den Schweißnähten (Längs- und Rundnähten) des Grundkörpers haben.

### 5.3 Werkstoff-, fertigungs- und prüfgerechte Konstruktion

- (1) Die konstruktive Gestaltung des Reaktorsicherheitsbehälters ist so festzulegen (z. B. hinsichtlich der Lage der Schweißnähte, der räumlichen Anordnung der Bauteile des Reaktorsicherheitsbehälters), dass die Prüfbarkeit bei erstmaligen und wiederkehrenden zerstörungsfreien Prüfungen nach den Anforderungen von KTA 3401.3 „Herstellung“ und KTA 3401.4 „Wiederkehrende Prüfungen“ gegeben ist. Erleichterungen hinsichtlich der Anforderungen an die prüfgerechte Konstruktion sind zulässig bei Schweißnähten mit Betriebsnennspannungen  $\leq 50 \text{ N/mm}^2$  im Nahtbereich, wenn diese Betriebsnennspannung die wesentliche Primärspannung darstellt. Als Betriebsnennspannung ist hier die allgemeine primäre Membranspannung in den der Beanspruchungsstufe 1 zugeordneten Lastfällen zu verstehen.
- (2) Bestehen für die Prüfungen nach den Druckprüfungen anlagenbedingte Einschränkungen für die Zugänglichkeit (z. B. Unterstützungsbereich, Liner, Splitterschutzbeton), so ist die Zulässigkeit der Einschränkungen mit dem Sachverständigen nach § 20 Atomgesetz und dem baurechtlichen Prüfer bereits während der Planung zu bewerten.
- (3) Kreuzstöße von Schweißnähten sind zu vermeiden. Miteinander zu verschweißende tragende Teile müssen über den gesamten Anschlussquerschnitt verschweißt werden. Kehlnähte an innen auf das Stutzenrohr aufgelegten Blinddeckeln sowie im Falle von Deckblechanschweißungen an von innen angeordneten Dichtkästen sind zulässig, da diese Nähte vorwiegend Dichtfunktion haben. Sonstige verbleibende Kehlnähte an drucktragenden Wandungen sind zu vermeiden. Ausnahmen sind nur im Einvernehmen mit dem Sachverständigen nach § 20 Atomgesetz und dem baurechtlichen Prüfer zulässig.

### 5.4 Wartungsfreundliche Konstruktion

- (1) Die Bauteile des Reaktorsicherheitsbehälters sind so zu gestalten, dass eine Dekontamination möglich ist.
- (2) Bauteile, die zu Wartungs- und Prüfzwecken demontiert werden müssen, sollen mit möglichst geringer Strahlenbelastung des Personals ausbaubar sein.

### 5.5 Konstruktionsdetails

#### 5.5.1 Schweißnähte

Der Abstand der Schweißnähte untereinander soll das 3fache der Wanddicke, mindestens jedoch 100 mm betragen. Bei T-Stößen von Schweißnähten soll der kleinere Winkel  $30^\circ$  nicht unterschreiten.

#### 5.5.2 Stumpfstöße

- (1) Stumpfstöße sollen ohne planmäßigen Versatz der Mittelflächen ausgeführt werden. Wird dennoch ein Versatz der Mittelflächen vorgesehen, muss ein rechnerischer Nachweis auftretender Spannungserhöhungen erbracht werden.
- (2) Für den nichtplanmäßigen Versatz der Mittelflächen gilt Abschnitt 5 KTA 3401.3.
- (3) Im Falle ungleicher Wanddicken ist das dickere Blech eines Blechstoßes bei einem einseitigen Kantenversatz mit  $s_1$  größer  $1,1 \cdot s_2$  einseitig und bei einem beidseitigen Kantenversatz mit  $s_1$ , größer  $1,2 \cdot s_2$  beidseitig mindestens im Verhältnis  $1 : 3$  oder flacher abzuschrägen.
- (4) Im Eckbereich aneinanderstoßender Bleche mit einseitigem Kantenversatz  $s_1 - s_2$  größer als  $0,1 \cdot s_2$  oder mit einem beidseitigen Kantenversatz  $s_1 - s_2$  größer als  $0,2 \cdot s_2$ , ist die Abschrägung einseitig oder beidseitig nach **Bild 5.5-1** auszurunden.

### 5.5.3 Unterstützungen

(1) Art und Abmessung der Unterstützungen sind abhängig vom Reaktortyp und der Struktur des Reaktorsicherheitsbehälters einschließlich seiner Ein- und Anbauten. Als Unterstützungen kommen neben der Einspannung des Reaktorsicherheitsbehälters im Fundament auch Auflager zur Abtragung von Belastungen aus Anbauten (z. B. Kondensationskammer, Schleusen, Rohrleitungen) in Frage.

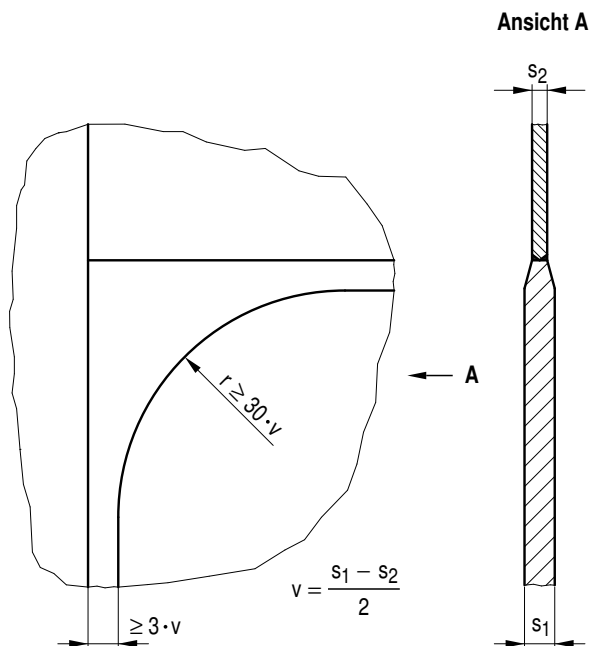
(2) Bei der konstruktiven Gestaltung des Randbereichs der Einspannung, d. h. am Austritt der Reaktorsicherheitsbehälterwand aus dem Beton ist zu beachten, dass Zusatzbeanspruchungen durch geeignete konstruktive Maßnahmen, wie z. B. durch eine nachgiebige Bettung, vermindert werden können. In diesem Fall ist ein Eindringen von Feuchtigkeit mittels Abdichtungen zu verhindern.

### 5.5.4 Ausschnitte, Ausschnittsverstärkungen und Montageöffnungen

(1) Die durch Ausschnitte verursachten Wandverschwächungen sind je nach Art, Anordnung und Anzahl durch Verstärkungen auszugleichen. Diese sollen nicht wesentlich dicker sein, als es zur Einhaltung der zulässigen Spannungen erforderlich ist. Ausschnitte sollen möglichst kreisrund oder elliptisch sein.

(2) Bei eckigen Ausschnitten sollen die Ecken einen möglichst großen Ausrundungsradius aufweisen.

(3) Nicht zulässig sind auf die Behälterwand aufgelegte Scheiben, die mit der Behälterwand verschweißt sind.



