

Reaktorsicherheitsbehälter aus Stahl

Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung

Diese Regel ersetzt die Regel KTA 3401.2, Fassung 6/80 (BAnz. Nr. 188 vom 8. Oktober 1980).

Die nachfolgend wiedergegebene Regel wurde im Auftrag des Kerntechnischen Ausschusses (KTA) von der Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter unter der Federführung des Fachverbandes Dampfkessel-, Behälter- und Rohrleitungsbau e.V. (FDBR) vorbereitet.

Inhalt

| | Seite |
|--|-------|
| Grundlagen | 2 |
| 1 Anwendungsbereich | 2 |
| 2 Allgemeine Grundsätze | 2 |
| 3 Lastfälle, Belastungen und Beanspruchungsstufen | 2 |
| 3.1 Allgemeines | 2 |
| 3.2 Lastfälle (Anlagenzustände) | 2 |
| 3.3 Belastungen..... | 3 |
| 3.4 Beanspruchungsstufen..... | 3 |
| 3.5 Zuordnung von Lastfällen, Belastungen, Beanspruchungsstufen und durchzuführende Spannungs- und Stabilitätsnachweise..... | 3 |
| 4 Konstruktive Gestaltung | 3 |
| 4.1 Allgemeines | 3 |
| 4.2 Beanspruchungsgünstige Gestaltung..... | 3 |
| 4.3 Werkstoff-, fertigungs- und prüfgerechte Konstruktion..... | 3 |
| 4.4 Wartungsfreundliche Konstruktion | 5 |
| 4.5 Konstruktionsdetails | 5 |
| 5 Tragsicherheitsnachweis | 6 |
| 5.1 Allgemeines | 6 |
| 5.2 Isotrope Flächentragwerke | 6 |
| 5.3 Anisotrope Flächentragwerke und Stabwerke | 8 |
| 5.4 Geschraubte Verbindungen..... | 8 |
| 5.5 Ermüdungsanalyse | 9 |
| 5.6 Formabweichungen | 10 |
| Anhang A: Bestimmungen, auf die in dieser Regel verwiesen wird..... | 12 |

Grundlagen

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

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

(3) Für ortsfeste Leichtwasserreaktoren wird der Sicherheitsbehälter 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 und Dokumentation von Prüfschritten und Ergebnissen,
- eindeutige Anweisungen für Tätigkeiten bei der Herstellung des Werkstoffs und dessen Verarbeitung geregelt werden.

(4) Diese genannten Maßnahmen werden in vier Regelteilen behandelt. Der hier vorliegende Teil behandelt die Auslegung, Konstruktion und Berechnung des Sicherheitsbehälters.

1 Anwendungsbereich

Diese Regel gilt für die Auslegung, Konstruktion und Berechnung von Reaktorsicherheitsbehältern (im folgenden Sicherheitsbehälter genannt) aus Stahl für ortsfeste Leichtwasserreaktoren einschließlich der mit dem Sicherheitsbehälter fest verbundenen Stützen und für drucktragende Teile von Schleusen.

2 Allgemeine Grundsätze

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

(2) Von den nachstehenden Festlegungen darf nur in Ausnahmefällen abgewichen werden, wenn dies durch entspre-

chende Untersuchungen begründet ist und von der für die Begutachtung zuständigen Stelle anerkannt ist.

3 Lastfälle, Belastungen und Beanspruchungsstufen

3.1 Allgemeines

(1) Lastfälle sind einheitlich für die Anlage gemäß Abschnitt 3.2 zu klassifizieren.

(2) Für den Sicherheitsbehälter sind die maßgebenden Lastfälle den Beanspruchungsstufen gemäß Abschnitt 3.4 zuzuordnen.

3.2 Lastfälle (Anlagenzustände)

3.2.1 Allgemeines

(1) Unter Lastfällen (Anlagenzuständen) sind Einwirkungen auf die gesamte Anlage zu verstehen. Sie werden nach sicherheitstechnischen Gesichtspunkten unter Berücksichtigung der Eintrittswahrscheinlichkeiten 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).

(2) Aus diesen werden spezifisch für den Sicherheitsbehälter die maßgebenden Lastfälle als eine bestimmte Kombination von Belastungen ausgewählt und den Beanspruchungsstufen gemäß Abschnitt 3.4 zugeordnet.

3.2.2 Dimensionierungsfälle (DF)

(1) Dimensionierungsfälle sind solche Lastfälle, die einer ersten Bemessung der Wanddicken der Bauteile des Sicherheitsbehälters dienen. Hierfür sind Innendruck und Außendruck maßgebend.

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

3.2.3 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.

3.2.4 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 Leckratenprüfung 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.

3.2.5 Störfälle (ST)

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

Hinweis:

(1) Für Anlagen nach § 7 Atomgesetz ist unter "Störfall" ein Ereignisablauf zu verstehen, bei dessen Eintreten der Betrieb der Anlage aus sicherheitstechnischen Gründen nicht fortgeführt werden kann und für den die Anlage ausgelegt ist.

(2) Festlegungen zu den Lastangaben werden in KTA 3413 "Ermittlung der Störfallbelastungen für den Reaktorsicherheitsbehälter" (in Vorbereitung) geregelt.