**Bild 5.5-1:** Wanddickenübergang mit Rundung

(4) Ausschnitte des Grundkörpers dürfen unabhängig vom Herstellungsverfahren der Erzeugnisform gemäß den in der folgenden Aufzählung a bis d aufgeführten beanspruchungsgünstigen Ausführungsformen verstärkt werden:

a) Ausschnittsverstärkungen, bei denen der Ausschnittsverchwächung durch eine ausreichende Erhöhung der Wanddicke des Grundkörpers Rechnung getragen wird. Durchführungen sollen nach Möglichkeit in einer umlaufenden verstärkten Zone oder in einzelnen verstärkten Blechen zusammengefasst werden. Die Anzahl der Einzelbleche ist durch Gruppenbildung von Durchführungen möglichst klein zu halten.

b) Ausschnittsverstärkungen mittels scheibenförmiger Verdickung des Grundkörpers, bei denen die Verstärkung allein durch die scheibenförmige Verdickung erfolgt.

c) Ausschnittsverstärkungen mittels rohrförmiger Verstärkung des Grundkörpers, bei denen die Verstärkung allein durch den eingeschweißten, vorzugsweise durchgesteckten Stutzen erfolgt.

d) Ausschnittsverstärkungen mittels gemeinsamer Verstärkung des Grundkörpers durch scheibenförmige Verdickung des Grundkörpers und eingeschweißtem, vorzugsweise durchgestecktem Stutzen.

(5) Bei der konstruktiven Gestaltung sind die Anforderungen an die Anordnung von Kabeldurchführungen gemäß KTA 3403 und die Anforderungen an Rohrdurchführungen gemäß KTA 3407 zu erfüllen.

(6) Lösbare Anschlüsse an Ausschnitten sind unter Beachtung der Dichtheitsanforderungen zulässig.

(7) Werden Montageöffnungen zum Einbringen großer Anlageteile mit lösbaren Verbindungen versehen, muss die Übertragung der Schalenkräfte unter Verwendung verformungsarmer, schlupffreier Verbindungen erfolgen, z. B. durch einen Doppellaschenstoß mit hochfesten Schrauben oder durch hakenförmig ineinandergreifende Flansche mit keilförmigen oder eingefassten Druckstücken oder mit eingepassten Scherbolzen.

(8) Stutzen sind aus geschmiedeten und gewalzten Stangen, nahtlos geschmiedeten Hohlkörpern oder nahtlosen Rohren herzustellen. Längsnahtgeschweißte Stutzen dürfen bei Nenndurchmessern größer als oder gleich 300 mm eingesetzt werden.

(9) Stutzeneinschweißungen sind grundsätzlich gegenschweißen. Ausnahmen sind erlaubt, wenn aus geometrischen Gründen (z. B. kleine Abmessungen, Formstücke und Armaturen) Gegenschweißen nicht möglich ist. In diesen Fällen ist die Wurzel mechanisch zu bearbeiten. Ist die mechanische Bearbeitung der Wurzel nicht möglich, muss die Prüfbarkeit der Schweißnaht durch besondere Maßnahmen sichergestellt werden.

## 6 Tragsicherheitsnachweis

### 6.1 Allgemeines

(1) Die Ermittlung der Schnittgrößen für den Tragsicherheitsnachweis hat auf der Grundlage der Elastizitätstheorie zu erfolgen. Bei der Nachweisführung darf das plastische Verhalten der Tragwerksteile in die Betrachtung einbezogen werden, das unter anderem auch vom jeweiligen Verhältnis des plastischen Grenzmoments zum elastischen Grenzmoment abhängt.

(2) Unter Voraussetzung eines idealplastischen Werkstoffgesetzes hat dieses Verhältnis für isotrope Flächentragwerke den Wert 1,5 bei reiner Biegung, während es bei anisotropen Flächentragwerken und bei profilierten Stäben davon abweichende Werte annehmen kann. Diese Tragwerksgruppen werden deshalb im nachstehenden getrennt behandelt.

(3) Beim Tragsicherheitsnachweis sind Verformungsbehinderungen zu berücksichtigen, siehe Abschnitt 4.3 (2). Weiterhin ist sicherzustellen, dass die Verformungen des Reaktorsicherheitsbehälters nicht zu einem unzulässigen Kontakt mit angrenzenden Strukturen führen.

### 6.2 Isotrope Flächentragwerke

#### 6.2.1 Allgemeines

Der Tragsicherheitsnachweis ist im Allgemeinen rechnerisch zu führen. Sollen Berechnungen durch Versuche ergänzt oder ersetzt werden, haben Anlagenlieferer, Hersteller, Sachverständige nach § 20 Atomgesetz und der baurechtliche Prüfer vorher das Versuchsprogramm miteinander abzustimmen.

## 6.2.2 Schnittgrößenermittlung

Die Schnittgrößen sind nach der Elastizitätstheorie unter Berücksichtigung aller geometrischen Unstetigkeiten (z. B. Wechsel der Schalenform, Wanddickensprünge, Aussparungen, Verstärkungen, Durchdringungen) und der in Abschnitt 4.3 (2) erwähnten Verformungsbehinderungen für die gemäß Abschnitt 4.4 zusammengestellten Beanspruchungsstufen zu ermitteln.

## 6.2.3 Spannungskategorien

### 6.2.3.1 Allgemeines

(1) Die Spannungen sind in Abhängigkeit von der erzeugenden Ursache und ihrer Auswirkung auf das Festigkeitsverhalten des Bauteils Spannungskategorien zuzuordnen, das heißt in primäre Spannungen, sekundäre Spannungen und Spannungsspitzen einzuteilen und gemäß ihrer Zuordnung in unterschiedlicher Weise zu begrenzen.

(2) Erscheint in Grenzfällen die Zuordnung zu einer der genannten Spannungskategorien nicht eindeutig, ist die Auswirkung einer plastischen Verformung auf das Festigkeitsverhalten im Falle einer angenommenen Überschreitung der vorgesehenen Belastung als maßgebend anzusehen.

(3) Membranspannungen, die in der Wand des Reaktorsicherheitsbehälters durch Rohrleitungskräfte und -momente erzeugt werden, sind als primäre Spannungen zu kategorisieren.

Hinweis:

Die im Folgenden verwendeten Begriffe und sprachlichen Bezeichnungen entstammen der Theorie der Flächentragwerke (z. B. Schalen, Platten, Scheiben), können aber sinngemäß auch auf andere Tragwerke und Bauteile (z. B. Stäbe, Balken) angewendet werden.

### 6.2.3.2 Primäre Spannungen

(1) Primäre Spannungen (P) sind solche Spannungen, die das Gleichgewicht mit äußeren Kraftgrößen (Lastgrößen) herstellen.

(2) Hinsichtlich des Festigkeitsverhaltens ist ihr wesentliches Merkmal, dass bei einer (unzulässig großen) Steigerung der äußeren Lasten die Verformungen nach vollständiger Plastifizierung des Querschnitts wesentlich zunehmen, ohne sich hierbei selbst zu begrenzen.

(3) Die primären Spannungen sind nach deren Verteilung senkrecht zur Wand eines Bauteils als Membranspannungen ( $P_m$ ,  $P_l$ ) und als Biegespannungen ( $P_b$ ) zu unterscheiden.

(4) Bei Flächentragwerken sind die Membranspannungen definiert als Mittelwert der über der Wanddicke verteilten Spannungen. Die Biegespannungen sind bei Flächentragwerken definiert als der linear veränderliche Anteil der über der Wanddicke verteilten Spannungen.

(5) Hinsichtlich der Verteilung entlang der Wand sind allgemeine primäre Membranspannungen ( $P_m$ ) und örtliche primäre Membranspannungen ( $P_l$ ) zu unterscheiden. Während allgemeine primäre Membranspannungen so verteilt sind, dass als Folge einer Plastifizierung keine wesentliche Spannungsumlagerung zu benachbarten Bereichen hin stattfinden würde, ist im Falle von örtlichen primären Membranspannungen an Störstellen bei einer Plastifizierung eine Spannungsumlagerung möglich. Obwohl die Spannungen daher teilweise den Charakter einer Sekundärspannung haben, werden sie konservativ als örtliche primäre Membranspannungen definiert.

An Störstellen darf eine primäre Membranspannung als örtliche primäre Membranspannung eingestuft werden, wenn die Ausdehnung in meridionaler Richtung mit einer Membranspannung größer dem 1,1fachen der zulässigen allgemeinen Membranspannung nicht größer ist als  $1 \cdot \sqrt{R} \cdot s_c$ . Hierbei ist R der kleinste Hauptkrümmungsradius, gemessen bis zur Mitte der Wanddicke, und  $s_c$  die kleinste Wanddicke im betrachteten Bereich.

Zwei benachbarte Bereiche mit örtlichen Erhöhungen der primären Spannungen größer als das 1,1fache der zulässigen allgemeinen Membranspannung und axialsymmetrischer Spannungsverteilung müssen in meridionaler Richtung mindestens den Abstand  $2,5 \cdot \sqrt{R} \cdot s_c$  haben. Hierbei gilt  $s_c = (s_{c,1} + s_{c,2})/2$  wobei für die Wanddicken  $s_{c,i}$  der beiden Bereiche 1 und 2 die jeweils örtlich vorhandenen Werte entsprechend der Definition der örtlichen primären Membranspannung heranzuziehen sind.

Weiterhin sind einzelne Bereiche mit örtlichen primären Membranspannungen, hervorgerufen durch konzentrierte Belastungen (z. B. im Bereich von Durchführungen), so anzuordnen, dass es zu keinen Überlappungen von Bereichen kommt, in denen das 1,1fache der zulässigen allgemeinen Membranspannung überschritten wird.

### 6.2.3.3 Sekundäre Spannungen

(1) Sekundäre Spannungen (Q) sind solche Spannungen, die durch Zwängungen infolge geometrischer Unstetigkeiten und bei Verwendung von Werkstoffen mit unterschiedlichen Elastizitätsmodulen unter äußeren Belastungen entstehen und die sich durch Zwängungen infolge unterschiedlicher Wärmedehnungen ergeben. Nur Spannungen aus dem linearisierten Verlauf der Spannungsverteilung werden zu den sekundären Spannungen gezählt.

(2) Hinsichtlich des Festigkeitsverhaltens ist ihr wesentliches Merkmal, dass sie im Falle des Überschreitens der Fließgrenze beim Ausgleich der Verformungsdifferenzen plastische Verformungen bewirken, die sich selbst begrenzen.

### 6.2.3.4 Spannungsspitzen

(1) Spannungsspitzen (F) sind solche Spannungen, die der Summe der betreffenden primären und sekundären Spannungen überlagert sind. Sie haben keine merklichen Verformungen zur Folge und sind in Verbindung mit primären und sekundären Spannungen nur für Ermüdung von Bedeutung.

(2) Zu den Spannungsspitzen zählen auch die Abweichungen von Nennspannungen in nichtrohrförmig verstärkten Lochrändern infolge Druck und Temperatur, wobei die Nennspannungen aus Gleichgewichtsbetrachtungen abzuleiten sind.

## 6.2.4 Spannungsüberlagerung und Spannungsbeurteilung

### 6.2.4.1 Allgemeines

(1) Für jeden Lastfall sind, wie im Folgenden dargelegt, die gleichzeitig wirkenden gleichgerichteten Spannungen für jede Spannungskategorie gesondert oder für verschiedene Spannungskategorien (z. B. primäre und sekundäre Spannungen) gemeinsam zu addieren.

(2) Aus diesen Spannungssummen ist für die primären Spannungen die Vergleichsspannung, für die Summe aus primären und sekundären Spannungen oder für die Summe aus primären Spannungen, sekundären Spannungen und Spannungsspitzen jeweils die Vergleichsspannungsschwingbreite zu bilden.

(3) Die Vergleichsspannungen und Vergleichsspannungsschwingbreiten sind nach Abschnitt 6.2.5 zu begrenzen.

### 6.2.4.2 Vergleichsspannungen

(1) Die den verschiedenen primären Spannungen zuzuordnenden Vergleichsspannungen sind nach der Schubspannungshypothese oder Gestaltänderungs-Energie-Hypothese zu bilden und mit den jeweils zulässigen Werten zu vergleichen.

(2) Hierzu sind nach der Festlegung eines dreiachsigen Koordinatensystems die arithmetischen Summen aller gleichzeitig wirkenden Spannungen gleicher Richtung für

- a) die allgemeinen primären Membranspannungen,
- b) die örtlichen primären Membranspannungen,
- c) die Summe der allgemeinen primären Membranspannungen oder der örtlichen primären Membranspannungen und der primären Biegespannungen gesondert zu bilden.

Für jeden der drei Fälle sind hieraus dann die Vergleichsspannungen nach der Schubspannungshypothese oder der Gestaltänderungs-Energie-Hypothese zu bilden.

#### 6.2.4.3 Vergleichsspannungsschwingbreiten

(1) Zur Vermeidung des Versagens infolge

- a) fortschreitender Deformation
- b) Ermüdung

sind die zu den jeweiligen Spannungskategorien gehörenden Vergleichsspannungsschwingbreiten zu ermitteln.

(2) Im Fall (1) a sind die benötigten Spannungstensoren aus den gleichzeitig wirkenden Spannungen der primären und sekundären Spannungskategorien zu bilden, im Fall (1) b aus den gleichzeitig wirkenden Spannungen aller Spannungskategorien.

(3) Aus der Menge der zu betrachtenden Beanspruchungszustände sind nach Festlegung eines festen Koordinatensystems zwei Beanspruchungszustände so auszuwählen, dass die aus der Differenz der zugehörigen Spannungstensoren gebildete Vergleichsspannung ein Maximum wird. Dieses Maximum stellt die Vergleichsspannungsschwingbreite dar.

(4) Haben die zu betrachtenden Beanspruchungszustände gleichbleibende Hauptspannungsrichtungen, genügt es im Falle der Verwendung der Vergleichsspannung nach der Schubspannungshypothese, das Maximum der Differenzen je zweier Hauptspannungsdifferenzen gleicher Paare von Hauptspannungsrichtungen zu bilden. Dieses Maximum stellt dann nach der Schubspannungshypothese die Vergleichsspannungsschwingbreite dar. Ein Nachweis der Vergleichsspannungsschwingbreite für die Summe aus primären und sekundären Spannungen darf entfallen, wenn die Vergleichsspannung in keiner der Beanspruchungsstufen 1 und 2 die 0,2%-Dehngrenze  $R_{p0,2T}$  oder die Streckgrenze ( $R_{eHT}$ ) überschreitet.

#### 6.2.5 Zulässige Spannungswerte

(1) Die zulässigen Spannungswerte sind auf die 0,2%-Dehngrenze ( $R_{p0,2T}$ ) oder die Streckgrenze ( $R_{eHT}$ ) bei der jeweils maßgebenden Temperatur zu beziehen.

(2) Für die Schweißnähte gelten in Verbindung mit den Herstellungs- und Qualitätssicherungsanforderungen von KTA 3401.3 die zulässigen Spannungen des Bauteils. Werden die Formeln der AD 2000-Merkblätter zur Bemessung herangezogen, darf der Schweißnahtfaktor mit 1,0 angesetzt werden.

(3) Soweit nachstehend zulässige Spannungswerte über  $1,0 \cdot R_{p0,2T}$  oder  $1,0 \cdot R_{eHT}$  angegeben sind, sind diese als fiktive Spannungen anzusehen, durch deren Einhaltung eine Beschränkung der auftretenden Dehnungen erreicht werden soll.

(4) Für die nach Abschnitt 6.2.4.2 aus den primären Spannungen ermittelten Vergleichsspannungen und die nach Abschnitt 6.2.4.3 aus der Summe von primären und sekundären Spannungen ermittelten Vergleichsspannungsschwingbreiten gelten die im Folgenden aufgeführten auf  $R_{p0,2T}$  oder  $R_{eHT}$  bezogenen Grenzwerte:

(5) Für die Stufen 0 und 1 gilt als Grenzwert:

- a)  $0,67 \cdot R_{p0,2T}$  für die Vergleichsspannung aus allgemeinen primären Membranspannungen ( $P_m$ ); jedoch darf für  $R_{p0,2T}$  nicht mehr als  $370 \text{ N/mm}^2$  bei Raumtemperatur und nicht mehr als  $320 \text{ N/mm}^2$  bei  $150 \text{ °C}$  eingesetzt werden.