3.3 Belastungen

(1) Unter Belastungen wird jede Einwirkung auf den Sicherheitsbehälter verstanden, die eine Beanspruchung in diesem hervorruft.

(2) Bei der Bestimmung der Belastungen sind Zwangskräfte und Zwangsmomente infolge Behinderung von Verformungen (z. B. durch Stützkonstruktionen, An- und Einbauten sowie Rohrdurchführungen) zu berücksichtigen.

(3) Für die Lastfälle, die in die Ermüdungsanalyse einzubeziehen sind, sind die spezifizierten Lastwechselzahlen zu berücksichtigen.

(4) Es ist für jeden Lastfall zu prüfen, ob die nachfolgend aufgezählten Belastungen auftreten und ob noch andere Belastungen hinzukommen.

a) Ständige Lasten

Hierbei kommen in Frage die Eigenlast des Sicherheitsbehälters, die Eigenlast der mit ihm verbundenen Bauteile und sonstige ständig vorhandene Lasten.

b) Drücke

Hierbei kommen in Frage Drücke in örtlicher und zeitlicher Abhängigkeit, getrennt nach Lastfällen, einschließlich örtlicher Beaufschlagung (z. B. durch Rohrleitungsbruch in Wandnähe).

c) Temperaturen

Hierbei kommen in Frage der örtliche und zeitliche Temperaturverlauf, getrennt nach Lastfällen, einschließlich örtlich begrenzter Temperaturfelder (z. B. im Bereich von Rohrdurchführungen oder bei Rohrleitungsbruch in Wandnähe) sowie von Temperaturgradienten im Bauteilquerschnitt. Der Einfluß von Wärmeisolierungen ist zu berücksichtigen.

d) Statische und dynamische Lasten aus An- und Einbauten sowie aus Rohrleitungen und Füllungslasten

e) Verkehrslasten

f) Windlasten

g) Schneelasten

h) Sonstige dynamische Lasten (z. B. Einwirkungen von außen).

3.4 Beanspruchungsstufen

(1) Die Lastfälle sind Beanspruchungsstufen 0, 1, 2 und 3 zuzuordnen, deren zulässige Spannungen in Abschnitt 5 geregelt sind.

(2) Der Beanspruchungsstufe 0 sind die Dimensionierungsfälle zuzuordnen.

(3) Der Beanspruchungsstufe 1 sind diejenigen Montagefälle, normale Betriebsfälle und Kühlmittelverluststörfälle zuzuordnen, bei denen die zugehörigen Belastungen nach Abschnitt 3.3 aus ständigen Lasten a, aus den für die normalen Betriebsfälle und die Kühlmittelverluststörfälle spezifizierten Drücken b und Temperaturen c, aus den zu a, b und c gehörenden statischen und dynamischen Lasten d, aus den Verkehrslasten e und aus den Schneelasten g bestehen.

(4) Der Beanspruchungsstufe 2 sind alle übrigen Montagefälle, Lastfälle des bestimmungsgemäßen Betriebs und diejenigen Störfälle zuzuordnen, bei denen andere als die vorgenannten Belastungen wie z. B. Windlasten f oder sonstige dynamische Lasten h nach Abschnitt 3.3 auftreten. Wird ein Bauteil, abgesehen von seinem Eigengewicht, nur durch Windlast beansprucht, so ist dieser Lastfall der Beanspruchungsstufe 1 zuzuordnen. Prüffälle sind der Beanspruchungsstufe 2 zuzuordnen.

(5) Der Beanspruchungsstufe 3 sind sonstige Störfälle zuzuordnen.

(6) Für die Lastfälle Flugzeugabsturz und chemische Explosionsdruckwelle darf der Tragsicherheitsnachweis auf ungestörte Bereiche und auf die Auflagerung beschränkt werden.

3.5 Zuordnung von Lastfällen, Belastungen, Beanspruchungsstufen und durchzuführende Spannungs- und Stabilitätsnachweise

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.

Tabelle 3.5-1 zeigt die Zuordnung im Falle des Sicherheitsbehälters eines Druckwasserreaktors (DWR).

4 Konstruktive Gestaltung**4.1 Allgemeines**

(1) Bei der konstruktiven Gestaltung des Sicherheitsbehälters 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.

4.2 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.

4.3 Werkstoff-, fertigungs- und prüfgerechte Konstruktion

(1) Die Lage der Schweißnähte und die räumliche Anordnung der Bauteile des Sicherheitsbehälters müssen so festgelegt werden, daß die Zugänglichkeit bei erstmaligen und

wiederkehrenden zerstörungsfreien Prüfungen nach den Anforderungen von KTA 3401.3 "Herstellung" und KTA 3401.4 "Wiederkehrende Prüfungen" gegeben ist. Außerdem müssen die konstruktiven Anforderungen im Hinblick auf die Ultraschallprüfung gemäß KTA 3401.3 berücksichtigt werden. Erleichterungen bei der Art und des Umfanges der Prüfungen und bei der Beurteilung von Befunden der zerstörungsfreien Prüfung sind zulässig bei Schweißnähten mit Betriebsnennspannungen $\leq 50 \text{ N/mm}^2$ im Nahtbereich, wenn diese Betriebsnennspannung die wesentliche Primärspannung dar-

stellt. 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 deren Zulässigkeit mit dem Sachverständigen nach § 20 Atomgesetz und dem baurechtlichen Prüfer bereits während der Planung zu vereinbaren.