- b)  $0,75 \cdot R_{p0,2T}$  für die Vergleichsspannung aus örtlichen primären Membranspannungen ( $P_l$ ) und aus den Summen allgemeiner, primärer Membranspannungen und primärer Biegespannung ( $P_m + P_b$ ) oder aus den Summen örtlicher primärer Membranspannungen und primärer Biegespannung ( $P_l + P_b$ ).

(6) Für die Stufe 1 gelten zusätzlich zu Absatz 5 Fälle a und b die Forderungen:

- a)  $1,67 \cdot R_{p0,2T}$  als Begrenzung der Vergleichsspannungsschwingbreite aus den Summen allgemeiner primärer Membranspannungen, primärer Biegespannungen und sekundärer Spannungen ( $P_m + P_b + Q$ ) oder aus den Summen örtlicher primärer Membranspannungen, primärer Biegespannungen und sekundärer Spannungen ( $P_l + P_b + Q$ ); jedoch darf für  $R_{p0,2T}$  nicht mehr als  $370 \text{ N/mm}^2$  bei Raumtemperatur und nicht mehr als  $320 \text{ N/mm}^2$  bei  $150 \text{ °C}$  eingesetzt werden. Der Kühlmittelverluststörfall (ST 1) braucht bei einer spezifizierten Häufigkeit von kleiner als 5 nicht bei der Bildung von Vergleichsspannungsschwingbreiten berücksichtigt zu werden. Die Summe der primären und sekundären Spannungen aus ST 1 ist mit  $1,67 \cdot R_{p0,2T}$  zu begrenzen. Dabei dürfen Wärmespannungen, die innerhalb der Reaktorsicherheitsbehälterwandung mit sich im Gleichgewicht stehen, vernachlässigt werden. Dies gilt auch für Wärmespannungen innerhalb von Stützenbereichen in einbetonierten Zonen des Reaktorsicherheitsbehälters.

- b) Für die nach Abschnitt 6.2.4.3 aus der Summe von primären Spannungen, sekundären Spannungen und Spannungsspitzen ermittelten Vergleichsspannungsschwingbreiten ist eine Ermüdungsanalyse nach Abschnitt 6.5 durchzuführen.

c) Für die Stufe 2 dürfen die Grenzwerte von Absatz 5 Fälle a und b und Absatz 6 Fall a um 10 % erhöht werden. Bei Prüffällen und in sonstigen begründeten Fällen entfallen der Sekundärspannungsnachweis und die Ermüdungsanalyse.

- d) Für die Stufe 3 werden nur primäre Spannungen nachgewiesen. Dabei dürfen die Grenzwerte von Absatz 5 Fälle a und b um 25 % erhöht werden.

(7) In der **Tabelle 6.2-1** sind die Grenzwerte für Spannungen und Spannungsschwingbreite für Nachweise der Tragfähigkeit des Querschnitts aufgeführt.

#### 6.2.6 Stabilitätsnachweis

(1) Für druckbeanspruchte Schalen ist die Stabilität unter zutreffenden Voraussetzungen bezüglich Geometrie und Belastung nach DIN EN 1993-1-6 und DIN EN 1993-1-6/NA nachzuweisen, wobei die Berechnungskonzepte „lineare elastische Berechnung (LA)“ und „lineare elastische Verzweigungsberechnung (LBA)“ angewendet werden sollen.

(2) Im Gegensatz zum Nachweis der Tragfähigkeit des Querschnitts (Einhaltung der Grenzspannung gemäß **Tabelle 6.2-1**), der unter 1,0fachen (charakteristischen) Lasten geführt wird, ist der Stabilitätsnachweis mit um Teilsicherheitsbeiwerte erhöhten Lasten (Bemessungslasten) zu führen.

(3) Als Belastung sind Einwirkungskombinationen mit Teilsicherheitsbeiwerten gemäß **Tabelle 6.2-2** zu verwenden. Nichtständige Lasten dürfen nicht berücksichtigt werden, wenn sie günstig wirken.

#### 6.3 Anisotrope Flächentragwerke und Stabwerke

Der Nachweis der Tragsicherheit einschließlich der Stabilität ist nach den allgemein anerkannten Regeln für die Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten unter Berücksichtigung der Beanspruchungsart und -häufigkeit zu führen.



Beanspruchungsstufe	$P_m^{1)}$	$P_m + P_b$ oder $P_I$ oder $P_I + P_b$	$P_m + P_b + Q^{1)}$ oder $P_I + P_b + Q$	$P_m + P_b + Q + F$ oder $P_I + P_b + Q + F$
0	$0,67 \cdot R_{p0,2T}$	$0,75 \cdot R_{p0,2T}$	—	—
1	$0,67 \cdot R_{p0,2T}$	$0,75 \cdot R_{p0,2T}$	$1,67 \cdot R_{p0,2T}$	Ermüdungsnachweis
2	$0,75 \cdot R_{p0,2T}$	$0,84 \cdot R_{p0,2T}$	$1,84 \cdot R_{p0,2T}^{2)}$	Ermüdungsnachweis
3	$0,84 \cdot R_{p0,2T}$	$0,94 \cdot R_{p0,2T}$	—	—

1) In der Nachweisführung ist  $R_{p0,2T}$  auf folgende Werte zu begrenzen (siehe Abschnitt 6.2.5 Absätze 5 und 6):  
 $R_{p0,2T} \leq 370 \text{ N/mm}^2$  bei Raumtemperatur  
 $R_{p0,2T} \leq 320 \text{ N/mm}^2$  bei  $T = 150 \text{ °C}$

2) Bei Prüffällen und in sonstigen begründeten Fällen entfallen der Sekundärspannungsnachweis und die Ermüdungsanalyse.

**Tabelle 6.2-1:** Grenzwerte für Spannungen und Spannungsschwingbreite sowie durchzuführende Nachweise

Beanspruchungsstufen	Lastfälle	Belastungen nach Abschnitt 4.3										Kombinationsbeiwert für nicht-ständige Lasten
		a)	b)				c)	d)	e)	f)	g)	
		Ständige Lasten	Globaler Innendruck	Unterdruck oder äußerer Überdruck	Örtlicher Druckaufbau	Temperatur	Äußere Lasten und Lastmomente	Verkehrslasten	Windlasten	Schneelasten	Dynamische Lasten Fußpunkt Erregung	
0	DF 2	1,35 <sup>1)</sup>	—	1,50	—	—	—	—	—	—	—	1,00
1	MF 1	1,35 <sup>1)</sup>	—	—	—	—	1,35	1,35	—	1,35	—	1,00
	NB	1,35 <sup>1)</sup>	—	1,50	—	1,50	1,50	—	—	—	—	0,90 <sup>2)</sup>
2	MF 2	1,35 <sup>1)</sup>	—	—	—	—	1,35	1,35	1,35	1,35	—	1,00
	DP 2	1,35 <sup>1)</sup>	—	1,35	—	—	1,35	—	1,35	—	—	1,00
	ST 2	1,35 <sup>1)</sup>	—	1,35	—	1,35	1,35	—	—	—	—	1,00
3	ST 5	1,00	—	1,00	1,00	—	1,00	—	—	—	—	1,00
	EVA 1	1,00	—	1,00	—	—	1,00	—	—	—	1,00	1,00
	EVA 2	1,00	—	1,00	—	—	1,00	—	—	—	1,00	1,00

1) 1,00 bei günstiger Auswirkung  
2) Bei gleichzeitigem Ansatz mehrerer nichtständiger Lasten (sonst: 1,00)

**Tabelle 6.2-2:** Teilsicherheitsbeiwerte für die im Stabilitätsnachweis nach DIN EN 1993-1-6 nachzuweisenden Einwirkungskombinationen

## 6.4 Geschraubte Verbindungen

### 6.4.1 Allgemeines

(1) Die zu übertragenden Kräfte sind für alle gemäß Abschnitt 4.4 zusammengestellten Beanspruchungsstufen zu ermitteln. Bei zugbeanspruchten Schrauben ist zusätzlich deren Vorspannung zu berücksichtigen, soweit bei den zulässigen Beanspruchungen diese Vorbelastung nicht bereits in Rechnung gestellt wurde.

(2) Für die zu verbindenden Bauteile ist die Einhaltung der in Abschnitt 6.2.5 festgelegten Grenzwerte für Spannungen und Spannungsschwingbreite unter Berücksichtigung der Querschnittsminderung infolge Lochabzug nachzuweisen.

(3) Als Mindestabmessung für tragende Schrauben sollen M12-Schrauben angewendet werden. Alle Schraubverbindungen sind zu sichern. Als Sicherung gilt auch eine planmäßige Vorspannung.

(4) Es dürfen nur Schrauben eingesetzt werden, deren Festigkeit mindestens der Festigkeitsklasse 5.6 entspricht und deren Werkstoff nach KTA 3401.1 zugelassen ist.

(5) Die zulässigen Lochspiele für Rundlöcher und die Grenzwerte für Langlochabmessungen sind DIN EN 1090-2 zu entnehmen.

(6) Das Anziehen der Schrauben hat zu erfolgen:

- bei planmäßig vorgespannten Schrauben der Normenreihe DIN EN 14399 gemäß DIN EN 1090-2,
- bei sonstigen planmäßig vorgespannten Schrauben nach einem geeigneten Regelwerk, z. B. VDI 2230 Blatt 1.

Die Verwendung einer Schraubenvorspannkraft in Höhe von

$$F = 0,7 \cdot R_{p0,2RT} \cdot A_S$$

ist in planmäßig vorgespannten Verbindungen ebenfalls zulässig. Die verwendete Schraubenvorspannkraft ist in den Nachweisen zugrunde zu legen.

Die Vorspannung ist auf den 0,9fachen Betrag von  $R_{p0,2T,S}$  zu begrenzen, wobei  $R_{p0,2T,S}$  die 0,2%-Dehngrenze des Schraubenwerkstoffs bei der höchsten zu erwartenden Temperatur bedeutet. Für Zugverbindungen mit Dichtfunktion gemäß Abschnitt 6.4.3.3 gelten jedoch die Festlegungen zur Vorspannung, die in der jeweiligen Auslegunggrundlage festgelegt sind.

(7) Die Daten zum Anziehen vorgespannter Schrauben sind auf der Konstruktionszeichnung einzutragen.

(8) Kommen verzinkte Schrauben zum Einsatz, so sind Schrauben, Muttern und Scheiben des gleichen Herstellers zu verwenden.

## 6.4.2 Übertragung von Scherkräften

### 6.4.2.1 Allgemeines

(1) Scherverbindungen sind symmetrisch zur Kräfteebene auszubilden. Bei Blechstößen ist deshalb ausschließlich die Anordnung von Doppellaschen vorzusehen.

(2) Der Berechnung von Scherverbindungen hat gemäß den Abschnitten 6.4.2.2 und 6.4.2.3 zu erfolgen.

(3) Für die Rand- und Lochabstände gilt **Tabelle 6.4-1**.

(4) In Langlochverbindungen ist der zulässige Lochleibungsdruck bei Beanspruchung senkrecht zur Langlochachse auf 60 % des für Rundlöcher zulässigen Wertes zu reduzieren.

(5) Für die Ausführung von Scherverbindungen ist DIN EN 1090-2 maßgebend.

(6) Scherverbindungen sollen so ausgelegt werden, dass alle Scherflächen im Schaftbereich der Schrauben angeordnet sind.

(7) Die Spannungen für Schraubverbindungen sind nach Abschnitt 6.4.2.2.2 zu ermitteln. Im Besonderen ist Folgendes zu beachten:

- Für den Spannungsnachweis der Scherbeanspruchung ist der Querschnitt im Abscherbereich (Schaft- oder Kernquerschnitt) maßgebend.
- Für den Spannungsnachweis der Zugbeanspruchung ist für Schrauben mit metrischen ISO-Gewinden gemäß DIN 13-1 der Spannungsquerschnitt maßgebend, ansonsten der Kernquerschnitt.

### 6.4.2.2 Scher-/Lochleibungsverbindungen

#### 6.4.2.2.1 Auslegung

(1) Für Scher/Lochleibungsverbindungen (SL, SLP) dürfen verwendet werden:

- Passschrauben (z. B. nach DIN 7968; für SLP),
- hochfeste Passschrauben (z. B. nach DIN EN 14399-8; für SLP) der Festigkeitsklasse 10.9,
- hochfeste Schrauben (z. B. nach DIN EN 14399-4 oder nach DIN EN 15048-1; für SL) der Festigkeitsklasse 10.9 ohne Passung, sofern die im Anschluss zu erwartenden Verschiebungen unbedenklich sind und die Belastungen nicht mit wechselnder Richtung auftreten.

(2) Schraubendurchmesser und Werkstoffdicken sollen so aufeinander abgestimmt werden, dass die Bedingung

$$\frac{\tau_{a \text{ vorh}}}{\tau_{a \text{ zul}}} \leq 0,8 \cdot \frac{\sigma_{L \text{ vorh}}}{\sigma_{L \text{ zul}}} \quad (6.4-1)$$

mit:

$\sigma_{L, \text{ vorh}}$ : Lochleibungsdruck zwischen Schraube und Lochwand des zu verbindenden Bauteils

$\tau_{a, \text{ vorh}}$ : Scherbeanspruchung der Schraube

$\sigma_{L, \text{ zul}}$ : zulässiger Lochleibungsdruck gemäß **Tabelle 6.4-2**

$\tau_{a, \text{ zul}}$ : zulässige Scherspannung gemäß **Tabelle 6.4-2**

eingehalten wird. Die Einhaltung der Gleichung 6.4-1 ist nur dann erforderlich, wenn

$$\frac{\tau_{a \text{ vorh}}}{\tau_{a \text{ zul}}} > 0,5 \quad (6.4-2)$$

(3) Die zulässigen Werte der Lochleibungsdrücke  $\sigma_L$  und Scherspannungen  $\tau_a$  sind der **Tabelle 6.4-2** zu entnehmen.