| Beanspruchungsstufen | Lastfälle | Belastungen nach Abschnitt 3.3 | | | | | | | | Spannungsnachweise | | | | Stabilitätsnachweise | |
|----------------------|-----------|--------------------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------|------------|--------------------|-------|-------------------------------------|------------------------------|----------------------|----------------------------------|
| | | a) | b) | | c) | d) | e) | f) | g) | h) | 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 |
| | | Eigenlast | Globaler Innendruck | Unterdruck oder äußerer Überdruck | Örtlicher Druckaufbau | Temperatur ¹⁾ | Äußere Lasten und Lastmomente | Verkehrslasten | Windlasten | Schneelasten | | | | | |
| 0 | DF 1 | X | X | | | | | | | | X | X ²⁾ | | | |
| | DF 2 | X | | X | | | | | | | X | X ²⁾ | | | 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 |
| | DP 3 | X | X | | | | X | | | | X | X | | | |
| | ST 2 | X | | X | | X | X | | | | X | X | X ³⁾ | | X |
| | ST 3 | X | | X | | X | X | | | | X | X | X ³⁾ | X ³⁾ | X |
| 3 | ST 4 | X | X | | X | | X | | | | X | X | | | |
| | ST 5 | X | | X | X | | X | | | | X | X | | | X |
| | ST 6 | 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 (z.B. Berechnung nach AD-Merkblatt) 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

DP 3: Wiederkehrende Leckratenprüfung

ST 1: Kühlmittelverluststörfälle mit Druck- und Temperaturverlauf

ST 2: Ausfall der Lüftung mit zugehörigem Unterdruck

ST 3: Auslegungserdbeben, überlagert mit dem Normalbetrieb

ST 4: Rohrleitungsbruch außerhalb des Sicherheitsbehälters ohne Freisetzung von Radioaktivität mit Strahl- und Reaktionskräften, überlagert mit dem Normalbetrieb (NB) (ohne Wärmespannungen)

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

ST 6: Einwirkung von außen ohne Auslegungserdbeben mit dynamischen Belastungen, überlagert mit dem Normalbetrieb (NB) (ohne Wärmespannungen)

Tabelle 3.5-1: Zuordnung von Lastfällen, Belastungen und Beanspruchungsstufen und durchzuführenden Spannungs- und Stabilitätsnachweisen für den Sicherheitsbehälter eines Druckwasserreaktors

(3) Kreuzstöße von Schweißnähten sind zu vermeiden. Miteinander zu verschweißende tragende Teile müssen über den Anschlußquerschnitt verschweißt werden. Kehlnähte an innen auf das Stutzenrohr aufgelegten Blinddeckeln sowie im Falle von Deckblechanschlüssen 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.

4.4 Wartungsfreundliche Konstruktion

(1) Die Bauteile des Sicherheitsbehälters 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.

4.5 Konstruktionsdetails

4.5.1 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° nicht unterschreiten.

4.5.2 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 abzuschragen.

(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 4.5-1** auszurunden.

(5) Die Anforderungen an die prüfgerechte Konstruktion sind Abschnitt 6 KTA 3401.3 zu entnehmen.

4.5.3 Unterstützungen

(1) Art und Abmessung der Unterstützungen sind abhängig vom Reaktortyp und der Struktur des Sicherheitsbehälters einschließlich seiner Ein- und Anbauten. Als Unterstützungen kommen neben der Einspannung des Sicherheitsbehälters 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 Sicherheitsbehälterwand 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.

4.5.4 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.

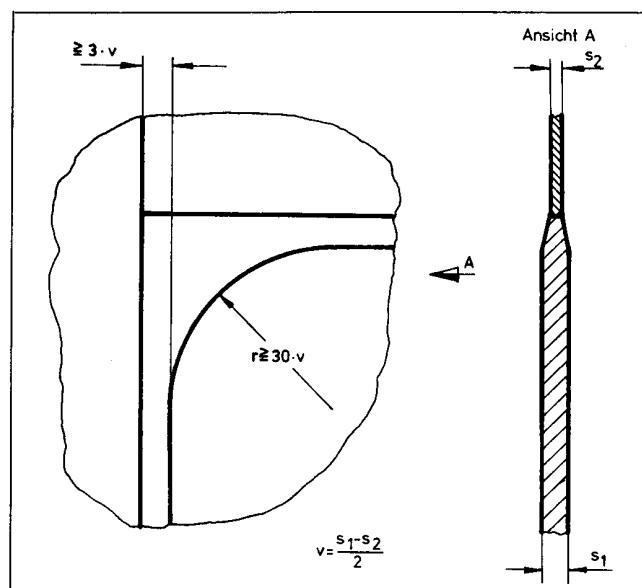


Bild 4.5-1: Wanddickenübergang mit Rundung

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

- Ausschnittsverstärkungen, bei denen der Ausschnittsverstärkung 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.
- Ausschnittsverstärkungen mittels scheibenförmiger Verdickung des Grundkörpers, bei denen die Verstärkung allein durch die scheibenförmige Verdickung erfolgt.
- Ausschnittsverstärkungen mittels rohrförmiger Verstärkung des Grundkörpers, bei denen die Verstärkung allein durch den eingeschweißten, vorzugsweise durchgesteckten Stutzen erfolgt.
- 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 zu erfüllen.