#### 6.4.2.2.2 Nachweise

(1) In den nachfolgenden Gleichungen (6.4-3) bis (6.4-5) bedeuten:

$A_a$ : Querschnittsfläche des Schaftes der Schraube

$F$ : zu übertragende Schnittkraft (Längskraft  $N$ , Querkraft  $Q$ )

$Q_{SL \text{ zul}}$ : zulässige übertragbare Kraft einer Schraube je Scherfläche senkrecht zur Schraubenachse in einer SL-Verbindung

$Q_{SLP \text{ zul}}$ : zulässige übertragbare Kraft einer Schraube je Scherfläche senkrecht zur Schraubenachse in einer SLP-Verbindung

$d$ : Schaftdurchmesser der Schraube

$n$ : Anzahl der Schrauben in der Verbindung

$m$ : Anzahl der Scherfugen (Schnittigkeit)

$\sum t_{\min}$ : kleinste Summe der Blechdicken mit in gleicher Richtung wirkendem Lochleibungsdruck

$\sigma_L$ : Lochleibungsdruck zwischen Schraube und Lochwand des zu verbindenden Bauteils

$\tau_a$ : Beanspruchung auf Abscheren der Schraube

(2) Der Lochleibungsdruck  $\sigma_L$  und die Abscherspannung  $\tau_a$  sind ungeachtet der wirklichen Spannungsverhältnisse wie folgt zu berechnen:

$$\sigma_L = \frac{F}{d \cdot n \cdot \sum t_{\min}} \quad (6.4-3)$$

Die Werte für  $\sigma_{L, \text{ zul}}$  sind für das Bauteil und für die Schraube in **Tabelle 6.4-2** enthalten. Bei unterschiedlichen Werkstoffen für Bauteil und Verbindungsmittel ist der kleinere Wert der Bemessung zugrunde zu legen.

$$\tau_a = \frac{F}{n \cdot m \cdot A_a} \quad \text{mit } A_a = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (6.4-4)$$

$$\left. \begin{array}{l} Q_{SL \text{ zul}} \\ Q_{SLP \text{ zul}} \end{array} \right\} = \tau_{a \text{ zul}} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (6.4-5)$$

Die Werte für  $\tau_{a \text{ zul}}$  sind in **Tabelle 6.4-2** angegeben.

#### 6.4.2.3 Gleitfeste Verbindungen

(1) Gleitfeste Verbindungen müssen mit planmäßiger Vorspannung gemäß Abschnitt 6.4.1 (6) hergestellt werden.

(2) Beim Auftreten unterschiedlicher Wärmedehnungen von Schraubenschaft und verspannten Bauteilen ist der Einfluss auf die Vorspannkraft der Schrauben und damit auf den Reibwiderstand der Verbindung zu berücksichtigen.

(3) Es dürfen Schrauben ohne Passung (gleitfeste Verbindungen) oder Passschrauben (gleitfeste Passverbindungen) verwendet werden.

(4) Kontaktflächen für gleitfeste Verbindungen sind gemäß DIN EN 1090-2 Abschnitt 8.4 vorzubereiten. Bei Verwendung eines gleitfesten Anstrichs ist dessen Verhalten bei Erwärmung stets durch Versuche festzustellen und zu berücksichtigen.

(5) In einer GV-Verbindung beträgt die zulässige übertragbare Kraft  $Q_{GVzul}$  je hochfeste Schraube und je Reibfläche:

$$Q_{GVzul} = \frac{\mu}{v} \cdot F_V \quad (6.4-6)$$

Darin bedeuten:

$F_V$  : Vorspannkraft in der Schraube

$\mu$  : Haftreibungszahl der Berührungsflächen.

Soweit nicht die Haftreibungszahl für den vorgesehenen Bauteilwerkstoff unter Berücksichtigung der vorgesehenen Reibflächenvorbereitung und der maßgebenden Bauteiltemperatur durch Versuche an einer hierfür anerkannten Prüfanstalt ermittelt wird, gilt in Abhängigkeit von der Vorbereitung der Kontaktflächen der in DIN EN 1090-2, Abschnitt 8.4, angegebene Wert. Dieser Wert ist entsprechend dem Verhältnis  $R_{p0,2T,B}$  zu  $R_{eH(S235)}$  abzumindern, wenn dieses kleiner als 1,0 ist. (Bedeutung von  $R_{p0,2T,B}$  siehe **Tabelle 6.4-2**).

$v$  : Sicherheitsbeiwert gegen Gleiten

Beanspruchungsstufe 1:

$v = 1,25$  bei vorwiegend ruhender Beanspruchung und

$v = 1,4$  bei nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung

Beanspruchungsstufe 2:

$v = 1,1$

Beanspruchungsstufe 3:

$v = 1,0$

Als zulässiger Lochleibungsdruck gilt:

Beanspruchungsstufe 1:

$2,0 \cdot R_{p0,2T,B}$

Beanspruchungsstufe 2:

$2,2 \cdot R_{p0,2T,B}$

Beanspruchungsstufe 3:

$2,5 \cdot R_{p0,2T,B}$

(6) Bei GVP-Verbindungen errechnet sich die je Reib- oder Scherfläche zulässige Scherkraft  $Q_{GVPzul}$  wie folgt:

$$Q_{GVPzul} = 0,5 \cdot Q_{SLPzul} + Q_{GVzul} \quad (6.4-7)$$

Dabei ist  $Q_{SLPzul}$  nach Gleichung 6.4-5,  $Q_{GVzul}$  nach Gleichung 6.4-6 zu bestimmen.

(7) Werden GVP-Verbindungen durch Schnittkräfte mit wechselnden Vorzeichen beansprucht, so ist die Übertragung der Kraft mit dem größeren Absolutbetrag mit  $Q_{GVPzul}$  und die der Kraft mit dem kleineren Absolutbetrag mit  $Q_{GVzul}$  nachzuweisen.

(8) Für Bauteile mit Zugbeanspruchung, die durch GV- oder GVP-Verbindungen angeschlossen sind, darf beim allgemeinen Spannungsnachweis angenommen werden, dass 40 % der zulässigen übertragbaren Kraft  $Q_{GVzul}$  nach Gleichung 6.4-6 derjenigen hochfesten Schrauben, die im betrachteten Querschnitt mit Lochabzug liegen, vor Beginn der Lochschwächung durch Reibungsschluss angeschlossen sind (Kraftvorabzug). Außerdem ist der Vollquerschnitt mit der Gesamtkraft nachzuweisen.

(9) Der Lochleibungsdruck  $\sigma_l$  in den zu verbindenden Bauteilen ist rechnerisch nach Gleichung 6.4-3 nachzuweisen; dabei ist der Einfluss von Reibungskräften unberücksichtigt zu lassen. Ein Nachweis der Scherspannung  $\tau_a$  ist nicht erforderlich.

### 6.4.3 Zugverbindungen

#### 6.4.3.1 Allgemeines

(1) Zugverbindungen sind so zu konstruieren, dass planmäßige Biegespannungen in den Schrauben vermieden werden.

(2) Unvermeidliche Biegebeanspruchungen (z. B. infolge von Bauteilverformungen oder exzentrischen Pressungen) in Schrauben sind in der Nachweisführung zu berücksichtigen.

(3) Auf die Verformungsverträglichkeit der gesamten Verbindungs konstruktion ist besonders zu achten.

(4) Für Zugverbindungen, die zusätzlich durch Querkräfte beansprucht werden, sind zusätzlich die Anforderungen des Abschnitts 6.4.4 einzuhalten.

#### 6.4.3.2 Zugverbindungen ohne Dichtfunktion

(1) Zugverbindungen ohne Dichtfunktion dürfen, wenn die Schrauben der Verbindung nicht durch Biegemomente beansprucht werden, durch eine Begrenzung der Zugspannungen aus äußerer Last im Spannungsquerschnitt der Schrauben nachgewiesen werden

$$\sigma = \frac{F}{A_S} \leq \sigma_{zul} \quad (6.4-8)$$

mit  $\sigma_{zul}$  gemäß **Tabelle 6.4-3**.

(2) Schrauben, die durch unvermeidliche Biegemomente beansprucht werden, sind nach der VDI-Richtlinie 2230 oder mit anderen geeigneten Verfahren nachzuweisen.

(3) Hochfeste Schrauben der Güteklassen 10.9 und 8.8 sind gemäß Abschnitt 6.4.1 (6) planmäßig vorzuspannen.

(4) Andere Schrauben sind gemäß den Vorgaben der VDI-Richtlinie 2230 vorzuspannen.

(5) Bei Schraubverbindungen, deren Versagen die Funktion des Reaktorsicherheitsbehälters nicht beeinträchtigt, darf auf eine Vorspannung verzichtet werden.