Hinweis:

KTA 3407 "Rohrdurchführungen durch den Reaktorsicherheitsbehälter" befindet sich in Vorbereitung. Gegebenenfalls sind auch die in dieser Regel enthaltenen konstruktiven Bedingungen zu beachten.

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

(7) Werden Montageöffnungen zum Einbringen großer Anlageteile mit lösbaren Verbindungen versehen, darf die Übertragung der Schalenkräfte, z. B. durch einen Doppella-schenstoß mit hochfesten Schrauben oder durch hakenförmig ineinandergreifende Flansche mit keilförmigen oder eingefaßten Druckstücken oder mit eingepaßten Scherbolzen erfolgen.

(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 gegenzuschweißen. 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.

(10) Die Anforderungen an die prüfgerechte Konstruktion sind Abschnitt 6 KTA 3401.3 zu entnehmen.

4.5.5 Flanschverbindungen und Blinddeckel

Die Anforderungen an die prüfgerechte Konstruktion sind Abschnitt 6 KTA 3401.3 zu entnehmen.

5 Tragsicherheitsnachweis

5.1 Allgemeines

(1) Die Tragsicherheitsnachweise sind auf der Grundlage der Elastizitätstheorie zu führen. Hierbei ist gegebenenfalls auch das plastische Verhalten der Tragwerksteile in die Betrachtung einzubeziehen, 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) Falls erforderlich, sind die Verformungen des Sicherheitsbehälters nachzuweisen.

5.2 Isotrope Flächentragwerke

5.2.1 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.

5.2.2 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 3.3 erwähnten Verformungsbehinderungen für gemäß Ab-

schnitt 3.4 zusammengestellten Beanspruchungsstufen zu ermitteln.

5.2.3 Spannungskategorien

5.2.3.1 Allgemeines

(1) Die Spannungen sind in Abhängigkeit von der erzeugenden Ursache und ihrer Auswirkung auf das Festigkeitsverhalten des Bauteils in primäre Spannungen, sekundäre Spannungen und Spannungsspitzen einzuteilen und gemäß dieser 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 Sicherheitsbehälters durch Rohrleitungskräfte und -momente erzeugt werden, sind grundsätzlich 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.

5.2.3.2 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_1) 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. Bei unsymmetrischen Querschnitten, wie sie bei Trägern auftreten können, sind die Spannungen jeweils nach den vorhandenen Flächen zu wichten.

(5) Hinsichtlich der Verteilung entlang der Wand sind allgemeine primäre Membranspannungen (P_m) und örtliche primäre Membranspannungen (P_1) zu unterscheiden. Primäre Membranspannungen in Schalen sind dann als örtlich anzusehen, wenn sie außerhalb eines die Störstelle enthaltenden Bereichs von der Länge $1,0 \cdot \sqrt{R \cdot s}$ das 1,1fache der zulässigen allgemeinen Membranspannungen nicht überschreiten und zwei benachbarte Größtwerte der örtlichen primären Membranspannungen mindestens $2,5 \cdot \sqrt{R \cdot s}$ voneinander entfernt sind. Dabei ist R der kleinere Hauptkrümmungsradius und s die Wanddicke. Falls örtliche primäre Membranspannungen den Wert des 1,1fachen der zulässigen allgemeinen Membranspannung, auch im Abklingbereich benachbarter Störstellen unter Berücksichtigung der Spannungsüberlagerung, nicht überschreiten, braucht für die benachbarten Größtwerte der Membranspannungen das Abstandsgesetz nicht eingehalten zu werden.

(6) Während allgemeine primäre Membranspannungen so verteilt sind, daß als Folge einer Plastifizierung keine wesentliche Spannungsumlagerung zu benachbarten Bereichen hin stattfinden würde, führt im Falle der örtlichen primären Membranspannungen eine Plastifizierung zur Spannungsumlagerung.

5.2.3.3 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. 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.

5.2.3.4 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.

5.2.4 Spannungsüberlagerung und Spannungsbeurteilung

5.2.4.1 Allgemeines

(1) Für jeden Lastfall sind, wie im folgenden dargelegt, die gleichzeitig wirkenden gleichgerichteten Spannungen für jede Spannungs-kategorie gesondert oder für verschiedene Spannungs-kategorien gemeinsam zu addieren.

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

(3) Die Vergleichsspannungen und Vergleichsspannungsschwingbreiten sind nach Abschnitt 5.2.5 zu begrenzen.

5.2.4.2 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

- die allgemeinen primären Membranspannungen,
- die örtlichen primären Membranspannungen
- 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 Vergleichs-

spannungen nach der Schubspannungshypothese oder der Gestaltänderungs-Energie-Hypothese zu bilden.

5.2.4.3 Vergleichsspannungsschwingbreiten

(1) Zur Vermeidung des Versagens infolge

- fortschreitender Deformation
- Ermüdung

sind die zugehörigen Vergleichsspannungsschwingbreiten aus unterschiedlichen Spannungs-kategorien zu ermitteln und unterschiedlich zu begrenzen.

(2) Im Fall a sind die benötigten Spannungstensen aus den gleichzeitig wirkenden Spannungen der primären und sekundären Spannungs-kategorien zu bilden, im Fall b aus den gleichzeitig wirkenden Spannungen aller Spannungs-kategorien.

(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 Spannungstensen gebildete Vergleichsspannung ein Maximum wird. Dieses Maximum stellt die Vergleichsspannungsschwingbreite dar.

(4) Haben die zu betrachtenden Beanspruchungszustände gleiche Hauptspannungsrichtungen, genügt es im Falle der Verwendung der Vergleichsspannung nach der Schubspannungshypothese, das Maximum der Differenzen je zweier Hauptspannungsrichtungen zu suchen. 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.

5.2.5 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-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 5.2.4.2 aus den primären Spannungen ermittelten Vergleichsspannungen und die nach Abschnitt 5.2.4.3 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:

- $0,67 \cdot R_{p0,2T}$ für die Vergleichsspannung aus allgemeinen primären Membranspannungen (P_m); jedoch darf für $R_{p0,2T}$ nicht mehr als 370 N/mm^2 bei Raumtemperatur und nicht mehr als 320 N/mm^2 bei 150° C eingesetzt werden.
- $0,75 \cdot R_{p0,2T}$ für die Vergleichsspannung aus örtlichen primären Membranspannungen (P_1) und aus den Summen allgemeiner, primärer Membranspannungen und

primärer Biegespannung ($P_m + P_b$) oder aus den Summen örtlicher primärer Membranspannungen und primärer Biegespannung ($P_1 + P_b$).

(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 ($P_1 + P_b + Q$); jedoch darf für $R_{p0,2T}$ nicht mehr als 370 N/mm^2 bei Raumtemperatur und nicht mehr als 320 N/mm^2 bei 150°C eingesetzt werden. Der Kühlmittelverluststörfall (ST1) braucht bei einer spezifizierten Häufigkeit von < 5 nicht bei der Bildung von Vergleichsspannungsschwingbreiten berücksichtigt zu werden. Die Summe der primären und sekundären Spannungen aus ST1 ist mit $1,67 \cdot R_{p0,2T}$ zu begrenzen. Dabei dürfen Wärmespannungen, die innerhalb der Sicherheitsbehälterwandung mit sich im Gleichgewicht stehen, vernachlässigt werden. Dies gilt auch für Wärmespannungen innerhalb von Stützenbereichen in einbetonierten Zonen des Sicherheitsbehälters.

b) Für die nach Abschnitt 5.2.4.3 aus der Summe von primären Spannungen, sekundären Spannungen und Spannungsspitzen ermittelten Vergleichsspannungsschwingbreiten ist eine Ermüdungsanalyse nach Abschnitt 5.5 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 5.2-1** sind die Grenzwerte für Spannungen und Spannungsschwingbreite aufgeführt.

5.2.6 Stabilitätsnachweis

Für druckbeanspruchte Schalen ist die Stabilität unter zutreffenden Voraussetzungen bezüglich Geometrie und Belastung nach DAST 013 nachzuweisen. Hierbei ist zwischen den Beanspruchungsstufen dieser Regel und den Lastfällen der DAST 013 die Zuordnung nach **Tabelle 5.2-2** zu treffen.

| Beanspruchungsstufe | $P_m^{1)}$ | $P_1, P_m + P_b$ oder $P_1 + P_b$ | $P_m + P_b + Q_1$ oder $P_1 + P_b + Q$ | $P_m + P_b + Q + F$ oder $P_1 + P_b + Q + F$ |
|---------------------|------------------------|--------------------------------------|---|---|
| 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) $R_{p0,2T} \leq 370 \text{ N/mm}^2$ bei Raumtemperatur
 $\leq 370 \text{ N/mm}^2$ bei $T = 150^\circ\text{C}$

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

Tabelle 5.2-1: Grenzwerte für Spannungen und Spannungsschwingbreite sowie durchzuführende Nachweise für die Beanspruchungsstufen

| Beanspruchungsstufe | Lastfall nach DAST 013 |
|---------------------|------------------------|
| 0 | H |
| 1 | |
| 2 | HZ |
| 3 | S |

Tabelle 5.2-2: Zuordnung von Beanspruchungsstufen und Lastfällen nach DAST 013

5.3 Anisotrope Flächentragwerke und Stabwerke

Der Nachweis der Tragsicherheit einschließlich der Stabilität ist nach den allgemein anerkannten Regeln der Bautechnik unter Berücksichtigung der Beanspruchungsart und häufigkeit zu führen. Die zulässigen Spannungen sind dabei auf den $R_{p0,2T}$ - oder den R_{eHT} -Wert des verwendeten Stahls zu beziehen.

5.4 Geschraubte Verbindungen

5.4.1 Allgemeines

(1) Die zu übertragenden Kräfte sind für alle gemäß Abschnitt 3.4 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 5.2.5 festgelegten Grenzwerte für Spannungen und Spannungsschwingbreite unter Berücksichtigung der Querschnittsminderung infolge Lochabzug nachzuweisen.