#### 6.4.3.3 Zugverbindungen mit Dichtfunktion

(1) Für Zugverbindungen mit Dichtfunktion ist die Tragfähigkeit nach den Vorgaben der Regel KTA 3201.2, der VDI-Richtlinie 2230 oder mit anderen geeigneten Verfahren nachzuweisen. Die Wirksamkeit der erforderlichen Dichtfunktion ist dabei durch Wahl einer geeigneten Vorspannung sicherzustellen.

(2) Die rechnerische Zug- oder Biegezugspannung aus Innendruck, erforderlicher Dichtungskraft und äußeren Lasten ist dabei auf  $0,67 \cdot R_{p0,2TS}$  zu begrenzen, wobei  $R_{p0,2TS}$  die 0,2%-Dehngrenze des Schraubenwerkstoffs bei der größten zu erwartenden Temperatur bedeutet.

#### 6.4.4 Scherverbindungen mit äußerer Zugbelastung

(1) Scherverbindungen mit äußerer Zugbelastung sind mit planmäßiger Vorspannung gemäß Abschnitt 6.4.1 (6) auszuführen.

(2) Dabei darf die auf eine Schraube entfallende rechnerische Zugkraft 60 % der Vorspannkraft nicht überschreiten. Bei Ausnutzung dieses Wertes bei GV-Verbindungen vermindert sich die je Reibfläche zulässige Scherkraft auf den 0,2fachen Betrag. Bei GVP-Verbindungen gilt die Abminderung nur für den Anteil  $Q_{GVzul}$ . Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

(3) Ein Nachweis der Ermüdungssicherheit ist für die Zugbeanspruchung von nach Abschnitt 6.4.1 (6) planmäßig vorgespannten Schrauben nicht erforderlich.

Randabstände			Lochabstände		
Kleinsten Randabstand	In Krafrichtung	$2 \cdot d_1$	Kleinsten Lochabstand	In und rechtwinklig zur Krafrichtung	$3 \cdot d_1$
	Rechtwinklig zur Krafrichtung	$1,5 \cdot d_1$		Größten Lochabstand	Zur Sicherung gegen lokales Beulen
Größten Randabstand	In und rechtwinklig zur Krafrichtung	$3 \cdot d_1$ oder $6 \cdot t$			Wenn lokale Beulgefahr nicht besteht

$d_1$  : Lochdurchmesser  
 $t$  : Dicke des dünnsten der außen liegenden Teile der Verbindung

Tabelle 6.4-1: Rand- und Lochabstände von Schrauben

Art der Spannung	Art der Verbindung					
	Passschrauben mit Lochspiel $\leq 0,3$ mm (SLP)					Schrauben ohne Passung (SL) mit Lochspiel $\leq 1,0$ mm
	Festigkeitsklasse 5.6	Festigkeitsklasse 8.8	Andere Schrauben mit $300 \text{ N/mm}^2 \leq R_{p0,2T,S} \leq 450 \text{ N/mm}^2$	Andere Schrauben mit $R_{p0,2T,S} > 450 \text{ N/mm}^2$	Festigkeitsklasse 10.9 mit Vorspannung $\geq 0,5 \cdot F_V$ nach DIN EN 1090-2 <sup>1)</sup>	
Lochleibungsdruck $\sigma_L$	$1,33 \cdot R_{p0,2T,B} \leq \alpha_s \cdot 480 \text{ N/mm}^2$				$1,75 \cdot R_{p0,2T,B}$	$1,50 \cdot R_{p0,2T,B}$
Scherspannung $\tau_a$	$\alpha_s \cdot 160 \text{ N/mm}^2$ <sup>2)</sup>	$\alpha_s \cdot 196 \text{ N/mm}^2$	$0,53 \cdot R_{p0,2T,S}$	$0,30 \cdot R_{p0,2T,S}$	$\alpha_s \cdot 280 \text{ N/mm}^2$	$\alpha_s \cdot 240 \text{ N/mm}^2$

Für die Beanspruchungsstufe 2 dürfen die zulässigen Spannungen um 10 % und für die Beanspruchungsstufe 3 um 25 % erhöht werden.

1) Durch Vorspannen der Schrauben und den dadurch entstehenden räumlichen Spannungszustand lässt sich die Tragfähigkeit der Verbindung in Bezug auf Lochleibungsversagen verbessern. Dies darf durch eine Erhöhung des zulässigen Lochleibungsdrucks in Rechnung gestellt werden.

2) Siehe hierzu die Erläuterungen zu Abschnitt 6 in der Dokumentationsunterlage (Seiten D-10 bis D-13).

Dabei bedeuten:

$R_{p0,2T,B}$  : 0,2%-Dehngrenze  $R_{p0,2T}$  oder Streckgrenze  $R_{eHT}$  des Bauteilwerkstoffs bei der jeweils maßgebenden Temperatur  
 $\alpha_s = R_{p0,2T,S} / R_{p0,2RT,S}$   
 $R_{p0,2T,S}$  : 0,2%-Dehngrenze  $R_{p0,2T}$  oder Streckgrenze  $R_{eHT}$  des Schraubenwerkstoffs bei der jeweils maßgebenden Temperatur  
 $R_{p0,2RT,S}$  : 0,2%-Dehngrenze  $R_{p0,2T}$  oder Streckgrenze  $R_{eHT}$  des Schraubenwerkstoffs bei Raumtemperatur

Tabelle 6.4-2: Zulässige Spannungen bei Scher/Lochleibungsverbindungen

Zulässige Zugspannung $\sigma_{zul}$	Festigkeitsklasse 5.6	Festigkeitsklasse 8.8	Andere Schrauben mit $300 \text{ N/mm}^2 \leq R_{p0,2T,S} \leq 450 \text{ N/mm}^2$	Andere Schrauben mit $R_{p0,2T,S} > 450 \text{ N/mm}^2$	Festigkeitsklasse 10.9
Planmäßig vorgespannte Verbindung	—	$0,7 \cdot F_V/A_S$	—	—	$0,7 \cdot F_V/A_S$
Nicht planmäßig vorgespannte Verbindung	$\alpha_s \cdot 150 \text{ N/mm}^2$	$\alpha_s \cdot 252 \text{ N/mm}^2$	$0,47 \cdot R_{p0,2T,S}$	$0,40 \cdot R_{p0,2T,S}$	$\alpha_s \cdot 360 \text{ N/mm}^2$

Für die Beanspruchungsstufe 2 dürfen die zulässigen Spannungen um 10 % und für die Beanspruchungsstufe 3 um 25 % erhöht werden.

Dabei bedeuten:

$A_S$  : Spannungsquerschnitt der Schraube  
 $F_V$  : Vorspannkraft in der Schraube  
 $\alpha_s = R_{p0,2T,S} / R_{p0,2RT,S}$   
 $R_{p0,2T,S}$  : 0,2%-Dehngrenze  $R_{p0,2T}$  oder Streckgrenze  $R_{eHT}$  des Schraubenwerkstoffs bei der jeweils maßgebenden Temperatur  
 $R_{p0,2RT,S}$  : 0,2%-Dehngrenze  $R_{p0,2T}$  oder Streckgrenze  $R_{eHT}$  des Schraubenwerkstoffs bei Raumtemperatur

Tabelle 6.4-3: Zulässige Zugspannung bei Schraubverbindungen

## 6.5 Ermüdungsanalyse

### 6.5.1 Allgemeines

Zur Vermeidung des Versagens infolge Ermüdung bei wechselnder Beanspruchung ist eine Ermüdungsanalyse durchzuführen.

### 6.5.2 Zu berücksichtigende Lastfälle

(1) Im Nachweis der Ermüdungsfestigkeit sind alle Lastfälle zu berücksichtigen, die im Betrieb der Anlage, in anomalen Betriebszuständen und in Prüffällen auftreten. Montagelastfälle und Störfälle sind nicht zu berücksichtigen.