5.4.2 Übertragung von Scherkräften

5.4.2.1 Allgemeines

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

(2) Der Berechnung von Scherkraftverbindungen ist DIN 18 800 Teil 1, Abschnitt 7.2, unter Beachtung der Abschnitte 5.4.2.2 und 5.4.2.3 zugrundezulegen.

(3) Die Rand- und Lochabstände sind nach DIN 18 800 Teil 1, Abschnitt 9.2.1.2 zu bestimmen.

(4) Für die Ausführung ist DIN 18 800 Teil 7, Abschnitt 3.3 maßgebend.

5.4.2.2 Scher/Lochleibungsverbindungen

(1) Für Scher/Lochleibungsverbindungen (SL, SLP) dürfen Paßschrauben nach DIN 7968 mit der Festigkeitsklasse 5.6 sowie Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 nach DIN 6914, deren Schaft und Gewinde DIN 7968 genügen, verwendet werden. Sofern die im Anschluß zu den Verschiebungen unbedenklich sind und die Belastungen nicht mit wechselnder Richtung auftreten, dürfen auch Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 nach DIN 6914 ohne Passung zur Anwendung gelangen.

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

$$\frac{\tau_{\text{avorh}}}{\tau_{\text{azul}}} \leq \frac{\sigma_{\text{lvorh}}}{\sigma_{\text{lzul}}} \quad (5.4-1)$$

eingehalten wird.

(3) Die zulässigen Werte der nach DIN 18 800 Teil 1 Gleichung 13 und 14a zu berechnenden Lochleibungsdrücke σ_l und Scherspannungen τ_a sind der **Tabelle 5.4-1** zu entnehmen.

5.4.2.3 Gleitfeste Verbindungen

(1) Gleitfeste Verbindungen (GV, GVP) müssen mit Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 unter Vorspannung nach DIN 18 800 Teil 7 Abschnitt 3.3.3 hergestellt werden. Die Vorspannung ist jedoch 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 größten zu erwartenden Temperatur bedeutet.

(2) Beim Auftreten unterschiedlicher Wärmedehnungen von Schraubenschaft und verspannten Bauteilen ist der Einfluß auf die Vorspannkraft der Schrauben zu berücksichtigen.

(3) Es dürfen Schrauben ohne Passung (GV-Verbindung) nach DIN 6914 oder Paßschrauben der Festigkeitsklasse 10.9 (GVP-Verbindung) verwendet werden.

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

$$Q_{GVzul} = \frac{\mu}{v} \cdot P_V \quad (5.4-2)$$

Darin bedeuten:

P_V = Vorspannkraft in der Schraube

μ = Reibbeiwert der Berührungsflächen.

Soweit nicht der Reibbeiwert für den vorgesehenen Bauteilwerkstoff unter Berücksichtigung der vorgesehenen Reibflächenvorbereitung und der maßgebenden Bauteiltemperatur durch Versuche an einer hierfür anerkannten Prüfanstalt ermittelt wird, gilt allgemein $\mu = 0,5$. Dieser Wert ist entsprechend dem Verhältnis $R_{p0,2T,B}$ zu $R_{eH(St37)}$ abzumindern, wenn dieses kleiner als 1,0 ist. (Bedeutung von $R_{p0,2T,B}$ siehe **Tabelle 5.4-1**; $R_{eH(St37)} = 240 \text{ N/mm}^2$). Bei Verwendung eines gleitfesten Anstrichs ist dessen Verhalten bei Erwärmung stets durch Versuche festzustellen und zu berücksichtigen.

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:

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

(5) Bei GVP-Verbindungen errechnet sich die je Reib- oder Scherfläche zulässige Scherkraft Q_{GVPzul} nach DIN 18 800 Teil I, Gleichung 16. Dabei ist Q_{SLPzul} nach Abschnitt 5.4.2.2 dieser Regel, Q_{GVzul} nach den vorstehenden Angaben zu bestimmen.

(6) 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.

5.4.3 Scherverbindungen mit äußerer Zugbelastung

(1) Werden Schraubverbindungen gleichzeitig durch Scher- und Zugkräfte beansprucht, dann sind, sofern es sich nicht um untergeordnete Verbindungen handelt, Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 mit Vorspannung gemäß Abschnitt 5.4.2.3 zu verwenden.

(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 5.4.2.3 vorgespannten Schrauben nicht erforderlich.

5.4.4 Zugverbindungen

(1) Für Zugverbindungen ist ein genauere Nachweis auf der Grundlage der Elastizitätstheorie unter Berücksichtigung der Verformung vorhandener Dichtungen zu führen. Eine vorhandene Biegebeanspruchung der Schraube ist in den Spannungsnachweis einzubeziehen. Die Wirksamkeit der Dichtung muß sichergestellt sein.

(2) Auf die Verformungsverträglichkeit der gesamten Verbindungskonstruktion ist besonders zu achten.

(3) Die zulässige Zug- oder Biegezugspannung darf höchstens $0,67 \cdot R_{p0,2T}$ betragen.

Hinweis:

Bis zum Neuerscheinen von DIN 2505 dürfen die AD-Merkblätter B7 und B8 angewendet werden.

5.5 Ermüdungsanalyse

5.5.1 Allgemeines

Zur Vermeidung des Versagens infolge Ermüdung bei wechselnder Beanspruchung ist eine Ermüdungsanalyse durchzuführen. Bei der Ermüdungsanalyse sind linear-elastisch errechnete Spannungen zu verwenden. Aus allen Spannungen einschließlich der Spannungsspitzen (F) ist gemäß Abschnitt 5.2.4.3 die Vergleichsspannungsschwingbreite zu ermitteln.

5.5.2 Begrenzung der Erschöpfung infolge Ermüdung

(1) Da die Spannungsschwingbreiten

$$\sigma_v = 2 \cdot \sigma_A = 2 \cdot E_{20^\circ\text{C}} \cdot \varepsilon_A \quad (5.5-1)$$

verschieden große Werte annehmen, sind diese in geeignete Stufen $2 \cdot \sigma_{Ai}$ einzuteilen und deren Beitrag zur Erschöpfung nach der linearen Theorie wie folgt zu akkumulieren.

(2) Zu jeder Stufe $\sigma_{Ai} = S_a$ muß die zulässige Lastspielzahl \hat{n}_i aus der Ermüdungskurve nach **Bild 5.5-1** bestimmt und mit der spezifizierten oder, bei Nachrechnung, mit der im Betrieb aufgetretenen Lastspielzahl n_i verglichen werden.

(3) Die Summe der Quotienten n_i/\hat{n}_i ist gleich dem Erschöpfungsgrad D.

$$D = \frac{n_1}{\hat{n}_1} + \frac{n_2}{\hat{n}_2} + \dots + \frac{n_k}{\hat{n}_k} \leq 1,0 \quad (5.5-2)$$

Hinweis:

Die Ermüdungskurven im **Bild 5.5-1** sind auf der Grundlage von einachsigen Dehnungswechselversuchen aufgestellt, wobei die Dehnungen mit dem E-Modul multipliziert wurden, damit auf der Ordinate Spannungseinheiten (fiktive Spannungen) angegeben

werden können. Aus der unteren Einhüllenden der Versuchsergebnisse sind durch zusätzliche Verwendung von Sicherheitsfaktoren und unter Berücksichtigung verschiedener Festigkeitsgruppen "zulässige" Kurven gewonnen worden.