(2) Für Beanspruchungen des Reaktorsicherheitsbehälters, die aus anderen Systemen herrühren, sind die zu berücksichtigenden Lastzyklen aus den Spezifikationen der betreffenden Systeme abzuleiten oder durch konservative Abschätzungen zu erfassen, die die gesamte Lebensdauer der Anlage berücksichtigen.

### 6.5.3 Nachweisführung

(1) Die aus den zu berücksichtigenden Lastfällen resultierenden Spannungsschwingbreiten sind an den Stellen potentieller Ermüdungsrissbildungen zu ermitteln (z. B. an geometrischen Unstetigkeiten, im Bereich von Schweißnähten, bei Schrauben im Gewindebereich). Durch die Einhaltung des

zulässigen Erschöpfungsgrades ist eine Ermüdungsrissbildung auszuschließen.

(2) Der Ermüdungsnachweis ist mittels einer elastischen Analyse gemäß KTA 3201.2 Abschnitt 7.8.3 zu führen. Ein Medieneinfluss ist dabei nicht zu berücksichtigen.

## 6.6 Formabweichungen

(1) Bei Einhaltung der zulässigen Formabweichungen gemäß der KTA 3401.3, Abschnitt 5, darf im Rahmen von Beulsicherheitsnachweisen nach DIN EN 1993-1-6 eine Einstufung des Reaktorsicherheitsbehälters in die Herstellungstoleranz-Qualitätsklasse B vorgenommen werden.

(2) Eine Einstufung in die Herstelltoleranz-Qualitätsklasse A darf erfolgen, wenn nachgewiesen wird, dass sämtliche in DIN EN 1993-1-6, Abschnitt 8.4, klassifizierten Imperfektionen den Anforderungen der Herstelltoleranz-Qualitätsklasse A genügen.

(3) Überschreiten herstellungsbedingte Formabweichungen die im Abschnitt 5 KTA 3401.3 festgelegten Grenzen, dann sind sie im Rahmen von Beulsicherheitsnachweisen nach DIN EN 1993-1-6 als erhöhte Imperfektionsannahmen bei der Nachweisführung zu berücksichtigen. Sie dürfen nur dann belassen werden, wenn sie die Tragfähigkeit des Reaktorsicherheitsbehälters nicht beeinträchtigen.

## Anhang A

### 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), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 26. Juli 2016 (BGBl. I 2016, Nr. 37, S. 1843)
StrlSchV		Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I 2001, Nr. 38, S. 1714), zuletzt geändert durch Artikel 8 des Gesetzes vom 26. Juli 2016 (BGBl. I 2016, Nr. 37, S. 1843)
SiAnf	(2015-03)	Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke (SiAnf) in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. März 2015 (BAnz AT 30.03.2015 B2)
Interpretationen	(2015-03)	Interpretationen zu den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke vom 22. November 2012, geändert am 3. März 2015 (BAnz AT 30.03.2015 B3)
KTA 3201.2	(2013-11)	Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren; Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung
KTA 3401.1	(1988-09)	Reaktorsicherheitsbehälter aus Stahl; Teil 1: Werkstoffe und Erzeugnisformen
KTA 3401.3	(1986-11)	Reaktorsicherheitsbehälter aus Stahl; Teil 3: Herstellung
KTA 3401.4	(1991-06)	Reaktorsicherheitsbehälter aus Stahl; Teil 4: Wiederkehrende Prüfungen
KTA 3402	(2014-11)	Schleusen am Reaktorsicherheitsbehälter von Kernkraftwerken - Personenschleusen
KTA 3403	(2015-11)	Kabeldurchführungen im Reaktorsicherheitsbehälter von Kernkraftwerken
KTA 3404	(2013-11)	Abschließung der den Reaktorsicherheitsbehälter durchdringenden Rohrleitungen von Betriebssystemen im Falle einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen in den Reaktorsicherheitsbehälter
KTA 3405	(2015-11)	Dichtheitsprüfung des Reaktorsicherheitsbehälters
KTA 3407	(2014-11)	Rohrdurchführungen durch den Reaktorsicherheitsbehälter
KTA 3409	(2009-11)	Schleusen am Reaktorsicherheitsbehälter von Kernkraftwerken - Materialschleusen
KTA 3413	(2016-11)	Ermittlung der Belastungen für die Auslegung des Volldrucksicherheitsbehälters gegen Störfälle innerhalb der Anlage
DIN 13-1	(1999-11)	Metrisches ISO-Gewinde allgemeiner Anwendung - Teil 1: Nennmaße für Regelgewinde; Gewinde-Nenndurchmesser von 1 mm bis 68 mm
DIN EN 1090-2	(2011-10)	Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-2:2008+A1:2011
DIN EN 1993-1-6	(2010-12)	Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen; Deutsche Fassung EN 1993-1-6:2007 + AC:2009
DIN EN 1993-1-6/NA	(2010-12)	Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen
DIN 7968	(2007-07)	Sechskant-Passschrauben mit Sechskantmutter für Stahlkonstruktionen
DIN EN 14399-1	(2015-04)	Hochfeste vorspannbare Garnituren für Schraubverbindungen im Metallbau - Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 14399-1:2015
DIN EN 14399-2	(2015-04)	Hochfeste vorspannbare Garnituren für Schraubverbindungen im Metallbau - Teil 2: Eignung zum Vorspannen; Deutsche Fassung EN 14399-2:2015
DIN EN 14399-3	(2015-04)	Hochfeste vorspannbare Garnituren für Schraubverbindungen im Metallbau - Teil 3: System HR - Garnituren aus Sechskantschrauben und -muttern; Deutsche Fassung EN 14399-3:2015
DIN EN 14399-4	(2015-04)	Hochfeste vorspannbare Garnituren für Schraubverbindungen im Metallbau - Teil 4: System HV - Garnituren aus Sechskantschrauben und -muttern; Deutsche Fassung EN 14399-4:2015

DIN EN 14399-5	(2015-04)	Hochfeste vorspannbare Garnituren für Schraubverbindungen im Metallbau - Teil 5: Flache Scheiben; Deutsche Fassung EN 14399-5:2015
DIN EN 14399-6	(2015-04)	Hochfeste vorspannbare Garnituren für Schraubverbindungen im Metallbau - Teil 6: Flache Scheiben mit Fase; Deutsche Fassung EN 14399-6:2015
DIN EN 14399-7	(2008-03)	Hochfeste planmäßig vorspannbare Schraubenverbindungen für den Metallbau - Teil 7: System HR - Garnituren aus Senkschrauben und Muttern; Deutsche Fassung EN 14399-7:2007
DIN EN 14399-8	(2008-03)	Hochfeste planmäßig vorspannbare Schraubenverbindungen für den Metallbau - Teil 8: System HV - Garnituren aus Sechskant-Passschrauben und Muttern; Deutsche Fassung EN 14399-8:2007
DIN EN 14399-9	(2009-07)	Hochfeste planmäßig vorspannbare Schraubenverbindungen für den Metallbau - Teil 9: System HR oder HV - Direkte Kraftanzeiger für Garnituren aus Schrauben und Muttern; Deutsche Fassung EN 14399-9:2009
DIN EN 14399-10	(2009-07)	Hochfeste planmäßig vorspannbare Schraubenverbindungen für den Metallbau - Teil 10: System HRC - Garnituren aus Schrauben und Muttern mit kalibrierter Vorspannung; Deutsche Fassung EN 14399-10:2009
DIN EN 15048-1	(2016-09)	Garnituren für nicht vorgespannte Schraubverbindungen im Metallbau - Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 15048-1:2016
AD 2000-Merkblatt B0	(2014-11)	Berechnung von Druckbehältern
AD 2000-Merkblatt B1	(2000-10)	Zylinder- und Kugelschalen unter innerem Überdruck