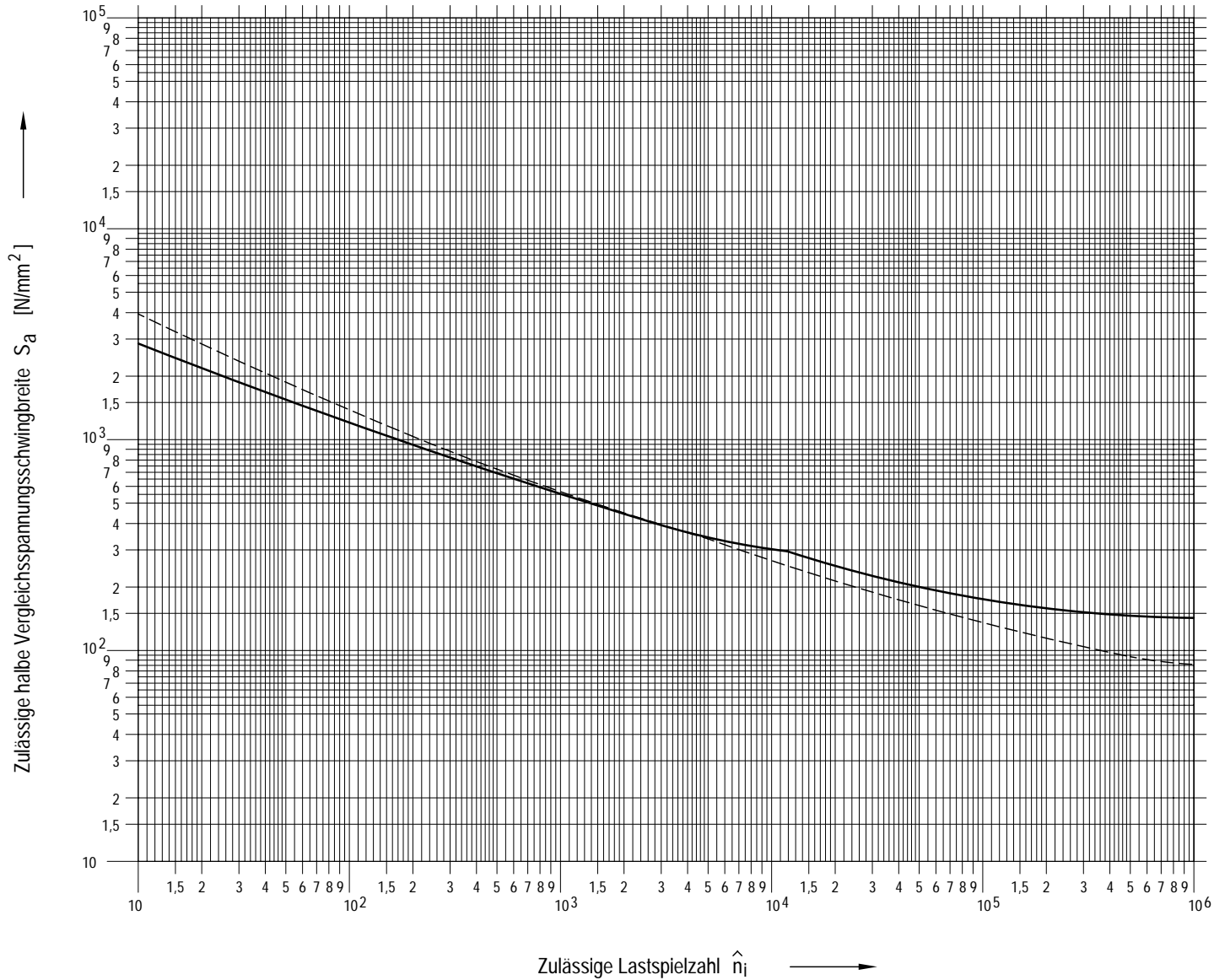
5.6 Formabweichungen

Überschreiten herstellungsbedingte Formabweichungen die im Abschnitt 5 KTA 3401.3 festgelegten Grenzen, dann dürfen sie, sofern ihre Beseitigung nicht aus anderen Gründen ohnehin erforderlich ist, nur dann belassen werden, wenn nachweislich keine sicherheitstechnischen Bedenken bestehen.

| | Paßschrauben mit Lochspiel $\leq 0,3$ mm | | Schrauben ohne Passung mit Lochspiel $\leq 1,0$ mm |
|--|--|---|--|
| Festigkeitsklasse | 5.6 | 10.9 mit Vorspannung $\geq 0,5 \cdot P_v$ nach DIN 18 800 Teil 7 Tabelle 1 Spalte 2 | |
| Lochleibungsdruck σ_1 | $1,33 \cdot R_{p0,2T,B} \leq \alpha_s \cdot 480$ N/mm ² | $1,75 \cdot R_{p0,2T,B}$ | $1,50 \cdot R_{p0,2T,B}$ |
| Scherspannung τ_a | $\alpha_s \cdot 210$ N/mm ² | $\alpha_s \cdot 280$ N/mm ² | $\alpha_s \cdot 240$ N/mm ² |
| Für die Beanspruchungsstufe 2 dürfen die zulässigen Spannungen um 10% und für die Beanspruchungsstufe 3 um 25% erhöht werden. | | | |
| Dabei bedeuten: | | | |
| $R_{p0,2T,B}$ = 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2T}$ oder Streckgrenze R_{eHT} des Bauteilwerkstoffs bei der jeweils maßgebenden Temperatur | | | |
| α_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 5.4-1: Zulässige Spannungen bei Scher/Lochleibungsverbindungen

Bild 5.5-1: Ermüdungskurven für ferritische Stähle



- $R_m \leq 550 \text{ N/mm}^2$
- $R_m = 790 \text{ bis } 900 \text{ N/mm}^2$
- $E = 2,07 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$

Werte für Zugfestigkeiten zwischen 550 N/mm^2 und 790 N/mm^2 dürfen linear interpoliert werden.

Liegen der berechneten Spannungsschwingbreite Dehnungen mit einem E-Modul $E_T \neq E$ zugrunde, so ist die berechnete Spannungsschwingbreite mit dem Quotienten E/E_T zu multiplizieren.

Hinweis

Die genauen und verbindlichen Werte für den Zusammenhang S_a und \hat{n}_i sind in Tabelle 7.8-2 angegeben.

Anhang A

Bestimmungen, auf die in dieser Regel verwiesen wird

(Verwiesene Bestimmungen gelten nur in der in diesem Anhang angegebenen Fassung)

| | | |
|-------------------|----------|--|
| Atomgesetz (AtG) | | Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz) in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Oktober 1976 (BGBl. I S. 3053), zuletzt geändert durch Gesetz vom 20. August 1980 (BGBl. I S. 1556). |
| KTA 3401.1 | (11 /82) | Reaktorsicherheitsbehälter aus Stahl Teil 1 : Werkstoffe |
| KTA 3401.3 | (10/79) | Reaktorsicherheitsbehälter aus Stahl Teil 3 : Herstellung |
| KTA 3401.4 | (3/81) | Reaktorsicherheitsbehälter aus Stahl Teil 4: Wiederkehrende Prüfungen |
| KTA 3403 | (10/80) | Kabeldurchführungen im Reaktorsicherheitsbehälter von Kernkraftwerken |
| DAST 0 13 | (7/80) | Beulsicherheitsnachweis für Schalen |
| DIN 18 800 Teil 1 | (3/81) | Stahlbauten; Bemessung und Konstruktion |
| DIN 18 800 Teil 7 | (5/83) | Stahlbauten ; Herstellen, Eignungsnachweise zum Schweißen |
| DIN 6914 | (3/79) | Sechskantschrauben mit großen Schlüsselweiten für HV-Verbindungen in Stahlkonstruktionen |
| DIN 7968 | (1/71) | Sechskant-Paßschrauben, ohne Mutter, mit Sechskantmutter, für Stahlkonstruktionen |